

# **TUGAS AKHIR**

## **ANALISIS EFISIENSI KETEL PADA ALAT PENYULINGAN DAUN NILAM KAPASITAS KETEL 5 KG**

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

**Disusun Oleh:**

**ADE AHMAD WIJAYA PULUNGAN**  
**1807230101**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2025**

## HALAMAN PENGESAHAN

Laporan penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ade Ahmad Wijaya Pulungan  
NPM : 1807230101  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Tugas Akhir : **Analisis Efisiensi Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Kapasitas Ketel 5 Kg**  
Bidang ilmu : Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Agustus 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



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

Dosen Peguji II



Arya Rudi Nasution, S.T., M.T

Dosen Penguji III



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

Program Studi Teknik Mesin  
Ketua



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

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ade Ahmad Wijaya Pulungan  
Tempat /Tanggal Lahir : Medan /20 Juli 1999  
NPM : 1807230101  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Mesin

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

**“ Analisis Efisiensi Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Kapasitas Ketel 5 Kg”,**

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, 12 Agustus 2025

Saya yang menyatakan,



Ade Ahmad Wijaya Pulungan

## **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis efisiensi ketel pada alat penyulingan daun nilam berkapasitas 5 kg melalui tiga skenario pengujian yang berbeda. Efisiensi ketel diukur berdasarkan rasio antara energi panas yang berhasil diserap (panas keluar) dan total energi panas yang dimasukkan (panas masuk). Hasil pengujian menunjukkan efisiensi yang bervariasi. Penelitian pertama, dengan panas masuk 15.5023skJ dan panas keluar 10.8104skJ, mencatatkan efisiensi tertinggi sebesar 43.4017%. Efisiensi ini membuktikan bahwa kondisi operasional pada skenario tersebut adalah yang paling optimal dalam mengonversi energi. Namun, efisiensi menurun pada penelitian kedua, menjadi 37.2668%, dan mengalami penurunan drastis pada penelitian ketiga, di mana efisiensi hanya mencapai 24.2703%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa efisiensi ketel sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional, dan kondisi pada penelitian pertama adalah yang paling efektif. Temuan ini memberikan data krusial untuk mengoptimalkan kinerja ketel, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan meningkatkan efisiensi proses penyulingan secara keseluruhan.

Kata kunci : Efisiensi Ketel, Penyulingan Nilam dan Panas Masuk

## **ABSTRAK**

*This study aims to calculate and analyze the efficiency of a boiler in a 5 kg patchouli leaf distillation unit through three different test scenarios. Boiler efficiency is measured based on the ratio between the heat energy successfully absorbed (heat output) and the total heat energy inputted (heat input). The test results showed varying efficiencies. The first test, with a heat input of 15.5023 kJ/s and a heat output of 10.8104 kJ/s, recorded the highest efficiency at 43.4017%. This efficiency proves that the operational conditions in this scenario are the most optimal for energy conversion. However, efficiency decreased in the second test, dropping to 37.2668%, and experienced a drastic decline in the third test, where efficiency was only 24.2703%. Thus, it can be concluded that boiler efficiency is significantly influenced by operational conditions, and the conditions from the first test are the most effective. These findings provide crucial data for optimizing boiler performance, reducing fuel consumption, and improving the overall efficiency of the distillation process.*

*Keywords: Boiler Efficiency, Patchouli Distillation, Heat Input*

## KATA PENGANTAR

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 penelitian ini dengan judul “ **Analisis Efisiensi Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Kapasitas Ketel 5 Kg**”.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak H. Muarnif M, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Penguji I yang telah banyak membantu dan memberi saran demi kelancaran proses penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Arya Rudi Nasution, S.T., M.T selaku Dosen Penguji II yang telah banyak membantu dan memberi saran demi kelancaran proses penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T dan Bapak Ahmad Marabdi, S.T., M.T. yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua dan Sekretaris Program Studi Teknik Mesin, Universitas 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 di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
7. Orang tua penulis: Bapak Astra Wijaya Pulungan, Bapak Suprpto, Ibu Fatimah Zaitun, dan Ibu Nely Syahputri Rangktuti S. Pd C. Ap yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis..
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Sahabat-sahabat penulis: Nanang Pat Sumantri Mariono, Khoirul Latif Simamora dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, 29 Agustus 2025



Ade Ahmad Wijaya Pulungan

## DAFTAR ISI

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| LEMBAR PENGESAHAN                                | ii        |
| LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI                | iii       |
| ABSTRAK                                          | iv        |
| <i>ABSTRACT</i>                                  | v         |
| KATA PENGANTAR                                   | vi        |
| DAFTAR ISI                                       | viii      |
| DAFTAR TABEL                                     | xi        |
| DAFTAR GAMBAR                                    | xii       |
| DAFTAR NOTASI                                    | xiii      |
| <br>                                             |           |
| <b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>                         | <b>1</b>  |
| 1.1. Latar Belakang                              | 1         |
| 1.2. Rumusan masalah                             | 4         |
| 1.3. Ruang lingkup                               | 4         |
| 1.4. Tujuan                                      | 4         |
| 1.5. Manfaat                                     | 5         |
| <br>                                             |           |
| <b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>                    | <b>6</b>  |
| 2.1. Tanaman Nilam                               | 6         |
| 2.2. Minyak Nilam                                | 7         |
| 2.3. Metode Ekstraksi Minyak Nilam               | 7         |
| 2.3.1. Metode <i>Hydrodistillation</i>           | 7         |
| 2.3.2. Metode <i>Steam Distillation</i>          | 8         |
| 2.3.3. Metode <i>Steam and Hydrodistillation</i> | 9         |
| 2.4. Parameter Minyak Atsiri                     | 9         |
| 2.5. Perpindahan Kalor                           | 11        |
| 2.5.1. Perpindahan kalor secara konveksi         | 11        |
| 2.5.2. Laju Aliran Massa Uap                     | 12        |
| 2.6. <i>Boiler</i>                               | 12        |
| 2.6.1. Prinsip Kerja <i>Boiler</i>               | 13        |
| 2.6.2. Klasifikasi <i>Boiler</i>                 | 14        |
| 2.6.3. Bahan Bakar <i>Boiler</i>                 | 16        |
| 2.7. Efisiensi Boiler                            | 19        |
| 2.8. Perpindahan Panas Pada Boiler               | 22        |
| 2.8.1. Pancaran (radiasi)                        | 22        |
| 2.8.2. Aliran (Konveksi)                         | 23        |
| 2.8.3. Perambatan                                | 23        |
| 2.9. Prinsip Pembakaran                          | 23        |
| <br>                                             |           |
| <b>BAB 3 METODOLOGI</b>                          | <b>24</b> |
| 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian                 | 24        |
| 3.1.1. Tempat                                    | 24        |
| 3.1.2. Waktu                                     | 24        |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| 3.2. Bahan dan Alat                    | 26        |
| 3.2.1. Bahan                           | 26        |
| 3.2.2. Alat                            | 27        |
| 3.3. Bagan Alir Penelitian             | 30        |
| 3.4. Rancangan Alat Penelitian         | 31        |
| 3.5. Prosedur Penelitian               | 32        |
| <b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN</b>      | <b>39</b> |
| 4.1. Hasil pengujian                   | 39        |
| 4.2. Pembahasan                        | 39        |
| 4.2.1. Perhitungan Keseimbangan Massa  | 39        |
| 4.2.2. Efisiensi Ketel Secara Langsung | 40        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN</b>      | <b>45</b> |
| 5.1. Kesimpulan                        | 45        |
| 5.2. Saran                             | 45        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>                  | <b>50</b> |
| <b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>            | <b>54</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>                        | <b>55</b> |

