

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA ALAT PENYULINGAN DAUN NILAM MENJADI MINYAK ATSIRI BERKAPASITAS KETEL 5 KILOGRAM

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

Disusun Oleh:

KHOIRUL LATIF SIMAMORA

1707230125



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

Penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Khoirul Latif Simamora

NPM : 1707230125

Program Studi : Teknik Mesin

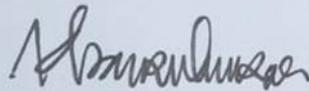
Judul Skripsi : Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun
Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 5 Kilogram.

Bidang ilmu : Konversi Energi

Medan, 01 September 2022

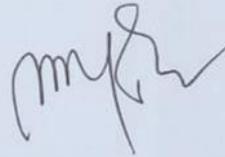
Mengetahui dan Menyetujui:

Dosen Penguji I



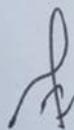
Khairul Umurani, S.T., M.T

Dosen Penguji II



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

Dosen Pembimbing



Muharnif M, S.T., M.Sc

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



Chandra Siregar, ST. M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Lengkap : Khoirul Latif Simamora
Tempat /Tanggal Lahir : Papaso II, 03 Juli 1998
NPM : 1707230125
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 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, 01 September 2022

Saya yang menyatakan,



Khoirul Latif Simamora

ABSTRAK

Permasalahan yang sering dihadapi petani daun nilam yaitu proses penyulingan minyak yang membutuhkan waktu lebih lama karena menggunakan bahan bakar dari kayu, oleh karena itu diperlukan bahan alternatif berupa Gas LPG sebagai bahan bakar. Penggunaan Gas LPG ini bertujuan untuk mendapatkan nilai temperatur pada pembakaran ketel (boiler) dalam proses perebusan daun nilam, nilai temperatur didapatkan melalui perpindahan panas konveksi dan konduksi pada dinding ketel, untuk mengetahui panas total pada ketel. Setelah dilakukan penelitian didapatkan beberapa temuan antara lain: Pada analisa perpindahan panas konveksi pada ketel (Boiler) dengan percobaan (I) menghasilkan: 15,50226225 Kw. Pada percobaan percobaan (II) menghasilkan: 0,002157558 Kw. Dan pada percobaan (III) dapat menghasilkan: 0,005835458 Kw. Perpindahan panas konveksi sangat bergantung kepada temperatur, semakin tinggi temperatur yang dihasilkan maka pindahan panasnya semakin tinggi. Pada analisa perpindahan panas konduksi pada ketel (boiler) dengan percobaan (I) dapat menghasilkan: 10810,40 Watt. Pada percobaan (II) dapat menghasilkan: 13506,39 Watt. dan pada percobaan (III) dapat menghasilkan: 23788,17 Watt. Perhitungan Koefisien (*Transfer Panas Overall*) Perpindahan Panas Total Sebesar (U_i): menghasilkan: 0,0301445 W/m².°C. Laju perpindahan kalor pada ketel (q): percobaan (I): 9,6043956741 Watt. Pada percobaan (II): 10,757988009 Watt. Pada percobaan (III): 9,799618992 Watt.

Kata Kunci: *Perpindahan Panas, Alat Penyulingan, Daun Nilam, Minyak Atsiri.*

ABSTRACT

The problem that is often faced by patchouli leaf farmers is the oil refining process which takes longer because it uses wood fuel, therefore alternative materials are needed in the form of LPG as fuel. The use of LPG Gas aims to obtain the temperature value for boiler combustion in the process of boiling patchouli leaves, the temperature value is obtained through convection and conduction heat transfer on the walls of the boiler, to determine the total heat in the boiler. After conducting the research, several findings were obtained, including: In the analysis of convection heat transfer in the boiler (Boiler) with experiment (I) resulted: 15,50226225 Kw. In the experimental experiment (II) it produces: 0.002157558 Kw. And in the experiment (III) can produce: 0.005835458 Kw. Convection heat transfer is very dependent on temperature, the higher the temperature produced, the higher the heat transfer. In the analysis of conduction heat transfer in the boiler (boiler) with experiment (I) can produce: 10810.40 Watt. In the experiment (II) can produce: 13506.39 Watt. and in experiment (III) can produce: 23788,17 Watt. Calculation of Coefficient (Overall Heat Transfer) Total Heat Transfer (U_i): produces: 0.0301445 W/m².°C. Heat transfer rate in the boiler (q): experiment (I): 9.6043956741 Watt. In experiment (II): 10,757988009 Watt. In experiment (III): 9.799618992 Watt.

Keywords: Heat Transfer, Distillation Equipment, Patchouli Leaves, Essential Oil.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 5 Kilogram” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Bapak Muharnif M, S.T. M.Sc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Khairul Umurani, S.T., M.T selaku dosen penguji I dan Bapak M. Yani, S.T.,M.T selaku dosen penguji II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulisan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Ahmad Marabdi Srg. ST. M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Univesitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membantu dan memberikan ilmu yang sangat bermanfaat dari awal kuliah hingga sekarang.

7. Orang tua penulis : Mhd. Idris Simamora dan Ibunda Rumona Tanjung selaku orang tua yang selama ini telah banyak memberikan dorongan moril, materi serta do'a dan kasih sayangnya kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat saya Renaldo, Dani Firmansyah, Ferdiansyah Sinaga, Daffa Taufiqurrahman, Amar Fatahilla dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis dimasa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi Teknik Mesin.

Medan, 01 September 2022

Khoirul Latif Simamora
NPM. 1707230125

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang Lingkup	3
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pengertian Ketel Uap (Boiler)	5
2.2. Klasifikasi Ketel	6
2.2.1. Klarifikasi Ketel Uap (boiler) Menurut Desain	6
2.2.2. Klarifikasi Ketel Uap Menurut Material yang Digunakan	6
2.2.3. Klarifikasi Ketel Uap Menurut Kegunaan	7
2.3. Proses Perpindahan Kalor	8
2.3.1. Perpindahan Kalor Secara Konduksi	8
2.3.2. Konduktivitas Termal	10
2.3.3. Perpindahan Kalor Secara Konveksi	11
2.3.4. Bilangan Reynolds	13
2.3.5. Perpindahan Panas Radiasi	14
2.3.6. Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Tempat dan Waktu	17
3.1.1. Tempat Penelitian	17
3.1.2. Waktu Penelitian	17
3.2. Alat dan Bahan	18
3.2.1. Alat Penelitian	18
3.2.2. Bahan Penelitian	20
3.3. Bagan Alir Penelitian	22
3.4. Sketsa Alat Ketel	23
3.5. Prosedur Penelitian	25

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Data Spesifikasi dan Data Aktual Pada Ketel	30
4.1.1 Percobaan Pertama (I)	30
4.1.1.1 Laju Pindahan Panas Pada Elemen Pemanas (I)	31
4.1.1.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi (I)	32
4.1.1.3 Perpindahan Kalor Secara Konduksi (I)	34
4.1.1.4 Perhitungan Koefesien (<i>Transfer Panas Overall</i>) Perpindahan Panas Total (I)	36
4.1.1.5 Menghitung Laju Perpindahan Kalor (I)	37
4.1.2 Percobaan Kedua (II)	38
4.1.2.1 Laju Pindahan Panas Pada Elemen Pemanas (II)	39
4.1.2.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi (II)	40
4.1.2.3 Perpindahan Kalor Secara Konduksi (II)	42
4.1.2.4 Perhitungan Koefesien (<i>Transfer Panas Overall</i>) Perpindahan Panas Total (II)	44
4.1.2.5 Menghitung Laju Perpindahan Kalor (II)	45
4.1.3 Percobaan Ketiga (III)	46
4.1.3.1 Laju Pindahan Panas Pada Elemen Pemanas (III)	47
4.1.3.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi (III)	48
4.1.3.3 Perpindahan Kalor Secara Konduksi (III)	50
4.1.3.4 Perhitungan Koefesien (<i>Transfer Panas Overall</i>) Perpindahan Panas Total (II)	52
4.1.3.5 Menghitung Laju Perpindahan Kalor (III)	53
4.2 Pembahasan	54
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	 57
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	57
 DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	
SK PEMBIMBINGAN	
BERITA ACARA SEMINAR	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0 °C	10
Tabel 3.1	Jadwal Kegiatan Penelitian	17
Tabel 4.1.1	Data Spesifikasi percobaan dan Data Aktual Pada Ketel (I)	30
Tabel 4.1.2	Data Spesifikasi percobaan dan Data Aktual Pada Ketel (II)	38
Tabel 4.1.3	Data Spesifikasi percobaan dan Data Aktual Pada Ketel (III)	46
Tabel 4.2	Data Hasil perhitungan pindahan panas secara Konveksi pada dinding ketel.	54
Tabel 4.3	Data Hasil perhitungan pindahan panas secara Konduksi pada dinding ketel.	55
Tabel 4.4	Menghitung Laju Perpindahan Kalor (q)	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Ketel Stainless Steel	6
Gambar 2.2	Perpindahan panas konduksi	8
Gambar 2.3	Perpindahan panas konveksi	12
Gambar 2.4	Perpindahan Panas Konveksi	13
Gambar 2.5	Perpindahan kalor konveksi dari suatu plat	14
Gambar 2.6	Perpindahan panas radiasi	14
Gambar 3.1	Thermocouple	18
Gambar 3.2	Gelas ukur 250 ml	18
Gambar 3.3	Stopwatch	19
Gambar 3.4	Timbangan	19
Gambar 3.5	Daun Nilam	20
Gambar 3.6	Air	20
Gambar 3.7	Gas 3 kg	21
Gambar 3.8.	Diagram Alir	22
Gambar 3.9.	Ketel	23
Gambar 3.10	Rancangan Mekanik dengan satuan mm	23
Gambar 3.11	Rancangan Ketel dengan satuan mm	24
Gambar 3.12	Rancangan Kerucut Ketel dengan satuan mm	24
Gambar 3.13	Rancangan Saringan Ketel dengan satuan mm	24
Gambar 3.14.	Proses Penyincangan Daun Nilam	25
Gambar 3.15.	Proses Penjemuran Daun Nilam	25
Gambar 3.16.	Timbangan	26
Gambar 3.17.	Pengisian Air Pada Ketel	26
Gambar 3.18.	Pengisian Air Kondensor	27
Gambar 3.19.	Memasang Saringan Pada Ketel	27
Gambar 3.20.	Proses Penyulingan Daun Nilam	28
Gambar 3.21.	Stopwatch	28
Gambar 3.22.	Pemasangan Thermocouple	29
Gambar 3.23.	Hasil Minyak Nilam	29

DAFTAR NOTASI

Q	Laju Perpindahan Panas	(W)
h	Koefisien perpindahan Panas Konveksi	(W/m ² .°C)
h_o	Koefisien aliran pipa air	(W/m ² .°C)
h_i	Koefisien aliran pipa uap air	(W/m ² .°C)
T_w	Temperature Dinding	(°C , K)
T_∞	Temperature Sekeliling	(°C , K)
k	Konduktivitas termal benda	(W/m.°C)
dT	Perbedaan Temperatur	(°C, °F)
L	Panjang benda	(m)
U_i	Koefisien Perpindahan Panas Total	(W/m ² .°C)
ΔT	Perbedaan temperature antara kedua tempat fluida	(°C)
T_i	Temperature rata-rata uap	(°C)
T_h	Temperature rata-rata	(°C)
A	Luas Perpindahan panas	(m ²)
t	Tinggi Drum (ketel)	(mm)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketel uap atau boiler adalah alat konversi energi yang mengubah air menjadi uap dengan cara pemanasan. Panas yang dibutuhkan air untuk penguapan tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada ruang bakar ketel uap. Uap atau energi kalor yang dihasilkan ketel uap tersebut dapat digunakan pada semua peralatan yang membutuhkan uap seperti perebusan daun nilam.

Ketel uap adalah suatu pembangkit uap, yang perolehan uapnya dilakukan dengan cara memanaskan air hingga menjadi uap. Sedangkan proses pemanasan dilakukan dengan pembakaran bahan bakar ampas pada ruang bakar ketel. Dan pemanasan yang dilakukan pada penyulingan daun nilam ini menggunakan bahan bakar gas.