## **DAFTAR TABEL**

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| Tabel 3.1 Rencana Pelaksanaan Penelitian   | 25 |
| Tabel 4.1 Data Pengujian                   | 36 |
| Tabel 4.2 Data Aktual Pengujian Pada Ketel | 39 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 Skema Peralatan <i>Hydrodistillation</i>           | 8  |
| Gambar 2.2 skema peralatan <i>steam distillation</i>          | 9  |
| Gambar 2.3 skema peralatan <i>steam and hydrodistillation</i> | 9  |
| Gambar 2.4 <i>Boiler</i>                                      | 12 |
| Gambar 2.5 Diagram Sankey Boiler                              | 14 |
| Gambar 2.6 <i>Fire Tube Boiler</i>                            | 15 |
| Gambar 2.7 Cara Kerja Fire Tube Boiler                        | 15 |
| Gambar 2.8 <i>Water Tube Boiler</i>                           | 16 |
| Gambar 2.9 Kerangka Konseptual Bahan Bakar Model Konsumsi Gas | 20 |
| Gambar 2.10 <i>Heat Loss</i> Pada Boiler                      | 21 |
| Gambar 3.1 Daun Nilam                                         | 26 |
| Gambar 3.2 Air                                                | 26 |
| Gambar 3.3 Gas                                                | 27 |
| Gambar 3.4 Ketel Uap / Boiler                                 | 27 |
| Gambar 3.5 Kondensor                                          | 28 |
| Gambar 3.6 Pompa Air                                          | 28 |
| Gambar 3.7 <i>Stopwatch</i>                                   | 29 |
| Gambar 3.8 Timbangan                                          | 29 |
| Gambar 3.9 Gelas Ukur                                         | 30 |
| Gambar 3.10 Viskometer                                        | 30 |
| Gambar 3.11 Bagan Alir Penelitian                             | 31 |
| Gambar 3.12 proses mencacah daun nilam                        | 32 |
| Gambar 3.13 proses penjemuran daun nilam                      | 32 |
| Gambar 3.14 menimbang berat daun nilam                        | 33 |
| Gambar 3.15 memasukkan air kedalam ketel dan kondensor        | 33 |
| Gambar 3.16 memasukkan saringan pemisah                       | 33 |
| Gambar 3.17 memasukkan daun nilam                             | 34 |
| Gambar 3.18 mengukur dan mengamati proses pengujian           | 34 |
| Gambar 3.19 meletakkan thermocouple pada kondensor            | 35 |
| Gambar 3.20 Menampung minyak yang keluar hasil kondensasi     | 35 |
| Gambar 3.21 Mengukur berat minyak daun nilam                  | 35 |

## DAFTAR NOTASI

| Simbol        | Keterangan                                                            | Satuan                     |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $Q_{Konv}$    | Laju Perpindahan Panas                                                | $kJ / \text{det}$ atau $W$ |
| $h$           | Koefisien perpindahan panas konveksi                                  | $W / m^2 \cdot ^\circ C$   |
| $A$           | Luas bidang permukaan perpindahan panas                               | $ft^2, m^2$                |
| $\Delta T$    | Perbedaan temperatur permukaan                                        | $K$                        |
| $\dot{m}$     | Laju aliran massa                                                     | $Kg / s$                   |
| $\rho$        | Massa jenis                                                           | $Kg / m^3$                 |
| $v$           | Kecepatan aliran                                                      | $m / s$                    |
| $A$           | Luas penampang                                                        | $m^2$                      |
| $Q$           | Debit aliran                                                          | $m^3 / s$                  |
| $\eta_{fuel}$ | Efisiensi bahan bakar                                                 | $\%$                       |
| $\eta$        | Efisiensi boiler                                                      | $\%$                       |
| $Q_{steam}$   | Energi panas total yang diserap uap air                               | $kalori ; Joule$           |
| $Q_{fuel}$    | Energi panas hasil pembakaran bahan bakar                             | $kalori ; Joule$           |
| $h_g$         | Entalpi uap keluar boiler                                             | $kcal / kg$                |
| $h_f$         | Entalpi uap masuk boiler                                              | $kcal / kg$                |
| $q$           | Debit kebutuhan bahan bakar                                           | $Kg / jam$                 |
| $GCV$         | <i>Gross Calorific Value</i> atau<br>nilai kalor spesifik bahan bakar | $kcal / kg$                |
| $m$           | Massa gas buang kering                                                | $kg / kg_{fuel}$           |

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Ketel uap merupakan suatu pesawat tenaga yang banyak digunakan dan dianggap dalam dunia industri di negara Indonesia. Dimana ketel uap biasanya digunakan untuk penggerak mula juga digunakan untuk pemanas. Pada umumnya ketel uap (*boiler*) adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap, yang terdiri atas dua bagian penting yaitu dapur pemanasan untuk menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan boiler proper untuk mengubah air menjadi uap (Sutikno, Djoko, et al. 2011).

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 kontainer dimana diberi air dan dipanaskan, sehingga air mendidih dan menguap terus menerus menjadi uap. (Malek, M. 2004).

Bahan bakar boiler yang dapat digunakan untuk memproduksi uap ada bermacam-macam, seperti batu bara, gas LNG, solar, oli bekas, residu dan lain-lain. Penggunaan bahan bakar mempengaruhi kinerja boiler. Kinerja boiler dapat diketahui dengan menghitung nilai efisiensi pembakaran (Sugiharto, A. 2020). Penggunaan oli bekas memiliki keuntungan dalam segi biaya. Namun, apabila ditinjau dari segi lainnya seperti nilai efisien penggunaan bahan bakar belum diketahui. Oli bekas termasuk dalam limbah B3 dikarenakan oli bekas mengandung hasil sisa pembakaran yang bersifat asam, korosif dan logam-logam berat yang bersifat karsinogenik. Apabila limbah oli bekas tumpah di tanah maka akan mempengaruhi unsur air, tanah, dan berbahaya bagi lingkungan (Fitriawan, D. 2010).

Pembakaran yang menggunakan bahan bakar oli bekas tidak mampu mencapai pembakaran seperti solar atau bensin. Oleh sebab itu oli bekas membutuhkan perlakuan agar dapat digunakan sebagai bahan bakar (Hidayat, A.

R., & Basyirun, B. 2020). Pada umumnya metode penyulingan atsiri dapat dilakukan dengan berbagai cara penyulingan. Penyulingan air, penyulingan uap dan air, dan penyulingan uap langsung. Penyulingan air, pada metode ini daun dan batang tanaman yang akan disuling mengalami kontak langsung dengan air mendidih. Bahan dapat mengapung di atas air atau terendam secara sempurna, bergantung pada berat dan jumlah bahan yang disuling (Lutony, T. L., & Rahmayati, Y. 1994).

Penyulingan dengan uap langsung, pada sistem ini bahan baku tidak kontak langsung, baik dengan air maupun pemanas/api, tetapi hanya uap bertekanan tinggi yang difungsikan untuk menyuling, prinsip kerja metode ini membuat uap bertekanan tinggi di dalam boiler yang kemudian dialirkan melalui pipa dan masuk ke dalam tangki penguapan yang berisi bahan baku. Uap yang keluar dari boiler dihubungkan dengan kondensor, cairan kondensat yang berisi campuran minyak dan air dipisahkan dengan separator sesuai berat jenis minyak (Maulana, A. S., Turmizi, T., & Hamdani, H. 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh (Mukhtar, T. 2020) menyatakan bahwa hasil penelitian menunjukkan bahwa mayoritas petani masih menggunakan ketel drum bekas (79%), sedangkan yang menggunakan ketel *stainless steel* hanya sedikit (21%). Hasil analisis (menggunakan GC-MS) menunjukkan bahwa kualitas minyak nilam yang disuling dengan ketel *stainless steel* lebih baik dibandingkan dengan minyak nilam yang disuling dengan ketel drum bekas, namun biaya investasi dan operasional ketel *stainless steel* lebih tinggi. Adapun Faktor yang mempengaruhi petani dalam memilih jenis ketel penyuling adalah biaya investasi awal dan biaya operasional penyulingan. Banyak petani yang kesulitan mendapatkan modal usaha, sehingga para petani memilih menggunakan ketel drum bekas daripada ketel *stainless steel*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Fitra Ardiansyah, T. 2018) menyatakan bahwa didapatkan hasil persentase berat rendemen dengan tekanan 1 bar sebanyak 156 g (3,12 %) yang menghabiskan bahan bakar sebesar 5 kg gas elpiji selama proses penyulingan. Tekanan 2 bar menghasilkan rendemen sebanyak 146 g (2,92%) dengan konsumsi bahan bakar sebanyak 9,5 kg gas elpiji selama proses penyulingan. Pada pengujian dengan tekanan 2,5 bar menghasilkan rendemen

sebanyak 92 g (1,84%) yang menghabiskan bahan bakar sebesar 12 kg gas elpiji selama proses penyulingan berlangsung. Dengan bahan baku pala sebanyak 5 kg pada setiap pengujian. Rendemen maksimal dan bahan bakar minimal diperoleh pada tekanan 1 bar, kenaikan tekanan akan mengakibatkan turunnya rendemen dan naiknya konsumsi bahan bakar.

Penelitian yang dilakukan oleh (Nugroho, I. 2023) menyatakan bahwa alat ketel penyulingan dengan menggunakan bahan temulawak I dapat menghasilkan minyak atsiri paling banyak yaitu sebesar 660 ml. Dan minyak atsiri paling sedikit didapat dari bahan pengujian serai wangi dan pala yang menghasilkan minyak sebesar 215 ml. Dengan menggunakan bahan bakar kayu sebesar 1,074 kg/s atau 3.866,4 kg kayu per jam nya. Alat ini juga memiliki kapasitas efektif rata -rata sebesar 0,0205 ml/s. Rendemen rata- rata sebesar 0,003691% dan juga perbandingan peningkatan fungsi alat tersebut sebesar 1,25%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sufiyanto, S. 2011) menyatakan bahwa berdasarkan tekanan tertinggi yang dihasilkan oleh ketel yaitu  $14 \text{ kg} / \text{cm}^2$  kondisi uap yang dihasilkan adalah uap jenuh karena tekanan tersebut lebih besar dari tekanan uap untuk air mendidih yaitu  $11 \text{ kg} / \text{cm}^2$ . Kebutuhan bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan uap dari ketel adalah rata-rata 6 s/d 7 kg dengan kapasitas ketel induk 5 kg dan ketel kecil 2 kg. Penelitian yang dilakukan oleh (Pribadi, D. 2022) menyatakan bahwa metode perhitungan untuk menghitung laju perpindahan panas  $0,010388093^\circ\text{C}$  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  $0,0153736 \text{ m} / \text{s}$  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.

Penelitian yang dilakukan oleh (Indriyani, I. 2017) menyatakan bahwa pada analisis efisiensi alat penyulingan minyak nilam (*patchouly oil*) dengan proses kapasitas kering 30 kg per jam membutuhkan panas sebesar 18776,75 kkal/jam, panas yang dilepaskan uap sebesar 4964,85 kkal/jam dan jumlah air yang dibutuhkan sebesar 1,59 kg/jam. Produsen minyak atsiri di Indonesia masih banyak

menemui kendala terkait rendemen dan mutu produk yang masih rendah. Hal ini disebabkan sebagian besar unit pengolahan minyak nilam masih menggunakan teknologi sederhana dengan kapasitas produksi yang terbatas. Teknologi produksi yang sederhana tersebut umumnya kurang efisien karena waktu penyulingan yang lama (7 - 10 jam) dengan kapasitas produksi minyak berkisar 1 - 2% dari bahan baku yang diolah serta mutunya pun masih rendah (Huda, I. M. 2014). Dengan latar belakang ini, maka penelitian yang dilakukan sebagai tugas sarjana dengan judul: “Analisis Efisiensi Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Kapasitas 5 Kg”.

### 1.2 Rumusan Masalah

Faktor-faktor apa saja yang paling dominan memengaruhi efisiensi ketel pada proses penyulingan tersebut.

### 1.3 Ruang Lingkup

Agar pembahasan tidak terjebak dalam pembahasan yang tidak perlu maka dibuat ruang lingkup yang meliputi :

1. Analisis menggunakan metode perhitungan efisiensi boiler dilakukan secara langsung.
2. Material ketel uap boiler menggunakan *stainless steel*.
3. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah daun nilam.
4. Menggunakan air di bagian kondensor sebagai pendingin.

### 1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk menghitung efisiensi ketel uap pada alat penyulingan daun nilam kapasitas 5 kg.
2. Untuk menganalisis nilai efisiensi ketel pada alat penyulingan daun nilam kapasitas 5 kg.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan solusi untuk mendapatkan efisiensi penggunaan ketel uap pada alat penyulingan daun nilam.
2. Mengetahui penyebab penurunan kinerja boiler yang disebabkan oleh

kerugian-kerugian yang terjadi.

3. Memberikan informasi kepada masyarakat tentang bagaimana proses pembuatan ketel uap yang efisien guna meningkatkan mutu dan kualitas alat penyulingan daun nilam.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tanaman Nilam**

Tanaman nilam (*Pogostemon cablin Benth*) merupakan salah satu tanaman penghasil minyak atsiri yang dikenal sebagai minyak nilam (*Patchouli Oil*). Minyak nilam banyak dipergunakan dalam industri kosmetik, parfum, sabun, dan industri lainnya. Manfaat lainnya, minyak nilam bersifat fiksatif (yakni bisa mengikat minyak atsiri lainnya) yang sampai sekarang belum ada produk substitusinya (pengganti). Produk yang dihasilkan dari usaha tani nilam adalah terna (daun dan ranting).

Indonesia memiliki banyak kekayaan alam beranekaragam macamnya dan memiliki komoditas ekspor yang tinggi, salah satu kekayaan alam di Indonesia yang memiliki potensi untuk dikembangkan adalah minyak atsiri. Minyak atsiri dikenal juga dengan nama minyak eteris atau minyak terbang (*essential oil, volatil oil*) yang dihasilkan oleh tanaman. Diperoleh dari akar, batang, daun, bunga tanaman. Minyak atsiri mempunyai sifat-sifat mudah menguap pada suhu kamar tanpa mengalami dekomposisi, mempunyai rasa getir (*pungent taste*), berbau wangi sesuai dengan bau tanamannya, umumnya larut dalam pelarut organik dan tidak larut dalam air. Minyak atsiri dalam industri digunakan untuk pembuatan kosmetik, parfum, antiseptik, obat-obatan, (*flavoring agent*) dalam bahan pangan atau minuman dan sebagai pencampur rokok kretek serta sebagai aromaterapi (Suhirman, S. 2009).

Di Indonesia hingga kini terdapat tiga jenis nilam yang sudah dikembangkan yaitu *Pogostemon cablin Benth*, *Pogostemon heyneanus Benth*, dan *Pogostemon hortensis Benth*. *Pogostemon cablin Benth* dikenal sebagai nilam Aceh karena banyak diusahakan di daerah itu. Nilam jenis ini tidak berbunga, daun berbulu halus dengan kadar minyak 2,5-5,0%. *Pogostemon heyneanus Benth* dikenal dengan nama nilam Jawa, tanaman berbunga, daun tipis dan kadar minyak rendah, berkisar antara 0,5-1,5%. *Pogostemon hortensis Benth* mirip nilam Jawa tetapi juga tidak berbunga, dapat ditemukan di daerah Banten dan sering disebut sebagai nilam sabun (Krismawati, A. 2005).

Tanaman nilam yang banyak umum dibudidayakan di Indonesia yaitu nilam Aceh (*Pogostemon cablin Benth.*) dan nilam Jawa (*Pogostemon heyneanus Benth.*). Diantara kedua spesies tersebut, nilam Aceh lebih banyak ditanam oleh petani, karena kadar dan kualitas minyaknya lebih tinggi. Seluruh bagian tanaman ini mengandung minyak atsiri, namun kandungan minyak terbesar pada daunnya (Krismawati, A. 2005).