Perpindahan panas merupakan salah satu bagian terpenting dalam sistem teknologi pada masyarakat modern ini. Tapi dalam beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan yang sangat signifikan, dikarenakan energi yang dibutuhkan semakin meningkat, sehingga hampir semua proses industri melibatkan perpindahan panas. Perpindahan panas merupakan proses peristiwa mengalirnya energi berupa panas akibat adanya perbedaan suhu diantara benda dan material.

Peristiwa perpindahan panas dapat berpindah dengan 3 cara, yaitu konduksi, konveksi dan radiasi. Pada peristiwa konduksi, panas akan berpindah tanpa diikuti aliran media perpindahan panas. Panas pada peristiwa konduksi ini akan berpindah secara estafet dari satu partikel ke partikel yang lainnya dalam medium tersebut. Pada peristiwa konveksi, perpindahan panas terjadi dikarenakan terbawa oleh aliran fluida baik cair atau gas. Secara termodinamika, peristiwa konveksi dinyatakan sebagai aliran entalpi, bukan aliran panas. Sedangkan pada peristiwa radiasi, energi berpindah melalui gelombang elektromagnetik.

Ketel uap berfungsi untuk menghasilkan uap panas yang digunakan untuk memanaskan daun nilam dalam proses pembuatan minyak atsiri. Ketel tersebut

dirancang dengan menggunakan dasar laju kebutuhan uap untuk proses pemasakan daun nilam.

Laju kebutuhan uap tersebut digunakan untuk menentukan dimensi ketel, laju kebutuhan bahan bakar, dan laju kebutuhan air ketel. Kondisi air dalam ketel sangat menentukan pengoperasian dan keefektifan penggunaan ketel sehingga untuk menjaga kondisi air tersebut dikembangkan perangkat penyuplai air secara otomatis. Untuk meningkatkan efisiensi pembakaran maka ketel tersebut dilengkapi dengan pipa api. Tekanan kerja ketel menjadi acuan untuk pemilihan bahan konstruksi. Untuk menjamin keamanan selama pengoperasian maka ketel tersebut dilengkapi dengan katup pengaman.

Ketel uap pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa-pipa api maupun pipa-pipa air. Ketel uap juga telah banyak mengalami perkembangan dari bentuk yang sederhana ke bentuk yang modern. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing.

Biasanya, boiler atau ketel dibuat menggunakan bahan baja dengan spesifikasi tertentu sesuai ketentuan dalam The ASME Code Boilers yang merupakan standar untuk boiler skala industri. Selain baja, sejarah juga mencatat bahwa boiler atau ketel uap juga dapat dibuat dari material lainnya, contohnya seperti kuningan, tembaga, dan juga besi cor. Meskipun begitu, beberapa bahan tersebut sudah ditinggalkan karena faktor ekonomis dan ketahanan materialnya yang tidak lagi sesuai dengan kebutuhan industri.

Sedangkan untuk bahan bakar, biasanya boiler dapat menggunakan beberapa jenis bahan bakar, meliputi:

- a. Kayu atau arang
- b. Batu bara
- c. Solar atau gas dari minyak bumi
- d. Uranium atau tenaga nuklir

Pada penelitian ini bagaimana Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 5 Kilogram.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut permasalahan yang timbul pada proses bagaimana Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 5 Kilogram?

1.3 Ruang Lingkup

Adapun batasan permasalahan adalah sebagai berikut :

- a. Bahan yang digunakan adalah plat stainless steel type 304, pipa stainless Steel Type 304, Besi Hollow Uti 260 B
- b. Tabung Ketel menggunakan plat stainless steel type 304 dengan ketebalan 1 mm, 58 liter air dan 5 Kilogram daun nilam.
- c. Bahan baku utamanya adalah daun nilam
- d. Menggunakan bahan bakar gas LPG 3 kilogram
- e. Proses perpindahan panas dari suhu awal sampai suhu akhir sehingga menghasilkan kapasitas tekanan uap.
- f. Analisa laju perpindahan panas konveksi dan konduksi pada dinding ketel.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

- a. Untuk menganalisis perpindahan panas konveksi dan konduksi pada ketel.
- b. Untuk mengetahui panas total pada ketel.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu :

- a. Dapat mengetahui faktor-faktor yang dapat mempengaruhi perpindahan panas suatu bahan.
- b. Merupakan salah satu bekal mahasiswa sebelum terjun ke dunia industri, sebagai modal persiapan untuk dapat mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh.

- c. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi para peneliti lain yang ingin mendalami tentang Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 5 Kilogram.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Ketel Uap (Boiler)

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk memproduksi steam/uap. Steam diperoleh dengan memanaskan air yang berada didalam bejana dengan bahan bakar. Boiler mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Boiler dirancang untuk memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. Boiler adalah sebuah konteiner dimana diberi air dan dipanaskan, sehingga air mendidih dan menguap terus menerus menjadi uap. (Mohammed A. Malek 2004, 2).

Uap (steam) yang dihasilkan dari boiler digunakan untuk berbagai proses dalam aplikasi industri, seperti penggerak, pemanas, dan lain-lain. Pengoperasian Boiler harus sesuai dengan standar operasi yang telah ditentukan oleh pengguna boiler maupun standar pabrik pembuat boiler itu sendiri. Standar yang dibuat akan menjamin keamanan dalam pengoperasian, sehingga akan meningkatkan efisiensi ketel uap sekaligus menekan biaya operasional. (Mohammed A. Malek 2004, 2).

Boiler berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversi energi kimia (potensial) dalam hal ini adalah bahan bakar menjadi energi panas. Boiler/ketel uap terdiri dari 2 komponen utama, yaitu :

1. Dapur sebagai alat untuk mengubah energi kimia (bahan bakar) menjadi energi panas.
2. Alat penguap (evaporator) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap (energi panas).

Boiler pada dasarnya terdiri dari tabung/bejana (drum) yang tertutup pada ujung pangkalnya, dan dalam perkembangannya dilengkapi didalamnya pipa api maupun pipa air. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing (Purba 2015, 2).



Gambar 2.1 Ketel Stainless Steel

2.2 Klasifikasi Ketel

Ketel pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup pada ujung pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing.

2.2.1 Klasifikasi Ketel Uap (Boiler) Menurut Desain

Menurut standart ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) boiler di golongkan menjadi dua, yaitu power boilers dan heating boilers.

1. Power Boilers (Ketel Uap Daya) adalah ketel uap yang uap hasilnya digunakan diluar ketel dan memiliki tekanan uap lebih dari 15 Psi. Ketel uap ini di desain menggunakan standart ASME Sec I.
2. Heating Boilers (Ketel Uap Pemanas). Boiler/ketel uap jenis ini memiliki tekanan uap berbanding terbalik dari Power Boiler yakni kurang dari 15 Psi. Boiler pemanas dirancang dengan aturan ASME Sec IV-Heating Boilers

2.2.2 Klasifikasi Ketel Uap menurut Material yang digunakan

Menurut Mohammed A. Malek, ketel uap juga diklasifikasikan berdasarkan banyaknya bahan material yang digunakan dalam proses pembuatannya. Steel (baja) ketel uap ini, pada bagian utama dan bagian silinder

terbuat dari baja. Cast Iron (Besi Tuang) ketel uap yang pada bagian utama serta silinder tekannya terbuat dari besi tuang (cast iron).

Jenis Cast Iron Boiler (ketel uap besi tuang) dibedakan lagi menjadi dua, yaitu Horizontal-Section Cast Iron Boiler dan One Piece Cast Iron boiler. Pada jenis Horizontal-Section Cast Iron Boiler, ketel uap dibuat menjadi beberapa bagian dan selanjutnya dilakukan perakitan. Jenis One Piece Cast Iron boiler, pada jenis ini bagian bejana tekan ketel uap dibuat pada satu cetakan/tidak dipisah.

2.2.3 Klasifikasi Ketel Uap Menurut Kegunaan

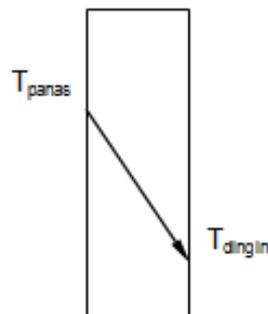
1. Power Boiler (daya) adalah ketel uap yang digunakan sebagai pembangkit daya. Misalnya PLTU, PLTB, PLTG dan pembangkit listrik lainnya.
2. Process Boiler (proses), ketel uap ini digunakan pada industri pada suatu proses fabrikasi atau produksi.
3. Steam Heating (pemanas uap) jenis ketel uap ini dirancang pada tekanan kurang dari 15 Psi. Uap hasil pemanasan kemudian digunakan industri sebagai pemanas atau pengering pada suatu proses yang dibutuhkan.
4. Hot Water Heating (Pemanas Air Panas), ketel uap jenis ini digunakan untuk menjaga kondisi suhu air agar tetap sesuai dengan suhu yang dibutuhkan oleh suatu proses industri.
5. Hot Water Supply (Persediaan Air Panas) uap yang dihasilkan oleh ketel jenis ini hampir mirip dengan jenis ketel pemanas air panas diatas. Disiniketel digunakan untuk memanaskan air dan menjadi storage pada persediaan air panas.
6. Hot Water Heater (Pemanas Air). Ketel uap jenis ini memiliki tujuan yang sama dengan hot water heating boiler dan hot water supply boiler, namun memiliki perbedaan pada pengoperasian temperaturnya yakni kurang dari 210 F.

2.3 Proses Perpindahan Kalor

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka 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 satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

2.3.1 Perpindahan Kalor Secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum.



Gambar 2.2 Perpindahan panas konduksi

(Sumber: Holman, J.P, hal: 33)

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal sesuai dengan persamaan berikut:

- Persamaan Dasar Konduksi :

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- q = Laju Perpindahan Panas (kj / det,W)
- k = Konduktifitas Termal (W/m.°C)
- A = Luas Penampang (m²)
- dT = Perbedaan Temperatur (°C, °F)
- dX = Perbedaan Jarak (m / det)
- ΔT = Perubahan Suhu (°C, °F)

dT/dx = gradient temperatur kearah perpindahan kalor. konstanta positif "k" disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda itu, sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala temperatur. (Holman, J.P. (1988 : 2).

Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan gradient yang terdapat pada permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan hukum fourier.

Dalam penerapan Hukum Fourier (Persamaan 2.1) pada suatu dinding datar, jika persamaan tersebut diintegrasikan maka akan didapatkan :

$$q_k = - \frac{kA}{\Delta x} \cdot (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(2.2)$$

Dikutip dari ; Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 26).

Bilamana konduktivitas termal (thermal conductivity) dianggap tetap. Tebal dinding adalah Δx , sedangkan T_1 dan T_2 adalah temperatur muka dinding. Jika konduktivitas berubah menurut hubungan linear dengan temperatur, seperti $k = k_0 (1 + \beta T)$, maka persamaan aliran kalor menjadi:

$$q_k = - \frac{k_0 A}{\Delta x} [(T_2 - T_1) + \frac{\beta}{2} (T_2^2 - T_1^2)] \dots\dots\dots(2.3)$$

Dikutip dari ; Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 26).

2.3.2 Konduktivitas Termal

Tetapan kesebandingan (k) adalah sifat fisik bahan atau material yang disebut konduktivitas termal. Persamaan (2.2) merupakan persamaan dasar tentang konduktivitas termal. Berdasarkan rumusan itu maka dapatlah dilaksanakan pengukuran dalam percobaan untuk menentukan konduktivitas termal berbagai bahan. Pada umumnya konduktivitas termal itu sangat tergantung pada suhu.