Produsen minyak atsiri di Indonesia masih banyak menemui kendala terkait rendemen dan mutu produk yang masih rendah. Hal ini disebabkan sebagian besar unit pengolahan minyak nilam masih menggunakan teknologi sederhana dengan kapasitas produksi yang terbatas. Teknologi produksi yang sederhana tersebut umumnya kurang efisien karena waktu penyulingan yang lama (7 – 10 jam) dengan kapasitas produksi minyak berkisar 1 – 2% dari bahan baku yang diolah serta mutunya pun masih rendah (Huda, I. M. 2014).

## 2.2. Minyak Nilam

Minyak nilam tergolong dalam minyak atsiri atau minyak eteris, yaitu minyak yang mudah menguap dengan komposisi dan titik didih yang berbeda-beda (Guenther, E. 1987). Komponen utama dalam minyak nilam adalah patchouli alcohol (*patchoulol*).

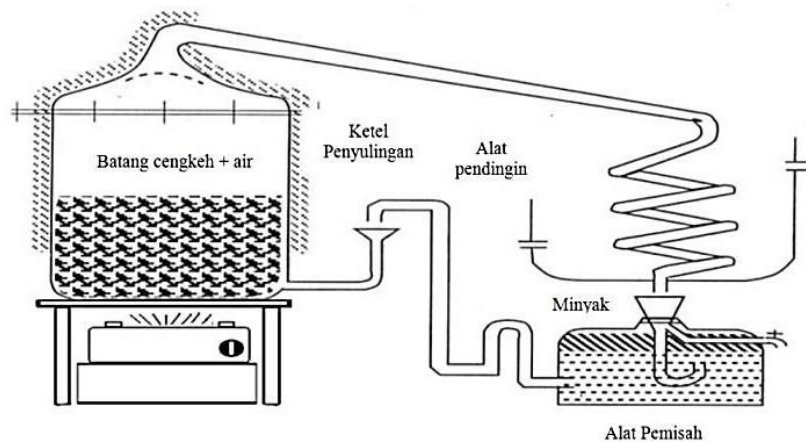
Minyak diperoleh dari penyulingan uap terhadap daun keringnya. Pada umumnya, minyak nilam memiliki kadar *patchouli alcohol* tidak kurang dari 30% (Isfaroiny, R. 2005). Minyak nilam harus berwarna kuning jernih dan memiliki wangi khas dan sulit dihilangkan (Wandiatmoko, T. 2009). Minyak nilam tidak menguap pada suhu kamar, hal ini karena komponen-komponen dalam minyak nilam memiliki titik didih yang tinggi seperti *patchouli alcohol*, *patchoulen* dan *non-patchoulenol* yang berfungsi sebagai zat pengikat yang tidak dapat digantikan oleh zat sintetis. Dan umumnya minyak nilam larut dalam pelarut organik dan tidak larut dalam air (Ketaren, S. 1986).

## 2.3. Metode Ekstaksi Minyak Nilam

### 2.3.1. Metode *Hydrodistillation*

Metode *hydrodistillation* mempunyai keuntungan karena dapat mengekstrak

minyak dari bahan yang berbentuk bubuk (akar, kulit, kayu dan sebagainya) dan beberapa bahan yang mudah menggumpal jika disuling dengan uap seperti jenis bungabunga (bunga mawar dan *orange blossom*). Pengolahan minyak atsiri dengan metode *hydrodistillation* dikenal sebagai metode konvensional yang didasarkan pada prinsip bahwa campuran (uap minyak dan uap air) mempunyai titik didih sedikit lebih rendah dari titik didih uap air murni, sehingga campuran uap mendidih dibawah titik didihnya (Guenther, E. 1987). Skema alat metode ini seperti yang terlihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 skema peralatan *hydrodistillation* (Guenther, E. 1987)

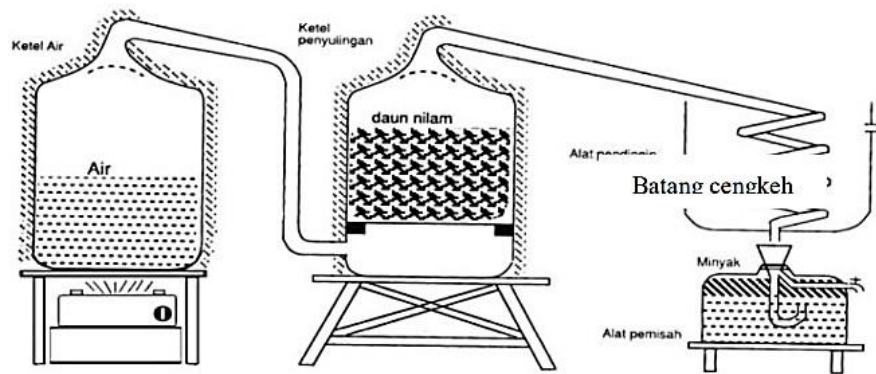
### 2.3.2. Metode *Steam Distillation*

*Steam Distillation* penyulingan minyak atsiri dengan cara ini memang sedikit lebih maju dan produksi minyaknya pun relatif lebih baik daripada metode *hydrodistillation*. Pada proses penyulingan ini, bahan yang akan 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, salah satunya yaitu dengan uap jenuh yang basah dan bertekanan rendah. Ciri khas dari proses ini adalah sebagai berikut (Guenther, E. 1987) :

1. Uap selalu dalam keadaan basah, jenuh dan tidak terlalu panas.
2. Bahan yang disuling hanya berhubungan dengan uap dan tidak dengan air panas.

Metode ini pernah dipakai dalam mengekstrak minyak nilam oleh (Yahya, A., & Yunus, R. M. 2013) dengan hasil terbaik kadar *patchouli alcohol* 47% yang didapat pada variabel waktu 10 jam dan sampel yang dihaluskan. Skema alat

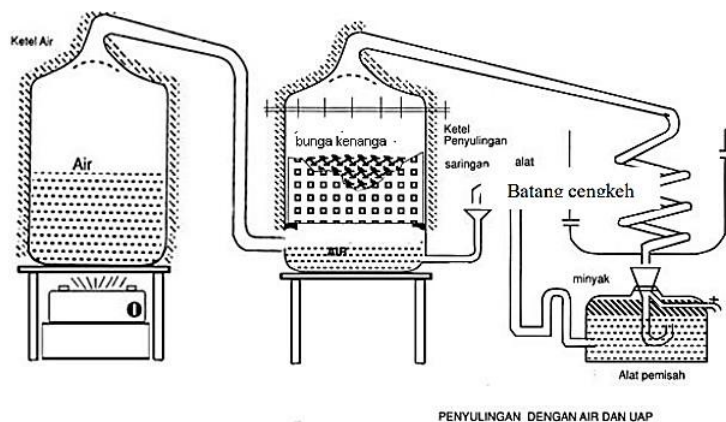
metode ini seperti yang terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 skema peralatan *steam distillation* (Guenther, E. 1987)

### 2.3.3. Metode *Steam and Hydrodistillation*

Untuk menghindari kekurangan air dalam proses distilasi, dilakukan berbagai modifikasi pada unit distilasi. Penyulingan minyak atsiri dengan cara ini memang sedikit lebih maju dan produksi minyaknya pun relatif lebih baik. Skema alat metode ini seperti yang terlihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 skema peralatan *steam and hydrodistillation* (Guenther, E. 1987)

### 2.4. Parameter Minyak Atsiri

Beberapa parameter yang biasanya dijadikan standar untuk mengenali kualitas minyak atsiri meliputi :

#### 1. 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 (Sastrohamidjojo, H. 2021).

## 2. Kelarutan Dalam Alkohol

Telah diketahui bahwa alkohol merupakan gugus OH. Karena alkohol dapat larut dengan minyak atsiri maka pada komposisi minyak atsiri yang dihasilkan tersebut terdapat komponen-komponen terpen teroksigenasi. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Guenther, E. 1987) bahwa kelarutan minyak dalam alkohol ditentukan oleh jenis komponen kimia yang terkandung dalam minyak. Pada umumnya minyak atsiri yang mengandung persenyawaan terpen teroksigenasi lebih mudah larut daripada yang mengandung terpen. Makin tinggi kandungan terpen makin rendah daya larutnya atau makin sukar larut, karena senyawa terpen tak teroksigenasi merupakan senyawa non-polar yang tidak mempunyai gugus fungsional. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil kelarutan minyak atsiri pada alkohol (biasanya alkohol 90%) maka kualitas minyak atsirinya semakin baik (Sastrohamidjojo, H. 2021).

## 3. Kadar Asam

Bilangan asam menunjukkan kadar asam / lemak bebas dalam minyak atsiri. Adanya asam disebabkan oleh lamanya penyimpanan minyak dan adanya kontak antara minyak atsiri yang dihasilkan dengan sinar dan udara sekitar ketika berada pada botol sampel saat penyimpanan. Bilangan asam dinyatakan sebagai jumlah milligram KOH 0,1N yang digunakan untuk menetralkan asam lemak bebas yang terdapat dalam 1 gram minyak atau lemak (Sastrohamidjojo, H. 2021).

## 2.5. Perpindahan Kalor

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material (Holman, J. P. 2008). Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperature pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme

perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa volume, temperatur dan tekanan berubah secara bersamaan.

#### 2.5.1. Perpindahan kalor secara konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. 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*). Logikanya, haluan suhu fluida tinggi, tentunya dia akan menjadi lebih ringan dan mulai bergerak keatas.

Hukum *newton* tentang pendinginan menyebutkan bahwa laju pendinginan berbanding lurus dengan selisih suhu benda dengan suhu ruangan. Penurunan suhu pada pendinginan mengikuti kurva peluruhan, dengan mengetahui konstanta waktu peluruhan maka dapat ditentukan koefisien konveksi suatu fluida. Laju perpindahan panas konveksi dirumuskan melalui hukum pendinginan Newton (*Newton's Law of Cooling*) yang dinyatakan dengan :

$$Q_{konv} = h.A.\Delta T \quad (2.1)$$

#### 2.5.2. Laju Aliran Massa Uap

Laju aliran massa adalah massa suatu fluida yang mengalir per satuan waktu. *Mass flow rate* juga disebut *fluks* massa atau arus massa dimana dalam satuan internasional (SI) satuannya adalah kilogram per detik (kg/s) dan simbol yang digunakan adalah (m). Menghitung laju aliran massa bertujuan untuk mengetahui massa suatu aliran yang mengalir tiap detiknya yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran, jenis aliran, dan besar kecilnya penampang yang di aliri oleh fluida tersebut. Untuk menghitung laju aliran massa dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

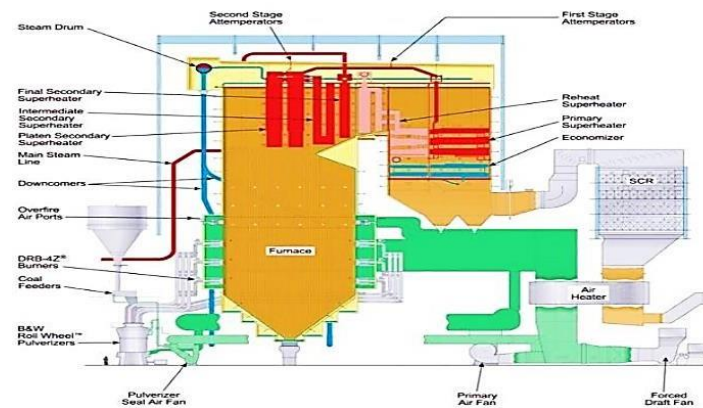
$$m = \rho \cdot v \cdot A \quad (2.2)$$

Sedangkan untuk aliran volume adalah banyaknya volume yang mengalir pada satuan waktu dan dirumuskan sebagai berikut :

$$Q = V \cdot A \quad (2.3)$$

## 2.6. Boiler

*Boiler* adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap, yang terdiri atas dua bagian penting yaitu dapur pemanasan untuk menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan boiler proper untuk mengubah air menjadi uap (Pravitasaria, Y., dkk, 2017). Adapun *boiler* yang konstruksinya terdiri dari pipa-pipa berisi air disebut *water tube boiler* (boiler pipa air) seperti yang terlihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Boiler*

Boiler mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Boiler dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor

dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. boiler memiliki 2 komponen utama (Muzaki, I., & Mursadin, A., 2019), yaitu :

- a. *Furnace* (ruang bakar) sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
- b. *Steam Drum* yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial *steam* (energi panas).

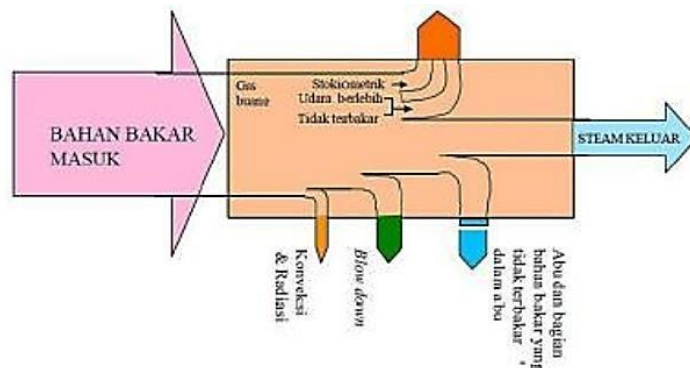
*Boiler* pada dasarnya terdiri dari drum yang tertutup ujung dan pangkalnya dan dalam perkembangannya dilengkapi dengan pipa api maupun pipa air. Banyak orang yang mengklarifikasikan ketel steam tergantung kepada sudut pandang masing-masing. Syarat *boiler* yang ideal, yaitu :

1. Dapat menghasilkan jumlah uap yang maksimum dengan jumlah bahan bakar yang minimum.
2. Kapasitas uap dan tekanan kerja harus konstan.
3. Perangkat pembakaran mampu membakar unsur-unsur bahan bakar secara sempurna sehingga didapat hasil yang optimal.
4. Sirkulasi air harus baik agar diperoleh suhu yang merata pada seluruh bagian ketel, maka penyerapan kalor oleh air lebih efektif.
5. Konstruksi ketel sederhana, sehingga biaya pembuatan, operasi dan perawatan lebih ekonomis dan hemat tempat.
6. Alat-alat perlengkapan ketel harus berfungsi dengan baik sehingga ketel dapat beroperasi dengan baik dan aman.

#### 2.6.1. Prinsip Kerja *Boiler*

Efisiensi dan rasio penguapan merupakan parameter kinerja boiler, seperti, berkurang terhadap waktu disebabkan buruknya pembakaran, kotornya permukaan penukar panas dan buruknya operasi. Untuk membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari menggunakan neraca panas (UNEP, 2006). Diagram alir energi dapat menggambarkan proses pembakaran di dalam boiler. Diagram ini menggambarkan secara grafis tentang bagaimana energi masuk dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi dengan berbagai kegunaan dan menjadi aliran

kehilangan panas dan energi. Jumlah energi yang dikandung dalam aliran masing- masing ditunjukkan dengan panah tebal (UNEP, 2006).



Gambar 2.5 Diagram Sankey Boiler (UNEP, 2006)

Neraca panas dapat membantu dalam mengidentifikasi kehilangan panas yang dapat atau tidak dapat dihindari. Uji efisiensi *boiler* dengan metode tak langsung (*heatlosses*) dapat membantu menemukan penyimpangan inefisiensi *boiler* (Hendri., dkk, 2017).