Daftar Tabel 2.1. Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0 °C

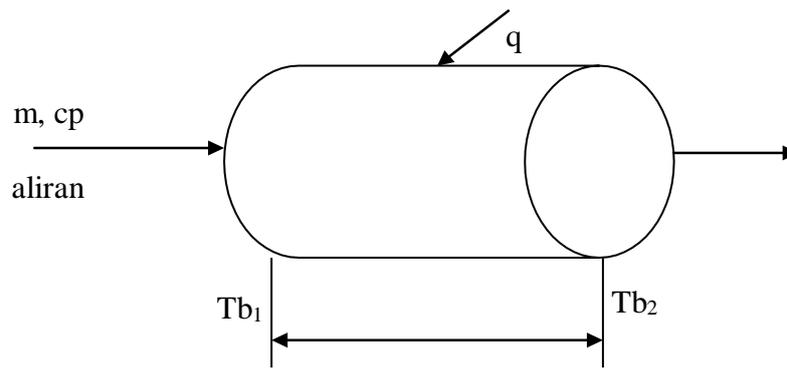
Konduktivitas termal		
K		
Bahan	W/m.°C	Btu/h . ft . °F
Logam		
perak (murni)	410	237
tembaga (murni)	385	223
aluminium (murni)	202	117
nikel (murni)	93	54
besi (murni)	73	42
Baja karbon, 1% C	43	25
Timbal (murni)	35	20,3
baja karbon-nikel (18% cr, 8% ni)	16,3	9,4
Bukan Logam		
kuarsa (sejajar sumbu)	41,6	24
Magnesit	4,15	2,4
Marmar	2,08-2,94	1,2-1,7
Batu Pasir	1,83	1,06
Kaca, Jendela	0,78	0,45
Kayu maple atau ek	0,17	0,096
Serbuk gergaji	0,059	0,034
Wol kaca	0,038	0,022

Zat cair		
Air-raksa	8,21	4,74
Air	0,556	0,327
Amonia	0,540	0,312
Minyak lumas, SAE 50	0,147	0,085
Freon 12, 22 FCCI	0,073	0,042
Gas		
Hidrogen	0,175	0,101
Helium	0,141	0,081
Udara	0,024	0,0139
Uap air (jenuh)	0,0206	0,0119
Karbon dioksida	0,0146	0,00844

Dikutip dari ; Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (1988 : 7).

2.3.3 Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dll. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free / natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*).



Gambar 2.3 Perpindahan panas konveksi
(Sumber: Holman, J.P, hal.: 252)

Proses pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir didalam saluran tertutup seperti pada gambar 2.3 merupakan contoh proses perpindahan panas. Laju perpindahan panas pada beda suhu tertentu dapat dihitung dengan persamaan

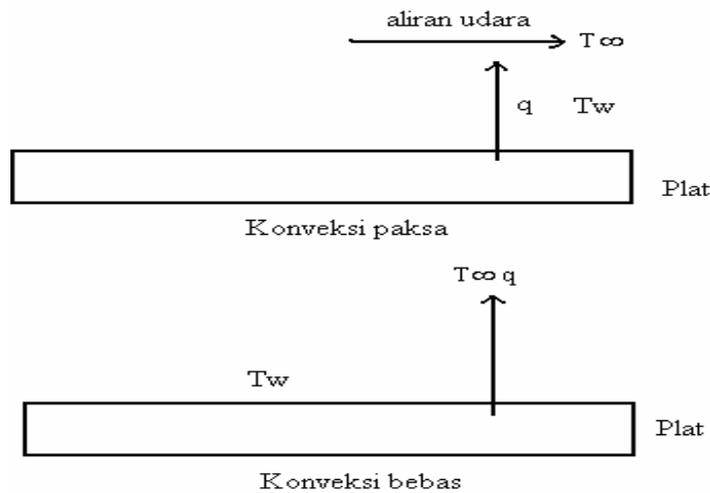
$$q = hA (T_w - T_{\infty}) \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

- Q = Laju Perpindahan Panas (kj/det atau W)
- h = Koefisien perpindahan Panas Konveksi (W / m².⁰C)
- A = Luas Bidang Permukaan Perpindahan Panas (ft² , m²)
- T_w = Temperature Dinding (⁰C , K)
- T_∞ = Temperature Sekeliling (⁰C , K)

Tanda minus (-) digunakan untuk memenuhi hukum II thermodynamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif (+).

Persamaan (2.4) mendefinisikan tahanan panas terhadap konveksi. Koefisien pindah panas permukaan h, bukanlah suatu sifat zat, akan tetapi menyatakan besarnya laju pindah panas didaerah dekat pada permukaan itu.



Gambar 2.4 Perpindahan Panas Konveksi
(Sumber: Holman, J.P)

Perpindahan konveksi paksa dalam kenyataanya sering dijumpai, kaarena dapat meningkatkan efisiensi pemanasan maupun pendinginan satu fluida dengan fluida yang lain.

2.3.4 Bilangan Reynolds

Transisi dari aliran laminar menjadi turbulen terjadi apabila :

$$\frac{x \cdot U_{\infty}}{v} = \frac{\rho \cdot x \cdot U_{\infty}}{\mu} > 5 \times 10^5$$

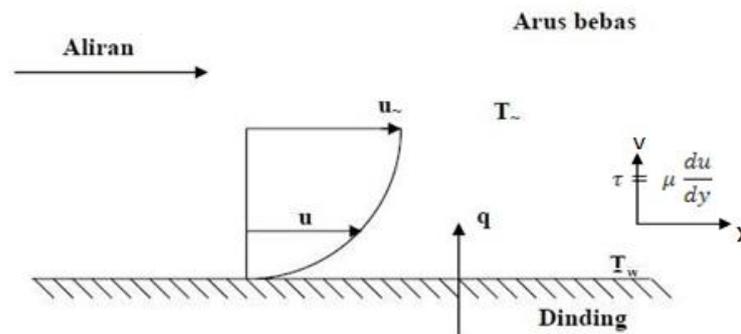
Dimana :

- U_{∞} = Kecepatan aliran bebas
- x = Jarak dari tepi depan
- $v = \mu/\rho$ = viskositas kinematik

Pengelompokan khas diatas disebut angka Reynolds dan angka ini tak berdimensi apabila untuk semua sifat-sifat diatas digunakan perangkat satuan yang konsisten;

$$Re_x = \frac{xU_{\infty}}{v} \dots\dots\dots(2.5)$$

Pada konveksi pelat rata akan mendingin lebih cepat dapat dilihat pada gambar berikut ini :



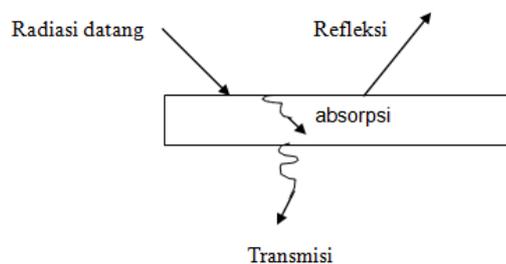
Gambar 2.5 Perpindahan kalor konveksi dari suatu plat
(Sumber: Holman, J.P, hal: 11)

Keterangan :

- U = Koefisien Perpindahan Panas ($W / m^2 \cdot ^\circ C$)
- U_c = Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh ($W / m^2 \cdot ^\circ C$)
- q = Laju Perpindahan Panas (kJ/det atau W)
- T_w = Temperature Dinding ($^\circ C$, K)
- T = Temperature Sekeliling ($^\circ C$, K)

2.3.5 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut.



Gambar 2.6 Perpindahan Panas Radiasi
(Sumber: Abdul Chalim, Ariani, Mufid, Hardjono)

Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpa suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan seperti gambar 2.5. Sedangkan besarnya energi :

$$Q_{rad} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

- Q_{rad} = Laju perpindahan panas (W)
- σ = Konstanta boltzman ($5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
- A = Luas permukaan benda (m^2)
- T = Suhu absolut benda ($^{\circ} \text{C}$)
- ϵ = Emisivitas bahan ($0 < \epsilon < 1$)
- $\epsilon = 0$ (benda putih) $\epsilon = 1$ (benda hitam)

2.3.6 Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh

Perpindahan panas antara dua fluida yang dipisahkan oleh pelat terjadi secara konduksi dan konveksi. Jika konduksi dan konveksi secara berurutan, maka tahanan panas yang terlibat (konduksi dan konveksi) dapat dijumlahkan untuk memperoleh koefisien perpindahan panas keseluruhan (U). Besaran $1/U_h$ dan $1/U_c$ disebut tahanan keseluruhan terhadap perpindahan panas. Perpindahan kalor menyeluruh dari zat alir di dalam pipa ke zat alir di luar pipa adalah:

$$q = \frac{T_A T_B}{1/h_A A + \Delta x/kA + 1/h_2 A} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana: T_A dan T_B masing-masing ialah suhu fluida pada kedua sisi dinding itu. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh U didefinisikan oleh hubungan.

$$q = UA \Delta T_{menyeluruh} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dikutip dari ; Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (hal:481)

Koefisien konveksi dihitung dengan metode yang diuraikan dalam bab bab terdahulu, dan perpindahan kalor menyeluruh didapatkan dari jaringan termal :

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{\ln(r_0/r_1)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_0 A_0}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana subskrib 1 dan 0 menunjukkan diameter dalam dan diameter luar tebung dalam yang lebih kecil. Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bisa didasarkan atas luas dalam atau luar luar tabung, menurut selera perancang.

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{r_1 \ln(r_2/r_1)}{k} + \frac{r_1}{h_2 r_2}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Dikutip dari ; Perpindahan Kalor, Holman, J.P. (hal: 482).

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat

3.1.1 Tempat

Tempat dilaksanakannya kegiatan penelitian ini yaitu di Jl. Alwasiyah No. 5A Kelurahan Simpang Tiga Pekan kecamatan Perbaungan Kabupaten Serdang Begadai.

3.1.2 Waktu

Pelaksanaan penelitian ini dimulai tanggal disahkannya usulan judul penelitian oleh Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan akan di kerjakan selama kurang lebih 6 bulan sampai dinyatakan selesai.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Uraian Kegiatan	Waktu					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul						
2	Studi Litelatur						
3	Penulisan Proposal						
4	Pengambilan Data dan						
5	Menganalisa						
6	Pengolahan Data						
7	Penyelesaian Penulisan						
8	Seminar dan Sidang						

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat Penelitian

Adapun alat-alat yang di gunakan pada saat pengambilan data adalah sebagai berikut:

a. Thermometer 4 channel

Thermometer 4 channel atau di sebut juga thermometer 4 titik berfungsi untuk mengukur panas (suhu) pada 4 bagian titik sekaligus secara bersamaa.



Gambar 3.1 Thermocouple

b. Gelas ukur 250 ml

Gelas ukur berfungsi untuk mengukur dan menakar volume cairan



Gambar 3.2 Gelas ukur 250 mili liter

3.2.2 Bahan

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 menetralsisir perubahan panas agar kondensor tidak terlalu cepat panas.