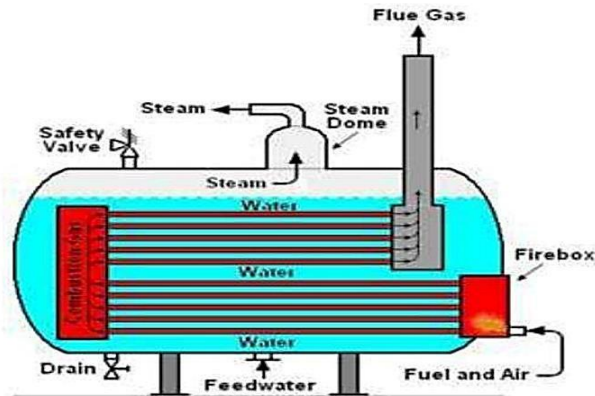
#### 2.6.2. Klasifikasi *Boiler*

Klasifikasi boiler dapat dibedakan menurut tujuan dan konstruksinya, daerah yang mengalami pemanasan, sumber panasnya, sirkulasi airnya, dinding penyangganya (Djokostyardjo, M. J. 1999).

Berdasarkan pada tujuan dan konstruksinya boiler dibedakan menjadi enam yaitu :

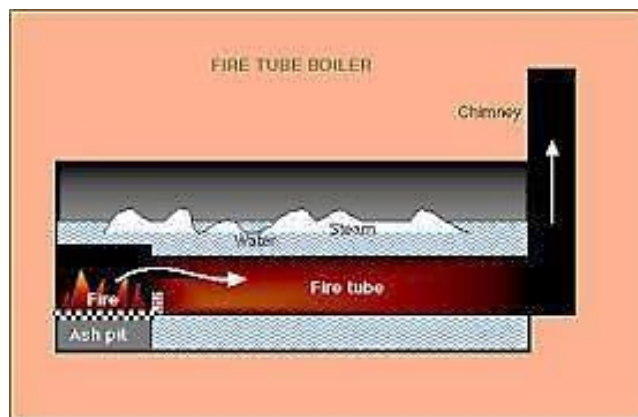
##### a. *Fire Tube Boiler* (Ketel Pipa Api)

Boiler pipa api merupakan pengembangan dari ketel lorong api dengan menambah pemasangan pipa-pipa api, dimana gas panas hasil pembakaran dari ruang bakar mengalir didalamnya, sehingga akan memanasi dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa-pipa air tersebut (Muzaki, I., & Mursadin, A. 2019). Seperti yang terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 *Fire Tube Boiler* (Sugiharto, 2016)

*Fire tube boiler* biasanya digunakan untuk kapasitas *steam* yang relatif kecil dengan tekanan *steam* rendah sampai sedang. *Fire tube boiler* kompetitif untuk kecepatan *steam* sampai 12000 Kg / jam dengan tekanan sampai 18Kg / cm<sup>2</sup>. *Fire tube boiler* dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar *fire tube boiler* dikonstruksi sebagai paket *boiler* (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar. Keuntungan menggunakan boiler ini adalah fleksibel terhadap perubahan beban secara cepat (Dalimunthe, D. 2006). Cara kerja *boiler* jenis ini seperti yang terlihat pada gambar 2.7.

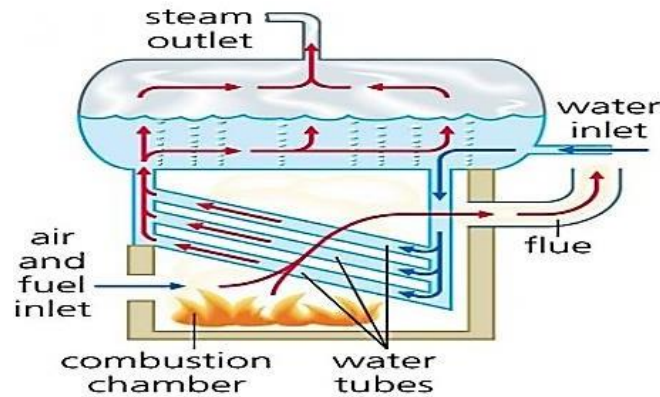


Gambar 2.7 Cara Kerja *Fire Tube Boiler* (Nurmalita. 2012)

a. *Water Tube Boiler* (Ketel Pipa Air)

Boiler pipa air (*Water Tube Boiler*) adalah *boiler* yang biasanya menghasilkan uap dengan tekanan dan kapasitas yang besar (Sugiharto, A. 2016). *Boiler* jenis ini adalah *boiler* yang peredaran airnya terjadi didalam pipa-pipa yang dikelilingi oleh nyala api dan gas panas dari luar susunan pipa. Kontruksi pipa-

pipa yang dipasang didalam *boiler* dapat berbentuk lurus (*straight tube*) dan juga dapat berbentuk pengkolan / pipa bengkok (*bend tube*) tergantung dari jenis boilernya. Pipa-pipa yang lurus dipasang secara paralel didalam boiler dihubungkan dengan *header*, kemudian *header* tersebut dihubungkan dengan bejana uap yang dipasang secara horizontal diatas susunan pipa seperti yang terlihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8 *Water Tube Boiler* (Muzaki, I., & Mursadin, A. 2019)

Pada *water tube boiler*, air umpan boiler mengalir melalui pipa-pipa masuk ke dalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakar membentuk *steam* pada daerah uap dalam drum. Boiler ini dipilih jika kebutuhan *steam* dan tekanan *steam* sangat tinggi seperti pada kasus boiler untuk pembangkit tenaga uap. Maka boiler dianggap cocok untuk produksi uap dalam jumlah besar dengan skala industri dengan uap yang dihasilkan yaitu *superheated* (Dalimunthe, D. 2006). *Water tube boiler* yang sangat modern dirancang dengan kapasitas steam antara 4500 – 12000 Kg / jam , dengan tekanan sangat tinggi. Banyak *water tube boiler* yang dikonstruksi secara paket jika digunakan bahan bakar minyak dan gas. Untuk *water tube boiler* yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket (UNEP, 2006).

### 2.6.3. Bahan Bakar *Boiler*

Bahan bakar adalah bahan yang dapat dibakar untuk menghasilkan panas (kalor). Proses pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar, udara dan panas. Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar ketel (*boiler*)

bertujuan untuk merubah fasa air menjadi fasa uap (Hasibuan, H. C., & Napitupulu, F. H. 2013).

Bahan bakar yang digunakan boiler digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu: Bentuk padat, bentuk cair, dan bentuk gas, bentuk padat ini ada yang bisa langsung dipakai seperti batu bara. (Syahputra, M. R., & Sulaksmo, M. 2014). Pada prinsipnya ketiganya memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing, namun saat ini industri dengan skala besar lebih memilih bahan bakar gas sebagai bahan bakar utama, dikarenakan memiliki efektifitas yang tinggi dan tidak menimbulkan kotor pada permukaan pembakaran. Berikut ini adalah jenis bahan bakar yang digunakan oleh boiler :

a. Bahan Bakar Padat (Batubara)

Batubara merupakan bahan bakar jenis batuan sedimen berwarna coklat kehitaman yang dapat terbakar terdiri dari konsolidasi dan senyawa daripada tumbuhan yang tumbuh di hutan. Komposisi kimia batubara bervariasi dari satu daerah ke daerah yang lain, tergantung pada vegetasi dari yang dibentuk dan kondisi lingkungan (seperti suhu dan tekanan) yang terkena formasi lingkungan. Batubara memiliki kandungan kimia utama yaitu karbon, hidrogen, nitrogen, dan oksigen, batubara juga mengandung air dan kotoran yang abu, merkuri, dan belerang (Oland, C. B. 2002).

b. Bahan Bakar Cair (Minyak)

Minyak bumi dan gas alam saling bersaing dan saling melengkapi batubara, sehingga memungkinkan meluasnya industrialisasi sebagaimana yang dapat dilihat saat ini karena batubara merupakan benda yang berat, besar dan kotor, maka batubara terutama mendapatkan pasaran sebagai bahan bakar stasioner, atau untuk mesin-mesin kecepatan rendah.