Gambar 3.6 Air

3. Kompor gas 3 kg

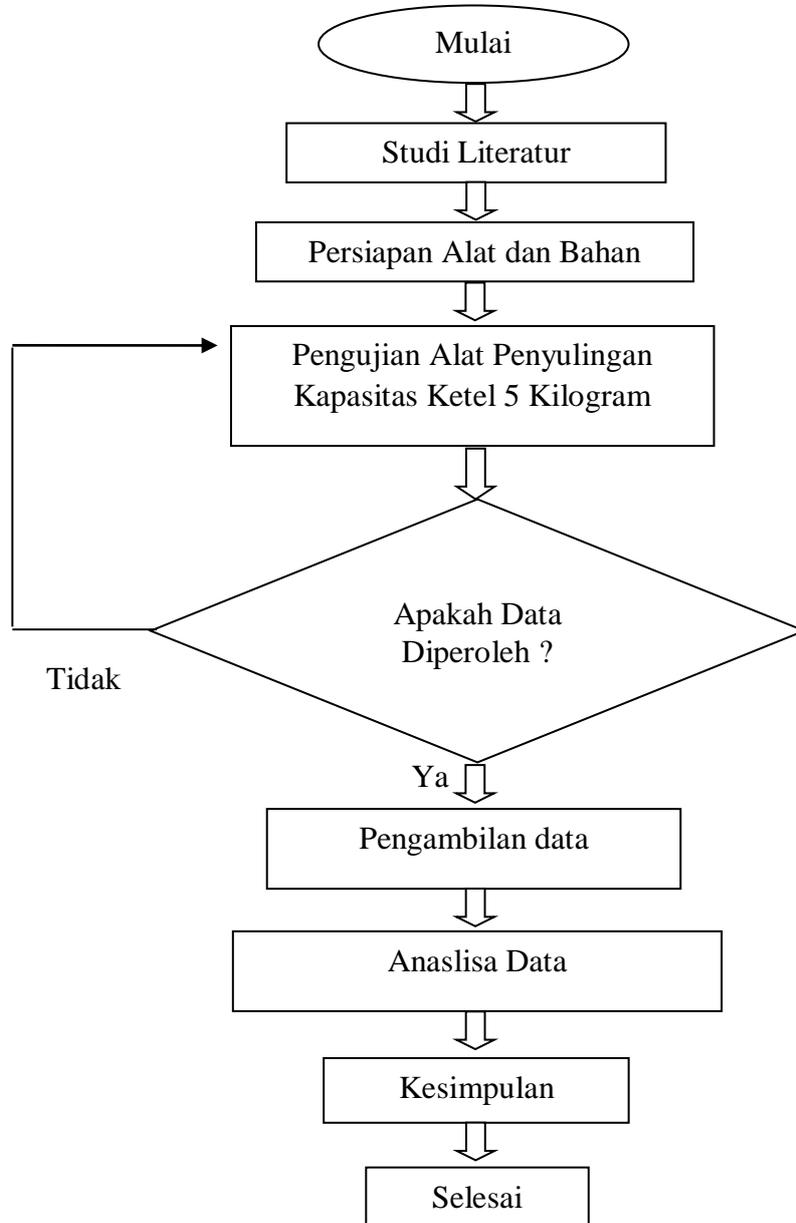
Kompor gas 3 kilogram berfungsi untuk mengkonversikan energi termal dari pembakaran bahan bakar menjadi energi uap, dimana proses pembakaran berlangsung didalam alat itu sendiri sehingga gas pembakaran bahan bakar yang terjadi langsung digunakan sebagai fluida kerja untuk melakukan kerja mekanis.



Gambar 3.7 Gas 3 kilogram

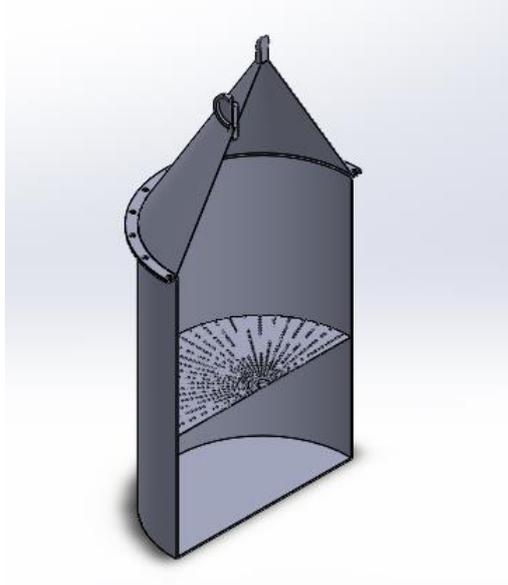
3.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan Alir Penelitian dapat dilihat sebagai berikut :

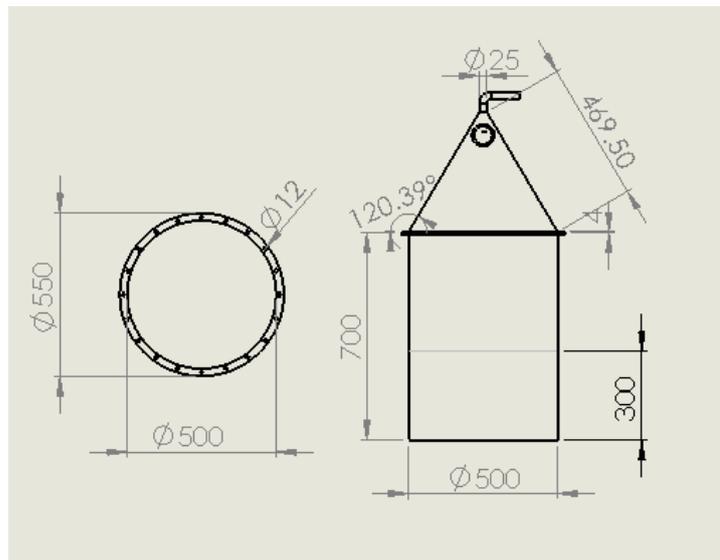


Gambar 3.8. Diagram Alir

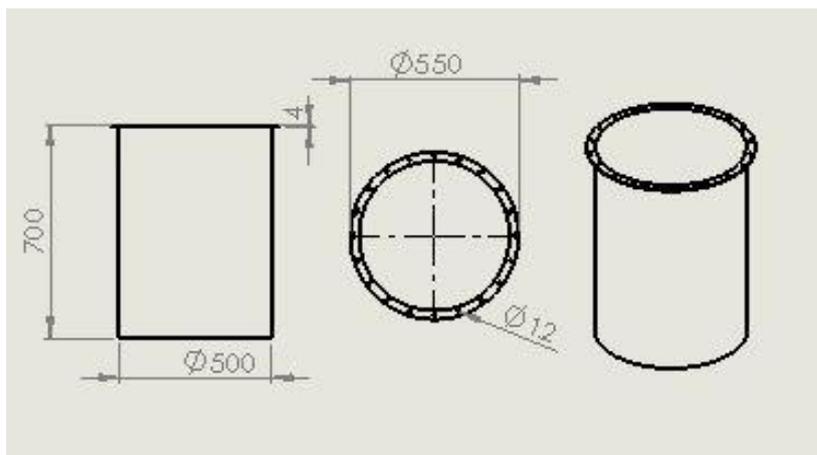
3.4 Sketsa Alat Ketel



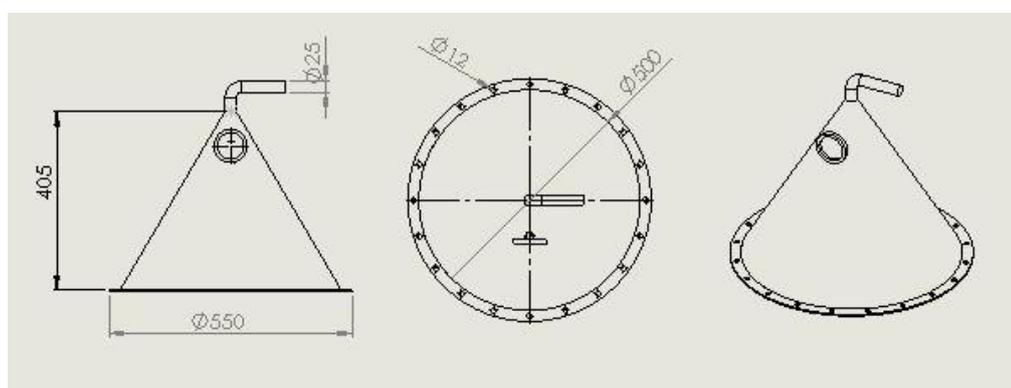
Gambar 3.9. Ketel



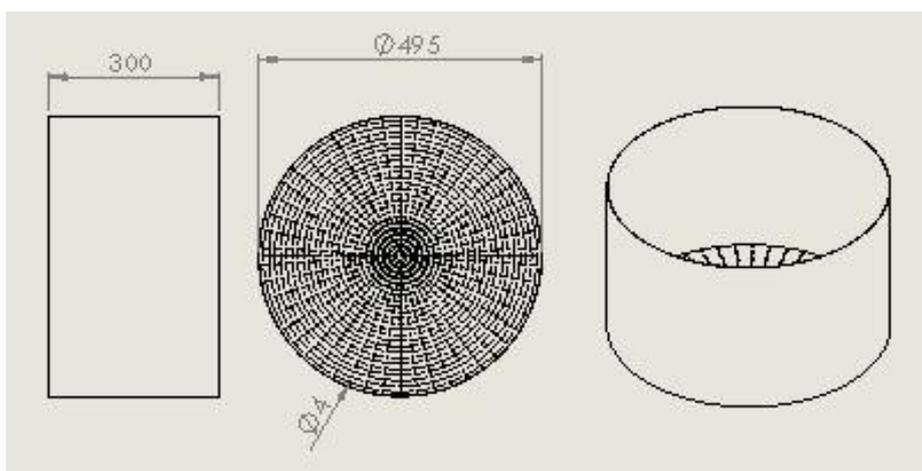
Gambar 3.10 Rancangan Mekanik dengan satuan mm



Gambar 3.11 Rancangan Ketel dengan satuan mm



Gambar 3.12 Rancangan Kerucut Ketel dengan satuan mm



Gambar 3.13 Rancangan Saringan Ketel dengan satuan mm

3.5 Prosedur Penelitian

Berikut adalah prosedur penelitian dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

1. Setelah memanen daun nilam dari lahan atau ladang, maka daun nilam akan dibersihkan dari tanah maupun kotoran lainnya dan akan dilakukan proses mencincang/mencacah daun Nilam yang telah dicuci dan di bersihkan dari tanah dan kotoran lain.



Gambar 3.14 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 3.15 Proses Penjemuran Daun Nilam

3. Menimbang berat daun nilam sesuai kapasitas yaitu 5 kilogram. Daun nilam yang sudah selesai di jemur.



Gambar 3.16 Timbangan

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



Gambar 3.17 Pengisian Air Pada Ketel



Gambar 3.18 Pengisian Air Kondensor

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



Gambar 3.19 Memasang Saringan Pada Ketel

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



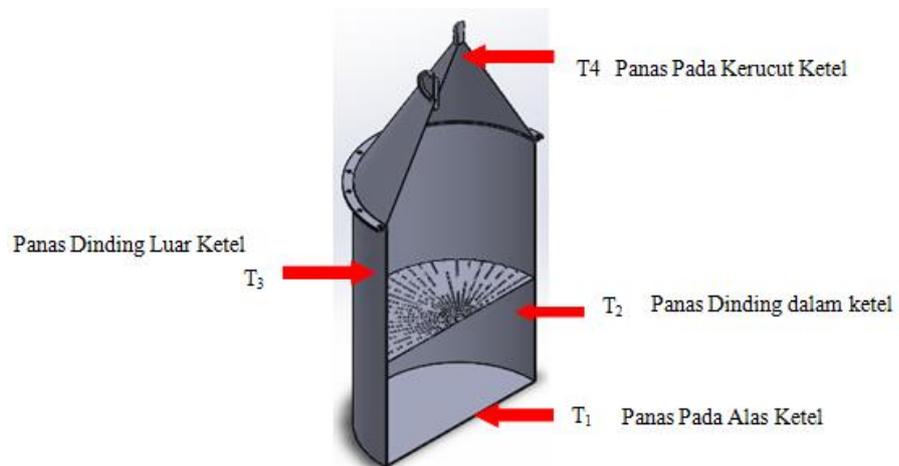
Gambar 3.20 Proses Penyulingan Daun Nilam

7. Stopwatch digunakan untuk menghitung waktu selama percobaan dilakukan.



Gambar 3.21 Stopwatch

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



Gambar 3.22 Pemasangan Thermocouple

9. Mengukur hasil minyak nilam dengan menggunakan gelas ukur



Gambar 3.23 Hasil Minyak Nilam

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijabarkan tentang perhitungan dan pembahasan laju perpindahan panas pada ketel. Data yang diambil adalah data spesifikasi dan data aktual dilapangan.

4.1 Data Spesifikasi dan Data Aktual Pada Ketel

4.1.1 Percobaan Pertama (I)

Tabel 4.1.1 Data Spesifikasi percobaan dan Data Aktual Pada Ketel (I)

Desain Spesifikasi	
Material	Stainless Steel
Ketebalan	1 mm
Diameter dalam ketel	500 mm
Diameter luar ketel	550 mm
Panjang	1530 mm
Tinggi	700 mm
Lebar	500 mm
Temperature Ketel	80 °C
Titik suhu 1 (Panas pada alas ketel)	409,2 °C
Titik suhu 2 (Panas Pada Dinding Dalam Ketel)	100,9 °C
Titik suhu 3 (Panas Pada Dinding Luar Ketel)	60,0 °C
Titik suhu 4 (Panas Pada Kerucut Ketel)	76,4 °C
Waktu proses hasil penyulingan	100 x 60 = 6000 s
Volume ketel	58 liter
Temperatur awal air	27 °C
Massa air	15 kg
Konduktivitas termal stainless steel	15,1 W/m.K

4.1.1.1 Laju Pindahan Panas Pada Elemen Pemanas (I)

Elemen pemanas dengan ketebalan ketel 1 mm, diameter dalam ketel 500 mm, diameter luar ketel 550 mm, panjang ketel 1530 mm, tinggi 700 mm dan lebar 500 mm.

$$\text{Suhu film adalah } T_f = \frac{T_1 + T_4}{2}$$

$$T_f = \frac{409,2 + 76,4}{2} = 242,8 \text{ } ^\circ\text{C} = 515 \text{ K,}$$

sehingga sifat-sifat udara pada temperatur 515 K adalah

$$\beta = 1/T_f = 1/515 = 0,001245$$

$$k = 0,0510812 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$\nu = 62,844 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\text{Pr} = 0,68312$$

Maka persamaanya adalah :

$$\begin{aligned} Ra_L = Gr Pr &= \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2} Pr \\ &= \frac{(9,8) \times (0,001245)(409,2 - 76,4)(0,001)^3}{62,84^2 \times 10^{-6})^2} (0,68312) \\ &= \frac{(0,0122892)(332,8)(0,001)^3}{62,84^2 \times 10^{-6})^2} (0,68312) \\ &= \frac{(0,0122892)(332,8)(0,001)^3}{62,84^2 \times 10^{-6})^2} (0,68312) \\ &= 0,708112 \end{aligned}$$

Dari Lampiran A2 maka didapat harga untuk $C = 0,59$ dan $m = 0,25$

$$\text{Nu} = C (\text{Gr Pr})^m$$

$$\text{Nu} = 0,59 (0,708112)^{0,25} = 0,541109$$

Maka Nu adalah = 0,541109

$$\text{Dan } h = \text{Nu} \left(\frac{k}{d} \right) = 0,541109 \left(\frac{0,0510812}{0,001} \right) = 27,64$$

Maka $h = 27,64 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Mencari luas selimut lingkaran pada tabung ketel:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t$$

Diketahui:

$$r = 550 \text{ mm, menjadi } = 55 \text{ cm, dibagi } 2 = 27,5 \text{ cm}$$

$$t = 700 \text{ mm, menjadi } = 70 \text{ cm}$$

Penyelesaian:

$$= 2 \times 22/7 \times 27,5 \times (27,5 + 70)$$

$$= (172,854 \times 97,5)$$

$$= 16853,256$$

$$\text{Maka } A = 16853,256 \text{ cm}^2$$

$$\text{Menjadi } = 1,6853256 \text{ m}^2$$

4.1.1.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi (I)

Persamaan perpindahan kalor secara konveksi:

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty)$$

Diketahui:

$$h = 27,64 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = 1,6853256 \text{ m}^2$$

$$T_w = 409,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 76,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Penyelesaian:

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty)$$

$$= 27,64 \times 1,6853256 (409,2 - 76,4)$$

$$= 46,5239958 \times 332,8$$

$$= 15502,622582 \text{ Watt/ kj}$$

$$\text{Maka } q \text{ adalah } 15,5022622582 \text{ Kw}$$

a. Bilangan Rayleigh

Maka persamaanya adalah :

$$T_f = \frac{T_1 + T_4}{2}$$

$$T_f = \frac{409,2 + 76,4}{2} = 242,8 \text{ } ^\circ\text{C} = 515,95 \text{ K,}$$

Sehingga sifat-sifat udara pada temperatur 551,95 K, Pada Lampiran A1 adalah

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{515,95} = 0,001245 \text{ K}^{-1}$$

$$k = 0,0510812 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$\nu = 62,844 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,68312$$

$$Ra_L = Gr Pr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_L = \frac{(9,8)(0,001245)(409,2 - 76,4)(0,001)^3}{62,84^2 \times 10^{-6}^2} (0,68312)$$

$$= \frac{(0,0122892)(332,8)(0,001)^3}{62,84^2 \times 10^{-6}^2} (0,68312)$$

$$= \frac{(4,08982576)(0,001)^3}{(62,84 \times 10^{-6})^2} (0,68312)$$

$$= 0,707508$$

Maka Ra adalah 0,707508

b. Bilangan Nusselt

Persamaan empirik konveksi alami yang digunakan berdasarkan dari penelitian Churchill and Chu seperti berikut :

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,387 \cdot 0,707508^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,68312} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,365314}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,68312} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,365314}{1,89334^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,365314}{1,2082} \right]^2$$

$$= 0,814258$$

Maka Nu adalah 0,814258

Mencari luas alas (bawah) lingkaran pada tabung ketel:

$$= \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$= \frac{3,14}{4} \times 500 \text{ mm}^2$$

$$= 1,96250 \text{ mm}^2$$

Maka $A = 0,19625 \text{ m}^2$

4.1.1.3 Perpindahan Kalor Secara Konduksi (I)

Persamaan perpindahan kalor secara konduksi:

$$q = -k \cdot A \frac{dT}{dX}$$

Diketahui :

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

$$A = 0,19625 \text{ m}^2$$

$$\Delta x = 1 \text{ mm, menjadi: } 0,001 \text{ m}$$

$$T_3 = 60,0 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 100,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}q &= -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dX} \\&= -15,1 \times 0,19625 \frac{(60,0 - 100,9)}{0,001} \\&= -0,264313 \times \frac{-40,9}{0,001} \\&= 10810,40 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Maka $q = 10810,40 \text{ Watt}$

- Mencari nilai p :

$$\begin{aligned}p &= 2D + 2t \\&= 2(D + t) \\&= 2 \times (500 + 700) \\&= 2 \times 1.200\end{aligned}$$

$$p = 2.400 \text{ mm}$$

Maka $p = 2,4 \text{ m}$

- Mencari nilai A :

$$\begin{aligned}A &= \frac{\pi}{2} \cdot D \cdot t \\A &= \frac{3,14}{2} \cdot 500 \cdot 700 \\&= 1,57 \times 500 \times 70\end{aligned}$$

$$A = 549500 \text{ mm}^2$$

Maka $A = 0,5495 \text{ m}^2$

- Mencari nilai Dh :

$$\begin{aligned}Dh &= \frac{4 \cdot A}{p} \\Dh &= \frac{4 \times 0,5495}{2,4} \\&= \frac{2,194}{2,4}\end{aligned}$$

$$Dh = 0,91416667 \text{ m}$$

- Mencari nilai h_1 :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{Dh}$$

$$h = \frac{0,541109 \times 0,0510812}{0,91416667}$$

$$= \frac{0,02764049712}{0,91416667}$$

$$h_1 = 0,0302357045 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

4.1.1.4 Perhitungan Koefisien (Transfer Panas Overall) Perpindahan Panas Total (I)

Persamaan koefisien perpindahan panas total:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

Diketahui :

$$h_1 = 0,0302357045 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$h_2 = 10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (dari Lampiran A5)}$$

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

$$\Delta x = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{0,0302357045} + \frac{0,001}{15,1} + \frac{1}{10}}$$

$$U_i = \frac{1}{33,07348 + 0,0000662252 + 0,1}$$

$$= \frac{1}{33,07348 + 0,0000662252}$$

$$= 0,0301445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Maka nilai U_i adalah $0,0301445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

4.1.1.5 Menghitung Laju Perpindahan Kalor (I)

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 ΔT maka terlebih dahulu mencari rata-rata temperatur air dan uap air.

Diketahui:

$$\text{Titik suhu 1 (panas pada alas bawah ketel)} = 409,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Titik suhu 2 (panas pada dinding dalam ketel)} = 100,9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Titik suhu 3 (panas pada dinding luar ketel)} = 60,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Titik suhu 4 (panas pada kerucut ketel)} = 76,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U_i = 0,0301445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Persamaan temperature rata-rata:

$$\begin{aligned} T_i &= (T_1 + T_4) / 2 \\ &= (409,2 + 76,4) / 2 = 242,8 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Persamaan temperature rata-rata :

$$\begin{aligned} T_h &= (T_3 + T_2) / 2 \\ &= (60,0 + 100,9) / 2 = 80,45 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka :

$$\Delta T = 242,8 - 80,45$$

$$\Delta T = 162,35 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Persamaan laju perpindahan kalor yaitu

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

$$q = 0,0301445 \times 1,9625 \times 162,35$$

$$= 0,0591585813 \times 162,35$$

$$q = 9,6043956741 \text{ Watt}$$

4.1.2 Percobaan Pertama (II)

Tabel 4.1.2 Data Spesifikasi percobaan dan Data Aktual Pada Ketel (II)

Desain Spesifikasi	
Material	Stainless Steel
Ketebalan	1 mm
Diameter dalam ketel	500 mm
Diameter luar ketel	550 mm
Panjang	1530 mm
Tinggi	700 mm
Lebar	500 mm
Temperature Ketel	90 °C
Titik suhu 1 (Panas pada alas ketel)	477,8 °C
Titik suhu 2 (Panas Pada Dinding Dalam Ketel)	122,5 °C
Titik suhu 3 (Panas Pada Dinding Luar Ketel)	71,4 °C
Titik suhu 4 (Panas Pada Kerucut Ketel)	79,8 °C
Waktu proses hasil penyulingan	140 x 60 = 8.400 s
Volume Ketel	58 liter
Temperatur Awal Air	27 °C
Massa Air	15 kg
Konduktivitas Termal Stainless Steel	15,1 W/m.K

4.1.2.1 Laju Pindahan Panas Pada Elemen Pemanas (II)

Elemen pemanas dengan ketebalan ketel 1 mm, diameter dalam ketel 500 mm, diameter luar ketel 550 mm, panjang ketel 1530 mm, tinggi 700 mm dan lebar 500 mm.

$$\text{Suhu film adalah } Tf = \frac{T_1 + T_4}{2}$$

$$Tf = \frac{477,8 + 79,8}{2} = 278,8 \text{ } ^\circ\text{C} = 551,95 \text{ K}$$

sehingga sifat-sifat udara pada temperatur 551,95 K, Pada Lampiran A1 adalah

$$\beta = 1/Tf = 1/551,95 = 0,00181176$$

$$k = 0,04360 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$v = 44,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,680$$

Maka persamaanya adalah :

$$Gr Pr = \frac{g\beta (T_w - T_\infty) x^3}{v^2} Pr$$

$$Gr Pr = \frac{(9,8)(0,00181176) (477,8 - 79,8)(0,001)^3}{(44,34 \times 10^{-4})^2} (0,680)$$

$$= \frac{(0,017755248)(398)(0,001)^3}{(44,34 \times 10^{-4})^2} (0,680)$$

$$= \frac{7,06659 \times 10^{-9}}{(44,34 \times 10^{-4})^2} (0,680)$$

$$= 2,45115 \times 10^{-19}$$

Pada Lampiran A2 maka didapat harga untuk $C = 0,59$ dan $m = 0,25$

$$Nu = C (Gr Pr)^m$$

$$Nu = 0,59 (2,45115 \times 10^{-19})^{0,25} = 7,37707 \times 10^{-6}$$

Maka Nu adalah $= 7,37707 \times 10^{-6}$

$$\text{Dan } h = Nu \left(\frac{k}{d} \right) = 7,37707 \times 10^{-6} \left(\frac{0,04360}{0,001} \right) = 0,0032164$$

Maka $h = 0,0032164 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Mencari luas selimut lingkaran pada tabung ketel:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t$$

Diketahui:

$$r = 550 \text{ mm, menjadi } = 55 \text{ cm, dibagi } 2 = 27,5 \text{ cm}$$

$$t = 700 \text{ mm, menjadi } = 70 \text{ cm}$$

Penyelesaian:

$$L = 2 \times 22/7 \times 27,5 \times (27,5 + 70)$$

$$= (172,854 \times 97,5)$$

$$= 16853,256$$

$$\text{Maka } A = 16853,256 \text{ cm}^2$$

$$\text{Menjadi } = 1,6853256 \text{ m}^2$$

4.1.2.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi (II)