Bahan bakar cair tergolong mudah dalam penggunaannya, ditambah dengan efisiensi panas yang tinggi. Selain itu, bahan bakar cair lebih mudah di distribusikan dan mudah dalam penanganan, hal ini membuat bahan bakar cair yaitu minyak bumi sebagai salah satu bahan bakar yang paling sering digunakan khususnya untuk kendaraan bermotor. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik. Bahan

bakar cair memiliki nilai kalor pembakaran yang cenderung konstan sehingga memudahkan untuk mengontrol suatu alat pembakaran, dan dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi.

c. Bahan Bakar gas

Gas alam merupakan bahan bakar hidrokarbon yang tidak berwarna yang utamanya terdiri dari metana ( $CH_4$ ) dan etana ( $C_2H_6$ ), pada prinsipnya dua komponen yang mudah terbakar. Keduanya biasanya ditemukan di bawah permukaan bumi dalam batu berpori yang formasinya tidak keropos. Ketika mengebor sebuah sumur minyak yang dibor melalui pembentukan gas alam, yang berada di bawah tekanan, mengalir ke permukaan di mana gas tersebut didistribusikan menggunakan jaringan pipa ke fasilitas pengolahan. Hal ini membuat kebanyakan boiler menggunakan gas alam dikarenakan dapat disalurkan langsung ke boiler dan memiliki efisiensi yang tinggi serta tidak menghasilkan abu pembakaran. Selain kemudahan distribusi, penggunaan boiler gas alam membutuhkan ruang boiler relatif kecil, sehingga tidak terlalu banyak mengeluarkan material untuk membuatnya. Dengan nilai kalor sekitar  $1000 \text{ btu} / \text{ft}^3$  dalam kondisi standar dari  $60^\circ F$  pada tekanan atmosfer dan persyaratan berlebih pada udara rendah yang berkontribusi untuk efisiensi tinggi, gas alam mungkin merupakan salah satu bahan bakar yang ideal (Oland, C. B. 2002).

Panas (kalor) yang timbul karena pembakaran bahan bakar tersebut disebut hasil pembakaran atau nilai bakar (*heating value*). Nilai kalor (*heating value*) adalah jumlah energi panas yang diperoleh melalui proses pembakaran 1 kg bahan bakar (Hasibuan, H. C., & Napitupulu, F. H. 2013).

Pembakaran bahan bakar baik bahan bakar padat, cair dan gas memiliki nilai kalor yaitu dengan jumlah panas yang diperoleh bila suatu jumlah bahan bakar terbakar dengan sempurna. Jumlah kilo *Joule* (kJ) yang diperoleh pada pembakaran sempurna suatu bahan bakar tiap kg atau tiap  $m^3$  (Bruijn & L. Mulwijk. 1982).

## 2.7. Efisiensi Boiler

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler adalah prestasi kerja atau tingkat untuk kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar.

Air merupakan fluida kerja boiler yang memiliki kombinasi antara sistem-sistem peralatan yang dipakai untuk terjadinya perpindahan panas radiasi dan konveksi energi termal gas-gas hasil pembakaran (Asmudi, 2010).

Berikut ini adalah faktor kunci untuk memahami perhitungan efisiensi boiler :

### a. Temperatur *stack*

Temperatur *stack* adalah temperatur gas pembakaran yang meninggalkan boiler (Noviyanto, I. D. 2014). *Stack* digunakan untuk membuang gas buang pembakaran yang sudah tidak dapat terpakai kembali. Temperatur *stack* adalah salah satu faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi boiler secara tinggi.

### b. Kandungan panas dari bahan bakar

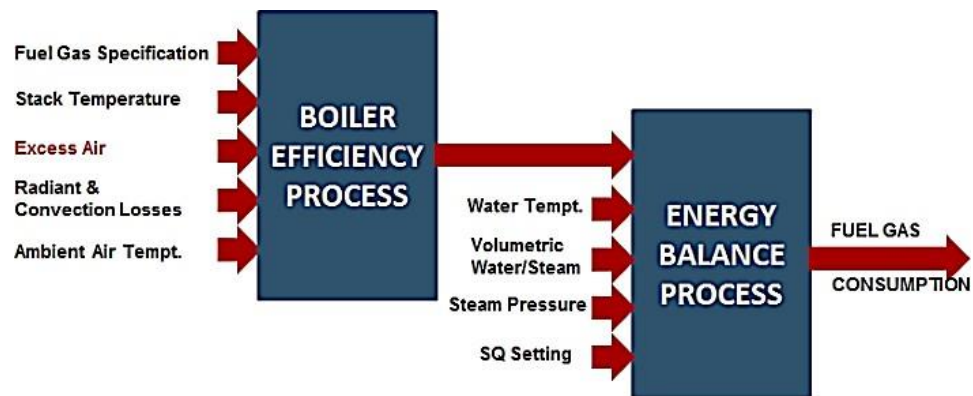
Kandungan panas bahan bakar adalah karbon untuk rasio hidrogen, apakah panas laten (panas yang dibutuhkan untuk mengubah air menjadi uap) ataupun bukan (Noviyanto, I. D. 2014). Bahan bakar memiliki nilai kalor yang dapat mempengaruhi efisiensi. Kandungan panas yang ada di dalamnya apabila tidak di perhatikan akan terbuang dan otomatis peluang adanya kehilangan kalor semakin besar.

### c. *Excess air*

Kandungan udara berlebih pada boiler diyakini menimbulkan efek yang tidak baik bagi efisiensi boiler. Udara berlebih diatur dengan cara mengendalikan kandungan  $O_2$  dengan melalui proses *trimming*. Kerugian yang diakibatkan karena temperature ambient atau lingkungan Temperatur lingkungan sangat berperan dalam proses operasi boiler karena boiler bergantung pada tinggi rendahnya temperature, sedangkan faktor tersebut dipengaruhi oleh cuaca disekitar ruangan boiler.

### d. Kerugian akibat radiasi dan konveksi

Kehilangan kalor yang disebabkan karena radiasi dan konveksi dapat mengurangi kehilangan kalor dalam jumlah banyak. Dalam hal ini, permukaan-permukaan material pendukung boiler harus dalam keadaan layak operasi, supaya tidak mengganggu proses selama boiler beroperasi yang akan menyebabkan kehilangan kalor semakin banyak. Sebuah boiler dengan shell terisolasi akan memiliki suhu permukaan yang lebih rendah, dan memiliki kerugian yang lebih banyak karena lebih rendah permukaannya (Noviyanto, I. D. 2014). Apabila jumlah kerugian panas yang disebabkan karena radiasi dan konveksi tidak dapat dihindari, dampaknya akan meluas. Semua komponen akan terjadi kerusakan dan tidak dapat menghantarkan panas secara sempurna. Dengan demikian akan sangat mengurangi efisiensi boiler.