Persamaan perpindahan kalor secara konveksi:

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty)$$

Diketahui:

$$h = 0,0032164 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = 1,6853256 \text{ m}^2$$

$$T_w = 477,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 79,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Penyelesaian:

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty)$$

$$= 0,0032164 \times 1,6853256 \times (477,8 - 79,8)$$

$$= 0,005421 \times 398$$

$$q = 2,157558 \text{ Watt/kj}$$

$$\text{Maka } q \text{ adalah } = 0,002157558 \text{ Kw}$$

c. Bilangan Rayleigh

Maka persamaanya adalah :

$$T_f = \frac{T_1 + T_4}{2}$$

$$T_f = \frac{477,8 + 79,8}{2} = 278,8 \text{ } ^\circ\text{C} = 551,95 \text{ K}$$

Sehingga sifat-sifat udara pada temperatur 551,95 K, Pada Lampiran A1 adalah

$$\beta = 1/T_f = 1/551,95 = 0,00181176$$

$$k = 0,04360 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$\nu = 44,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,680$$

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2} Pr$$

$$Ra_L = \frac{(9,8)(0,00181176)(477,8 - 79,8)(0,001)^3}{(44,34 \times 10^{-4})^2} (0,680)$$

$$= \frac{(0,017755248)(398)(0,001)^3}{(44,34 \times 10^{-4})^2} (0,680)$$

$$= \frac{7,06659 \times 10^{-9}}{(44,34 \times 10^{-4})^2} (0,680)$$

$$= 2,44415 \times 10^{-20}$$

Maka Ra adalah $2,44415 \times 10^{-20}$

d. Bilangan Nusselt

Persamaan empirik konveksi alami yang digunakan berdasarkan dari penelitian Churchill and Chu seperti berikut :

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,387 \cdot 2,44415 \times 10^{-20}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,680} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,0212956}{1,89564 \frac{8}{27}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,0212956}{1,20864} \right]^2$$

$$= 0,381454$$

Maka Nu adalah 0,381454

Mencari luas alas (bawah) lingkaran pada tabung ketel:

$$= \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$= \frac{3,14}{4} \times 500 \text{ mm}^2$$

$$= 1,96250 \text{ mm}^2$$

Maka $A = 0,19625 \text{ m}^2$

4.1.2.3 Perpindahan Kalor Secara Konduksi (II)

Persamaan perpindahan kalor secara konduksi:

$$q = -k \cdot A \frac{dT}{dX}$$

Diketahui :

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

$$A = 0,19625 \text{ m}^2$$

$$\Delta x = 1 \text{ mm, menjadi: } 0,001 \text{ m}$$

$$T_2 = 122,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 71,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Penyelesaian:

$$q = -k \cdot A \frac{dT}{dX}$$

$$= -15,1 \times 0,19625 \frac{(71,4 - 122,5)}{0,001}$$

$$= -0,264313 \frac{-51,1}{0,001}$$

$$= 13506,39 \text{ Watt}$$

Maka q adalah 13506,39 Watt

- Mencari nilai p :

$$\begin{aligned}
 p &= 2D + 2t \\
 &= 2(D + t) \\
 &= 2 \times (500 + 700) \\
 &= 2 \times 1.200
 \end{aligned}$$

$$p = 2.400 \text{ mm}$$

Maka $p = 2,4 \text{ m}$

- Mencari nilai A :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi}{2} \cdot D \cdot t \\
 A &= \frac{3,14}{2} \cdot 500 \cdot 700 \\
 &= 1,57 \times 500 \times 700
 \end{aligned}$$

$$A = 549500 \text{ mm}^2$$

Maka $A = 0,5495 \text{ m}^2$

- Mencari nilai Dh :

$$Dh = \frac{4 \cdot A}{p}$$

$$\begin{aligned}
 Dh &= \frac{4 \times 0,5495}{2,4} \\
 &= \frac{2,194}{2,4}
 \end{aligned}$$

$$Dh = 0,91416667 \text{ m}$$

- Mencari nilai h_1 :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{Dh}$$

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{0,541109 \times 0,0510812}{0,91416667} \\
 &= \frac{0,02764049712}{0,91416667}
 \end{aligned}$$

$$h_1 = 0,0302357045 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

4.1.2.4 Perhitungan Koefisien (Transfer Panas Overall) Perpindahan Panas Total (I)

Persamaan koefisien perpindahan panas total:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

Diketahui :

$$h_1 = 0,0302357045 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$h_2 = 10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (dari Lampiran A5)}$$

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

$$\Delta x = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{0,0302357045} + \frac{0,001}{15,1} + \frac{1}{10}}$$

$$U_i = \frac{1}{33,07348 + 0,0000662252 + 0,1}$$

$$= \frac{1}{33,07348 + 0,0000662252}$$

$$= 0,0301445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Maka nilai U_i adalah $0,0301445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

4.1.2.5 Menghitung Laju Perpindahan Kalor (II)

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 ΔT maka terlebih dahulu mencari rata-rata temperatur air dan uap air.

Diketahui:

$$\text{Titik suhu 1 (panas pada alas bawah ketel)} = 477,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Titik suhu 2 (panas pada dinding dalam ketel)} = 122,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Titik suhu 3 (panas pada dinding luar ketel)} = 71,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Titik suhu 4 (panas pada kerucut ketel)} = 79,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U_i = 0,0301445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Persamaan temperature rata-rata:

$$\begin{aligned} T_i &= (T_1 + T_4) / 2 \\ &= (477,8 + 79,8) \\ &= 557,6 / 2 \\ &= 278,8 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Persamaan temperature rata-rata :

$$\begin{aligned} T_h &= (T_3 + T_2) / 2 \\ &= (71,4 + 122,5) \\ &= 193,9 / 2 \\ &= 96,95 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka :

$$\Delta T = 278,8 - 96,95$$

$$\Delta T = 181,85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Persamaan laju perpindahan kalor yaitu

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

$$q = 0,0301445 \times 1,9625 \times 181,85$$

$$= 0,0591585813 \times 181,85$$

$$q = 10,757988009 \text{ Watt}$$

4.1.3 Percobaan Ketiga (III)

Tabel 4.1.3 Data Spesifikasi percobaan dan Data Aktual Pada Ketel (III)

Desain Spesifikasi	
Material	Stainless Steel
Ketebalan	1 mm
Diameter dalam ketel	500 mm
Diameter luar ketel	550 mm
Panjang	1530 mm
Tinggi	700 mm
Lebar	500 mm
Temperature Ketel	100 °C
Titik suhu 1 (Panas pada alas ketel)	501,6 °C
Titik suhu 2 (Panas Pada Dinding Dalam Ketel)	173,7 °C
Titik suhu 3 (Panas Pada Dinding Luar Ketel)	82,7 °C
Titik suhu 4 (Panas Pada Kerucut Ketel)	86,1 °C
Waktu proses hasil penyulingan	185 X 60 = 11.100 s
Volume ketel	58 liter
Temperatur awal air	27 °C
Massa air	15 kg
Konduktivitas termal stainless steel	15,1 W/m.K

4.1.3.1 Laju Pindahan Panas Pada Elemen Pemanas (III)

Elemen pemanas dengan ketebalan ketel 1 mm, diameter dalam ketel 500 mm, diameter luar ketel 550 mm, panjang ketel 1530 mm, tinggi 700 mm dan lebar 500 mm.

$$\text{Suhu film adalah } Tf = \frac{T_1 + T_4}{2}$$

$$Tf = \frac{501,6 + 86,1}{2} = 293,85 \text{ } ^\circ\text{C} = 567 \text{ K,}$$

Sehingga sifat-sifat udara pada temperatur 567 K. Pada Lampiran A1 adalah

$$\beta = 1/Tf = 1/567 = 0,00176367$$

$$k = 0,04360 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$v = 44,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,680$$

Maka persamaanya adalah :

$$Gr Pr = \frac{g\beta (T_w - T_\infty) x^3}{v^2} Pr$$

$$\begin{aligned} Gr Pr &= \frac{(9,8)(0,00176367)(501,6 - 86,1)(0,001)^3}{44,34 \times 10^{-4}} (0,680) \\ &= \frac{(0,017283966)(415,5)(0,001)^3}{44,34 \times 10^{-4}} (0,680) \\ &= \frac{(4,08982576)(0,001)^3}{44,34 \times 10^{-4}} (0,680) \\ &= 1,20112 \times 10^{-13} \end{aligned}$$

Dari Lampiran A2 maka didapat harga untuk $C = 0,59$ dan $m = 0,25$

$$Nu = C (Gr Pr)^m$$

$$Nu = 0,59 (1,20112 \times 10^{-13})^{0,25} = 0,000191132$$

Maka Nu adalah = 0,000191132

$$\text{Dan } h = Nu \left(\frac{k}{d} \right) = 0,000191132 \left(\frac{0,04360}{0,001} \right) = 0,00833336$$

Maka $h = 0,00833336 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

Mencari luas selimut lingkaran pada tabung ketel:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot t$$

Diketahui:

$$r = 550 \text{ mm, menjadi } = 55 \text{ cm, dibagi } 2 = 27,5 \text{ cm}$$

$$t = 700 \text{ mm, menjadi } = 70 \text{ cm}$$

Penyelesaian:

$$L = 2 \times 22/7 \times 27,5 \times (27,5 + 70)$$

$$= (172,854 \times 97,5)$$

$$= 16853,256 \text{ cm}$$

Maka $A = 16853,256 \text{ cm}$

Menjadi $= 1,6853256 \text{ m}^2$

4.1.3.2 Perpindahan Kalor Secara Konveksi (III)

Persamaan perpindahan kalor secara konveksi:

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty)$$

Diketahui:

$$h = 0,00833336 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$A = 1,6853256 \text{ m}^2$$

$$T_w = 501,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 86,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Penyelesaian:

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty)$$

$$= 0,00833336 \times 1,6853256 \times (501,6 - 86,1)$$

$$= 0,014044425 \times 415,5$$

$$q = 5,835458 \text{ Watt/kj}$$

Maka q adalah $= 0,005835458 \text{ Kw}$

e. Bilangan Rayleigh

Maka persamaanya adalah :

$$T_f = \frac{T_1 + T_4}{2}$$

$$T_f = \frac{501,6 + 86,1}{2} = 293,85 \text{ } ^\circ\text{C} = 567 \text{ K,}$$

Sehingga sifat-sifat udara pada temperatur 567 K. Pada Lampiran A1 adalah

$$\beta = 1/T_f = 1/567 = 0,00176367$$

$$k = 0,04360 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$$

$$v = 44,34 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0,680$$

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{v^2} Pr$$

$$Ra_L = \frac{(9,8)(0,00176367)(501,6 - 86,1)(0,001)^3}{44,34 \times 10^{-4}} (0,680)$$

$$= \frac{(0,017283966)(415,5)(0,001)^3}{44,34 \times 10^{-4}} (0,680)$$

$$= \frac{(4,08982576)(0,001)^3}{44,34 \times 10^{-4}} (0,680)$$

$$= 1,10134 \times 10^{-14}$$

Maka Ra adalah $1,10134 \times 10^{-14}$

f. Bilangan Nusselt

Persamaan empirik konveksi alami yang digunakan berdasarkan dari penelitian Churcill and Chu seperti berikut :

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,387 \cdot Ra^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,387 \cdot 1,10134 \times 10^{-14}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,680} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,0119445}{1,89564 \frac{8}{27}} \right]^2$$

$$Nu = \left[0,6 + \frac{0,0119445}{1,20864} \right]^2$$

$$= 0,3871957$$

Maka Nu adalah 0,3871957

Mencari luas alas (bawah) lingkaran pada tabung ketel:

$$= \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$= \frac{3,14}{4} \times 500 \text{ mm}^2$$

$$= 1,96250 \text{ mm}^2$$

Maka $A = 0,19625 \text{ m}^2$

4.1.3.3 Perpindahan Kalor Secara Konduksi (III)

Persamaan perpindahan kalor secara konduksi:

$$q = -k \cdot A \frac{dT}{dX}$$

Diketahui :

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

$$A = 0,19625 \text{ m}^2$$

$$\Delta X = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

$$T_2 = 173,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 82,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

Penyelesaian:

$$q = -k \cdot A \frac{dT}{dX}$$

$$= -15,1 \times 1,9625^{-6} \frac{(82,7 - 173,7)}{0,001}$$

$$= -0,264313 \times \frac{-90}{0,001}$$

$$= 23788,17 \text{ Watt}$$

Maka $q = 23788,17 \text{ Watt}$

- Mencari nilai p :

$$\begin{aligned} p &= 2D + 2t \\ &= 2(D + t) \\ &= 2 \times (500 + 700) \\ &= 2 \times 1.200 \end{aligned}$$

$$p = 2.400 \text{ mm}$$

Maka $p = 2,4 \text{ m}$

- Mencari nilai A :

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{2} \cdot D \cdot t \\ A &= \frac{3,14}{2} \cdot 500 \cdot 700 \\ &= 1,57 \times 500 \times 700 \end{aligned}$$

$$A = 549500 \text{ mm}^2$$

Maka $A = 0,5495 \text{ m}^2$

- Mencari nilai Dh :

$$Dh = \frac{4 \cdot A}{p}$$

$$Dh = \frac{4 \times 0,5495}{2,4}$$

$$= \frac{2,194}{2,4}$$

$$Dh = 0,91416667 \text{ m}$$

- Mencari nilai h_1 :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{Dh}$$

$$h = \frac{0,541109 \times 0,0510812}{0,91416667}$$

$$= \frac{0,02764049712}{0,91416667}$$

$$h_1 = 0,0302357045 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

4.1.3.4 Perhitungan Koefisien (Transfer Panas Overall) Perpindahan Panas Total (I)

Persamaan koefisien perpindahan panas total:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

Diketahui :

$$h_1 = 0,0302357045 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$h_2 = 10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \text{ (dari Lampiran A5)}$$

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

$$\Delta x = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

Penyelesaian :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{0,0302357045} + \frac{0,001}{15,1} + \frac{1}{10}}$$

$$U_i = \frac{1}{33,07348 + 0,0000662252 + 0,1}$$

$$= \frac{1}{33,07348 + 0,0000662252}$$

$$= 0,0301445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Maka nilai U_j adalah $0,0301445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

4.1.3.5 Menghitung Laju Perpindahan Kalor (III)

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 ΔT maka terlebih dahulu mencari rata-rata temperatur air dan uap air.

Diketahui:

$$\text{Titik suhu 1 (panas pada alas bawah ketel)} = 501,62 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Titik suhu 2 (panas pada dinding dalam ketel)} = 173,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Titik suhu 3 (panas pada dinding luar ketel)} = 82,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Titik suhu 4 (panas pada kerucut ketel)} = 86,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$U_i = 0,0301445 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Persamaan temperature rata-rata:

$$\begin{aligned} T_i &= (T_1 + T_4) / 2 \\ &= (501,6 + 86,1) \\ &= 587,7 : 2 \\ &= 293,85 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Persamaan temperature rata-rata :

$$\begin{aligned} T_h &= (T_3 + T_2) / 2 \\ &= (82,7 + 173,7) \\ &= 256,5 : 2 \\ &= 128,2 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Maka :

$$\Delta T = 293,85 - 128,2$$

$$\Delta T = 165,65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Persamaan laju perpindahan kalor yaitu

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

$$q = 0,0301445 \times 1,9625 \times 165,65$$

$$= 0,0591585813 \times 165,65$$

$$q = 9,799618992 \text{ Watt}$$

4.2 Pembahasan

Tabel 4.2 Data Hasil perhitungan pindahan panas secara Konveksi pada dinding ketel.

Volume Air (L)	Temperatur (°C)	Temperatur Dinding/ketel (°C)				q konveksi (kw)
		1	2	3	4	
			80	409,2	100,9	
58	90	477,8	122,5	71,4	79,8	0,002157558
	100	501,6	173,7	82,7	86,1	0,005835458

1. Pada temperatur pemanasan air sampai 80 °C, Pindahan panas konveksi yang terbentuk pada volum 58 liter dapat menghasilkan pindahan panas sebesar 15,50226225 Watt.
2. Pada temperatur pemanasan air sampai 90 °C, Pindahan panas konveksi yang terbentuk pada volume 58 liter dapat menghasilkan pindahan panas sebesar 0,002157558 Watt.
3. Pada temperatur pemanasan air sampai 100 °C, Pindahan panas konveksi yang terbentuk pada volume 58 liter dapat menghasilkan pindahan panas sebesar 0,005835458 Watt.

Tabel 4.3 Data Hasil perhitungan pindahan panas secara Konduksi pada dinding ketel.

Volume Air (L)	Temperatur (°C)	Temperatur Rata-Rata (°C)	q konduksi (Watt)
	80	161,625	10810,40
58	90	187,875	13506,39
	100	211,025	23788,17

1. Pada temperatur pemanasan air sampai 80 °C, Pindahan panas konduksi yang terbentuk pada volume 58 liter dapat menghasilkan pindahan panas sebesar 10810,40 Watt.
2. Pada temperatur pemanasan air sampai 90 °C, Pindahan panas konduksi yang terbentuk pada volume 58 liter dapat menghasilkan pindahan panas sebesar 13506,39 Watt.
3. Pada temperatur pemanasan air sampai 100 °C, Pindahan panas konduksi yang terbentuk pada volume 58 liter dapat menghasilkan pindahan panas sebesar 23788,17 Watt.

Tabel 4.4 Menghitung Laju Perpindahan Kalor (q)

Volume Air (L)	Temperatur (°C)	q (W)
	80	9,6043956741
58	90	10,757988009
	100	9,799618992

1. Pada temperatur pemanasan air sampai 80 °C, Laju Perpindahan Kalor yang terbentuk pada volume 58 liter dapat menghasilkan pindahan panas sebesar 9,6043956741 Watt.
2. Pada temperatur pemanasan air sampai 90 °C, Laju Perpindahan Kalor yang terbentuk pada volume 58 liter dapat menghasilkan pindahan panas sebesar 10,757988009 Watt.
3. Pada temperatur pemanasan air sampai 100 °C, Laju Perpindahan Kalor yang terbentuk pada volume 58 liter dapat menghasilkan pindahan panas sebesar 9,799618992 Watt.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun hasil kesimpulan yang diperoleh penelitian ini adalah :

1. Pada analisa perpindahan panas konveksi pada ketel (boiler) dengan percobaan (I) dapat mengaliskan 15,50226225 Kw. Pada percobaan (II) dapat mengaliskan 0,002157558 Kw. Dan pada percobaan (III) dapat mengaliskan 0,005835458 Kw.
2. Perpindahan panas konveksi sangat bergantung kepada temperatur, semakin tinggi temperatur yang dihasilkan maka pindahan panasnya semakin tinggi.
3. Pada analisa perpindahan panas konduksi pada ketel (boiler) dengan percobaan (I) dapat mengaliskan 10810,40 Watt. Pada percobaan (II) dapat mengaliskan dapat mengaliskan 13506,39 Watt. dan pada percobaan (III) dapat mengaliskan 23788,17 Watt.
4. Perhitungan Koefisien (Transfer Panas Overall) Perpindahan Panas Total Sebesar (U_i) : 0,0301445 W/m².°C
5. Laju perpindahan kalor pada ketel (q) sebesar :
Percobaan (I) : 9,6043956741 Watt
Percobaan (II) : 10,757988009 Watt
Percobaan (III) : 9,799618992 Watt

5.2 Saran

1. Untuk mendukung kelancaran dan akurasi hasil pengujian sebaiknya dilakukan pemeriksaan serta perawatan pada komponen dan alat ukur setiap kali pengujian dilakukan agar ketel uap dapat bekerja sesuai yang diinginkan dan masa pemakaiannya bisa lebih lama.
2. Sebaiknya pada ketel (boiler) tersebut diberikan atau dipasangkan gelas pengukur air agar kita mengetahui kondisi dari air yang berada didalam.
3. Pada ketel (boiler) kalau bisa dicoba menggunakan bahan bakar dari sumber lain seperti kayu bakar atau arang. Agar mengetahui perbandingan waktu yang akan digunakan selama penelitian.

4. Semoga pada penelitian ketel (boiler) pada penyulingan minyak atsiri ini selanjutnya mampu memberikan hasil yang lebih akurat. Selain itu, semoga tugas akhir ini mampu dijadikan reverensi kepada peneliti.

DAFTAR PUSTAKA

- <https://synergysolusi.com/indonesia/berita-terbaru/mengenal-apa-itu-ketel-uap-boiler-dan-cara-perawatannya>. (di akses pada 23 Agustus 2021).
- Mohammed A. Malek 2004. *Power Boiler Design Inspection and Repair*. New York : Mc Graw-Hill Professional.
- Purba, Jhonas. 2015. *Perancangan Boiler Pipa Api Untuk Perebusan Bubur Kedelai Pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 Kg/Jam*. Riau: Fakultas Teknik Universitas Pasir Pangaraian. Dalam <https://www.neliti.com/public-ations/111335/perancangan-boiler-pipa-api-untuk-perebusanbu-bur-kedelai/pa-da-industri-tahu-kap>, (di akses pada 23 Agustus 2021).
- Holman, J.P. (1988). *Perpindahan Kalor*, Edisi ke-6. Jakarta: Erlangga
- Agustira, R, Muhammad Razi, & Syukran, 2017. *Rancang Bangun Boiler Vertikal Fire Tube Berbahan Gas Elpiji Untuk Proses Penyulingan Minyak Nilam*. Politeknik Negeri Lhokseumawe: Jurnal Mesin Sains Terapan, 1 (1),dalam <http://e-jurnal.pnl.ac.id/index.php/mesinsainsterapan/article/viewFile/386/-341,diakses>, (di akses pada 23 Agustus 2021).
- Djokosetyardjo, M.J, Ir. (1990). *Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- Hakim Legisnal. 2016. *Analisa Teoritis Laju Aliran Kalor Pada Ketel Uap Pipa Api Mini Industri Tahu Di Tinjau Dari Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh*. Pekanbaru: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Riau, ISSN: 2354-6751. Vol. 1 No. 4. (di akses pada 13 Oktober 2021).
- Ambarita, Himsar. 2011. *Perpindahan Panas Konveksi dan Pengantar Alat Penukar Kalor*. Medan: Departemen Teknik Mesin FT USU. (di akses pada 13 Oktober 2021).
- Chalim Abdul, Ariani, Mufid, Hardjono. 2017. *Koefisien Perpindahan Kalor Total (U) Sistim Air-Etilen Glikol Menggunakan Alat Penukar Kalor Shell and Tube 1-1*. ISSN: 2580-6572. Volume 1. (di akses pada 13 Oktober 2021).
- Supu Idawati, Usman Baso, Basri Selviani, Sunarmi. 2016. *Pengaruh Suhu Terhadap Perpindahan Panas Pada Material Yang Berbeda*. Pogram Studi Fisika, Fakultas Sains Universitas Cokroaminoto Palopo. ISSN 2087 – 7889. Vol. 07. No. 1
- Qamaruddin, Ilyas Sikki Muhammad. 2016. *Analisis Kebutuhan Bahan Bakar Terhadap Perubahan Tekanan Uap*. Bekasi: Fakultas Teknik Universitas Islam. Vol. 4. (di akses pada 13 Oktober 2021).

- F. Kreith. , 2000. *The CRC Handbook of Thermal Engineering*, CRC Press. New York.
- Prajitno. 2005. *Perpindahan Kalor Lanjut*. Edisi 2 . Handout, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta,
- Frank.P Incropera dan David P. DeWitt. 1996. *Dasar-dasar Perpindahan Panas*, edisi ke-4. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine, A.S. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer (6th ed)*. United States of America: John Wiley & Sons.
- Sri Poernomo Sari, Sandy Suryady, Astuti. 2018. *Koefisien Perpindahan Panas Konveksi dan Simulasi Distribusi Temperatur Aliran Fluida pada Penukar Kalor Pipa Ganda dengan Pipa Spiral*. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Gunadarma, Jakarta Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang. ISSN 1693-3168.
- Sri Poernomo Sari, Aswinskyah Hassan, T. Saputra, D. Malau, R. 2013. *Koefisien Perpindahan Panas dan Kerugian Jatuh Tekanan Aliran di dalam Pipa*. Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan IV, Nomor 1, Volume 1, Juni 2013-09-04 ISSN 2338-414X. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana.
- Frank Kreith. 1997. *Prinsip perpindahan panas*. Edisi 3. Erlangga. Jakarta.
- Necati Ozisik. 1985. *Heat transfer*. Mcgraw-Hill. Singapura.
- <http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/107/jbptppolban-gdl-sriwuryant-5325-1-perpinda-s.pdf> (di akses pada 20 Desember 2021).

LAMPIRAN

Lampiran A1 Sifat-Sifat Udara Pada Tekanan Atmosfer

T, K	ρ kg/m ³	c_p kJ/kg.°C	μ kg/m.s x 10 ⁵	ν m ² /s x 10 ⁴	k W/m.°C	α m ² /s x 10 ⁴	Pr
100	3.6010	1.0266	0.6924	1.923	0.009246	0.02501	0.770
150	2.3675	1.0099	1.0283	4.343	0.013735	0.0574	0.753
200	1.7684	1.0061	1.3289	7.490	0.01809	0.10165	0.739
250	1.4128	1.0053	1.5990	11.31	0.02227	0.15675	0.722
300	1.1774	1.0057	1.8462	15.69	0.02624	0.22160	0.708
350	0.9980	1.0090	2.075	20.76	0.03003	0.2983	0.697
400	0.8826	1.0140	2.286	25.90	0.03365	0.3760	0.689
450	0.7833	1.0207	2.484	31.71	0.03707	0.4222	0.683
500	0.7048	1.0295	2.671	37.90	0.04038	0.5564	0.680
550	0.6423	1.0392	2.848	44.34	0.04360	0.6532	0.680
600	0.5879	1.0551	3.018	51.35	0.04659	0.7512	0.680
650	0.5430	1.0635	3.177	58.51	0.04953	0.8578	0.682
700	0.5030	1.0752	3.332	66.25	0.05230	0.9672	0.684
750	0.4709	1.0856	3.481	73.91	0.05509	1.0774	0.686
800	0.4405	1.0978	3.625	82.29	0.05779	1.1951	0.689
850	0.4149	1.1095	3.765	90.75	0.06028	1.3097	0.692
900	0.3925	1.1212	3.899	99.3	0.06279	1.4271	0.696
950	0.3716	1.1321	4.023	108.2	0.06525	1.5510	0.699
1000	0.3524	1.1417	4.152	117.8	0.06752	1.6779	0.702
1100	0.3204	1.160	4.44	138.6	0.0732	1.969	0.704
1200	0.2947	1.179	4.69	159.1	0.0782	2.251	0.707
1300	0.2707	1.197	4.93	182.1	0.0837	2.583	0.705
1400	0.2515	1.214	5.17	205.5	0.0891	2.920	0.705
1500	0.2355	1.230	5.40	229.1	0.0946	3.262	0.705
1600	0.2211	1.248	5.63	254.5	0.100	3.609	0.705
1700	0.2082	1.467	5.85	280.5	0.105	3.977	0.705
1800	0.1970	1.287	6.07	308.1	0.111	4.379	0.704
1900	0.1858	1.309	6.29	338.5	0.117	4.811	0.704
2000	0.1762	1.338	6.50	369.0	0.124	5.260	0.702
2100	0.1682	1.372	6.72	399.6	0.131	5.715	0.700
2200	0.1602	1.419	6.93	432.6	0.139	6.120	0.707
2300	0.1538	1.482	7.14	464.0	0.149	6.540	0.710
2400	0.1458	1.574	7.35	504.0	0.161	7.020	0.718
2500	0.1394	1.688	7.57	543.5	0.175	7.441	0.730

Lampiran A2 Konstanta Untuk Permukaan Isotermal

Geometri	$Gr_f Pr_f$	C	m
	$10^{-1} - 10^4$	Gunakan Daftar	Gunakan Daftar A-4
Bidang dan silinder vertikal		A-4	
	$10^4 - 10^9$	0,59	$\frac{1}{4}$
	$10^9 - 10^{13}$	0,021	$\frac{2}{5}$
	$10^9 - 10^{13}$	0,10	$\frac{1}{3}$
	$0 - 10^{-5}$	0,4	0
	$10^{-5} - 10^4$	Gunakan Daftar	Gunakan Daftar A-5
Silinder harizontal		A-5	
	$10^4 - 10^9$	0,53	$\frac{1}{4}$
	$10^9 - 10^{12}$	0,13	$\frac{1}{3}$
	$10^{-10} -$	0,675	0,0
	10^{-2}		58
	$10^{-2} - 10^2$	1,02	0,1
			48
	$10^2 - 10^4$	0,850	0,1
			88
	$10^4 - 10^7$	0,480	$\frac{1}{4}$
$10^7 - 10^{12}$	0,125	$\frac{1}{3}$	

Lampiran A3 Sifat-sifat Air (Zat Cair Jenuh)

°C	C _p , kJ/kg. °C	ρ, kg/m ³	μ, kg/m .s	k, W/m . °C	Pr	1/m ³ . °C
0	4.225	999.8	1.79×10^{-3}	0.566	13.25	1.91×10^9
4.44	4.028	999.8	1.55	0.575	11.35	6.34×10^9
10	4.195	999.8	1.31	0.585	9.4	1.86×10^{10}
15.56	4.186	999.2	1.12	0.595	7.88	1.46×10^{10}
21.11	4.179	998.6	9.8×10^{-4}	0.604	6.78	1.91×10^{10}
26.67	4.174	997.4	8.6	0.614	5.85	2.48×10^{10}
32.22	4.174	995.8	7.65	0.623	5.12	3.3×10^{10}
37.38	4.174	994.9	6.82	0.63	4.53	4.19×10^{10}
43.33	4.174	993	6.16	0.637	4.04	4.86×10^{10}
48.89	4.174	990.6	5.62	0.644	3.64	5.66×10^{10}
54.44	4.179	988.8	5.13	0.649	3.3	6.48×10^{10}
60	4.179	985.7	4.71	0.654	3.01	7.62×10^{10}
65.55	4.183	983.3	4.3	0.659	2.73	8.84×10^{10}
71.11	4.186	980.3	4.01	0.665	2.53	9.85×10^{10}
76.67	4.191	977.3	3.72	0.668	2.33	1.09×10^{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	9.51×10^{-5}			
287.7	5.703	678.7	8.68			

Lampiran A4 Sifat-sifat Gas Pada Tekanan Atmosfer (lanjutan)

Nilai μ , k , C_p , dan Pr tidak terlalu luas bergantung pada tekanan dan dapat digunakan untuk tekanan rentang yang cukup luas.

Uap air							
T, K	ρ , kg/m ³	C_p , kJ/kg . °C	μ , kg/m .s	ν , m ² /s	k , W/m . °C	α , m ² s	Pr
368	0.5836	2,060	12.71×10^{-6}	2.16×10^{-5}	0.0246	0.2036	1.60
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

Lampiran A5 Nilai Konveksi Uap Air Konveksi Alami (Gas)

Tabel 1. Nilai pendekatan koefisien perpindahan panas konvektif untuk berbagai aplikasi.	
Sistem	h ($W\ m^{-2}\ K^{-1}$)
Konveksi alami (gas)	10
Konveksi alami (cairan)	100
Gas mengalir	50–100
Cairan mengalir (viskositas rendah)	1000–5000
Cairan mengalir (viskositas tinggi)	100–500
Cairan mendidih	20.000
Kukus mengembun	20.000

LEMBAR ASISTENSI

Nama : Khoirul Latif Simamora

NPM : 1707230125

Dosen Pembimbing:

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

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	27/09/2021	Perbaiki Rumus dan gambar.	f
2.	04/10/2021	Perbaiki Bab III	f
3.	11/10/2021	Perbaiki percobaan I	f
4.	25/10/2021	Perbaiki percobaan II	f
5.	22/12/2021	Perbaiki percobaan III	f
6.	17/01/2022	Perbaiki BAB V	f
7.	24/02/2022	ACC seminar	f
8.	15/09/2022	ACC sidang	f



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA FAKULTAS TEKNIK

UMSU Terakreditasi A Berdasarkan Keputusan Badan Akreditasi Nasional Perguruan Tinggi No. 89/SK/BAN-PT/Akred/PT/III/2019

Pusat Administrasi: Jalan Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 - 66224567 Fax. (061) 6625474 - 6631003

<http://fatek.umsu.ac.id> fatek@umsu.ac.id [umsumedan](https://www.facebook.com/umsumedan) [umsumedan](https://www.instagram.com/umsumedan) [umsumedan](https://www.linkedin.com/company/umsumedan) [umsumedan](https://www.youtube.com/channel/UC...)

PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN DOSEN PEMBIMBING

Nomor 430/IL.3AU/UMSU-07/F/2022

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi TeknikMesinPada Tanggal 16 Maret 2022dengan ini Menetapkan :

Nama : KHAIRUL LATIF SIMAMORA
Npm : 1707230125
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : X (Sepuluh)
Judul Tugas Akhir : ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA ALAT PENYULINGAN DAUN NILAM MENJADI MINYAK ATSIRI DENGAN KAPASITAS KETEL 5 KILOGRAM

Pembimbing : H MUHARNIF M 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 TeknikMesin
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, 13 Sya'ban 1443 H

16 Maret 2022 M



Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT

NIDN: 0101017202



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

Peserta seminar

Nama : Khoirul Latif Simamora

NPM : 1707230125

Judul Tugas Akhir : Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 5 Kilogram

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing – I	:	H. Muharnif, ST, M.Sc
Pembanding – I	:	Khairul Umurani, ST, MT
Pembanding – II	:	M. Yani, ST, MT

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1507230122	Ahmad Chairy	
2	1507230060	DEAHY M JELIA	
3	1507230070	NURHANDIKA PUTRA	
4	1507230061	Faisel Ardiansyah	
5	1507230201	SUPARMAN NUR ABDI	
6	1807230143	Gogo Priatama	
7			
8			
9			
10			

Medan, 26 Muharram 1444 H
24 Agustus 2022 M

Ketua Prodi. T. Mesin



Handra A Siregar, ST, MT

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

Nama : Khoirul Latif Simamora
NPM : 1707230125
Judul Tugas Akhir : Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 5 Kilogram

Dosen Pembanding – I : Khairul Umurani, ST, MT
Dosen Pembanding – II : M. Yani, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : H. Muharnif, ST, M.Sc

KEPUTUSAN

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

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

3. Harus mengikuti seminar kembali

Perbaikan :

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

Medan, 26 Muharram 1444 H
24 Agustus 2022 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin

Dosen Pembanding- I



Chandra A Siregar, ST, MT

Khairul Umurani

Khairul Umurani, ST, MT

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

Nama : Khoirul Latif Simamora
NPM : 1707230125
Judul Tugas Akhir : Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 5 Kilogram

Dosen Pembanding – I : Khairul Umurani, ST, MT
Dosen Pembanding – II : M. Yani, ST, MT
Dosen Pembimbing – I : H. Muharnif, ST, M.Sc

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
Waktu dan draft skripsi bagian yg harus diperbaiki.
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

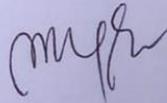
Medan 26 Muharram 1444 H
24 Agustus 2022 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II



M. Yani, ST, MT

DAFAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Khoirul Latif Simamora
Jenis Kelamin : Laki-laki
Tempat, Tanggal Lahir : Papaso II, 03 Juli 1998
Alamat : Desa Papaso II,
Kecamatan : Sosa Timur
Kabupaten : Padang Lawas
Provinsi : Sumatera Utara
Agama : Islam
E-mail : khoirullatfsmr980603@gmail.com
No. Hp : 082386393329

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SDN 0197 Transpir 1 A 2005-2011
2. SMPN 3 Huta Raja Tinggi 2011-2014
3. SMK Al-Hasanah Sibuhuan 2014-2017
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara 2017-2022