Gambar 2.9 Kerangka Konseptual Bahan Bakar Model Konsumsi Gas  
(Noviyanto, I. D. 2014)

Untuk menentukan efisiensi boiler terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler yaitu metode langsung (*Input - Output*) dan metode tidak langsung (*Heat - Losses*).

a. Metode Langsung (*Input – Output*) *Direct Method*

Metode langsung adalah energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler (Nurhasanah dan Firdaus, 2018). Metode ini dikenal juga sebagai metode inputoutput karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/output (steam) dan panas masuk/input (bahan bakar) untuk evaluasi

## 2.8. Perpindahan Panas Pada Boiler

Panas yang dihasilkan karena pembakaran bahan bakar dan udara yang berupa api dan gas dipindahkan ke air, uap ataupun udara melalui bidang yang dipanaskan atau heating surface pada suatu instalasi boiler dengan cara yaitu :

### 2.8.1. Pancaran (radiasi)

Definisi perpindahan panas secara radiasi adalah perpindahan panas dari benda satu ke benda lainnya yang terjadi melalui gelombang-gelombang elektromagnetik dan tidak tergantung terhadap media perantara benda yang terkena pancaran panas secara langsung (Asmudi, 2010). Sejatinya api memiliki molekul yang didapat dari proses pembakaran bahan bakar dan udara yang berdampak pada terjadinya gangguan keseimbangan elektromagnetis terhadap suatu media yang sering dikatakan dengan materi bayangan tanpa bobot yang mengisi celah ruangan. Panas yang ditimbulkan adalah hasil dari pembakaran yang diteruskan oleh perantara *aether* kemudian ke dinding pipa pada boiler. Adapun rumus yang digunakan untuk menghilangkan banyaknya panas yang diterima secara pancaran berdasarkan rumus Stephan-Boltzman adalah :

$$Q = Cz \times F \times (T_{api}^{100})^4 - (T_{benda}^{100})^4 \quad (2.14)$$

### 2.8.2. Aliran (Konveksi)

Definisi perpindahan panas secara konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida (cair maupun gas) (Asmudi, 2010). Pada prosesnya molekul fluida tersebut dalam memiliki gerakan yang berputar-putar kesana kemari membawa sejumlah panas. Pada saat molekul fluida tersebut menyentuh dinding atau pipa ketel maka panasnya dibagikan sebagian kepada dinding atau pipa ketel, sedangkan sebagian lagi dibawa molekul pergi.

Jika gerakan tersebut disebabkan karena perbedaan temperatur di dalam fluida itu sendiri, maka perpindahan panasnya disebut konveksi bebas (*free convection*) atau konveksi alami (*natural convection*). Jika gerakan tersebut sebagai akibat dari kekuatan mekanis karena dipompa atau dihembus dengan *fan*, maka perpindahan panasnya disebut konveksi paksa (*forced convection*).

$$Q = \alpha \times F \times (T - T_{\text{dinding}}) \quad (2.15)$$

### 2.8.3. Perambatan

Definisi perpindahan panas secara konduksi adalah perpindahan panas dari bagian benda padat ke bagian benda padat yang disebabkan karena adanya kontak atau bersinggungan tanpa diikuti perpindahan molekul-molekul dari benda padat tersebut (Asmudi, 2010). Dinding-dinding sebelah dalam yang memiliki molekul akan merambatkan panas yang berbatasan dengan api menuju ke dinding sebelah luar yang memiliki molekul berbatasan dengan air maupun media lainnya. Proses perpindahan panas secara konveksi dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_p = \frac{\alpha}{S} \times F \times (T_{d1} - T_{d2}) \quad (2.16)$$

### 2.9. Prinsip Pembakaran

Reaksi kimia antara oksigen ( $O_2$ ) yang terkandung dari udara dengan bahan bakar disebut proses pembakaran. Proses pembakaran menghasilkan  $CO_2$ ,  $H_2O$ , dan disertai energi panas. Sedangkan karbon monoksida ( $CO$ ), abu (*ash*),  $NO_x$  atau  $SO_x$ . Hasil pembakaran yang tergantung pada jenis bahan bakarnya (Dalimunthe, D. 2006). Reaksi eksotermik yang berlangsung sangat cepat, yang membebaskan energi substansial berupa panas dan nyala api (*flame*) merupakan proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar. (Gunawan, T., & Cordova, H. 2010).

Proses pembakaran yang sempurna dapat mengubah seluruh energi yang memungkinkan pada bahan bakar. Namun, pada proses pembakaran sempurna dengan efisiensi 100% sulit untuk tercapai, kerugian pada instrument pendukung, yaitu jenis bahan bakar, temperatur gas buang dan konsentrasi  $O_2$  dan  $CO_2$  (Gunawan, T., & Cordova, H. 2010). Kandungan  $O_2$  atau  $CO_2$  dalam gas buang (persen volume basis kering) melalui pengukuran dengan alat *oxygen analyzer* digunakan untuk mengetahui jumlah udara aktual, sedangkan stokiometrik digunakan untuk menghitung udara teoritis (Dalimunthe, D. 2006).

*Excess* air dapat mengurangi efisiensi boiler dengan menyerap panas yang akan dipindahkan ke air sebagai medianya di dalam boiler dan kemudian membawanya ke stack. *Excees* air dapat diukur dengan analisa gas buang (Ghritlahre, H., & Singh, T. P. 2014). Bahan bakar yang digunakan adalah harus yang memiliki kandungan sulfur untuk mengurangi resiko korosi. Korosi yang disebabkan karena sulfur dalam bahan bakar juga bisa diminimalkan dengan membuat baja paduan khusus untuk pembangunan boiler (Ghritlahre, H., & Singh, T. P. 2014). Temperatur Gas buang harus dikurangi untuk meningkatkan efisiensi boiler untuk menghemat bahan bakar. Dengan demikian, permasalahan yang membelenggu boiler dapat teratasi dan proses produksi akan tetap berjalan sebagaimana mestinya.

## BAB 3 METODOLOGI

### 3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

#### 3.1.1. Tempat

Tempat pelaksanaan dan pembuatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Proses Produksi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Jalan Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan.

#### 3.1.2. Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu di mulai tanggal di sah kannya 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 Rencana Pelaksanaan Penelitian

| No | Kegiatan           | Waktu (Bulan) |   |   |   |   |   |
|----|--------------------|---------------|---|---|---|---|---|
|    |                    | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1  | Pengajuan Judul    | ■             |   |   |   |   |   |
| 2  | Studi Literatur    | ■             | ■ | ■ | ■ |   |   |
| 3  | Penulisan Proposal |               | ■ | ■ | ■ | ■ |   |
| 4  | Seminar Proposal   |               |   | ■ | ■ | ■ |   |
| 5  | Seminar Hasil      |               |   |   | ■ | ■ | ■ |
| 6  | Sidang Sarjana     |               |   |   |   | ■ | ■ |

### 3.2. Bahan dan Alat

#### 3.2.1. Bahan

##### 1. Daun Nilam

Daun nilam pada penelitian ini digunakan sebagai bahan pengujian ketel / boiler dengan pengujian yang dilakukan dengan merebus daun nilam pada ketel / boiler seperti yang terlihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Daun Nilam

## 2. Air

Air pada penelitian ini digunakan sebagai media yang akan mengalirkan uap panas menuju pipa kondensor seperti yang terlihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Air

## 3. Gas

Gas pada penelitian ini digunakan sebagai media bahan bakar selama proses pengujian dilakukan seperti yang terlihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Gas

### 3.2.2. Alat

#### 4. Ketel Uap / Boiler

Ketel uap / boiler pada penelitian ini digunakan sebagai alat perebusan daun nilam yang dilakukan selama 8 jam pengujian seperti yang terlihat pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Ketel Uap / Boiler

#### 5. Kondensor

Kondensor pada penelitian ini digunakan sebagai alat tempat kondensasi gas menjadi minyak selama pengujian, kondensor yang digunakan berbentuk spiral dan zig-zag seperti yang terlihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Kondensor

#### 6. Pompa Air

Pompa air pada penelitian ini digunakan sebagai alat untuk mengalirkan air pendingin dari bak penampung menuju ke kondensor seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pompa Air

#### 7. Stopwatch

*Stopwatch* digunakan sebagai alat ukur untuk mengukur lama waktu pengujian yang dilakukan seperti yang terlihat pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 *Stopwatch*

#### 8. Timbangan Digital

Timbangan digunakan sebagai alat ukur yang akan mengukur berat bahan daun nilam dan minyak hasil pengujian boiler seperti yang terlihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Timbangan

#### 9. Gelas Ukur

Gelas ukur pada penelitian ini digunakan sebagai alat pengukur dan penakar banyaknya volume cairan yang dihasilkan selama pengujian seperti yang terlihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Gelas Ukur

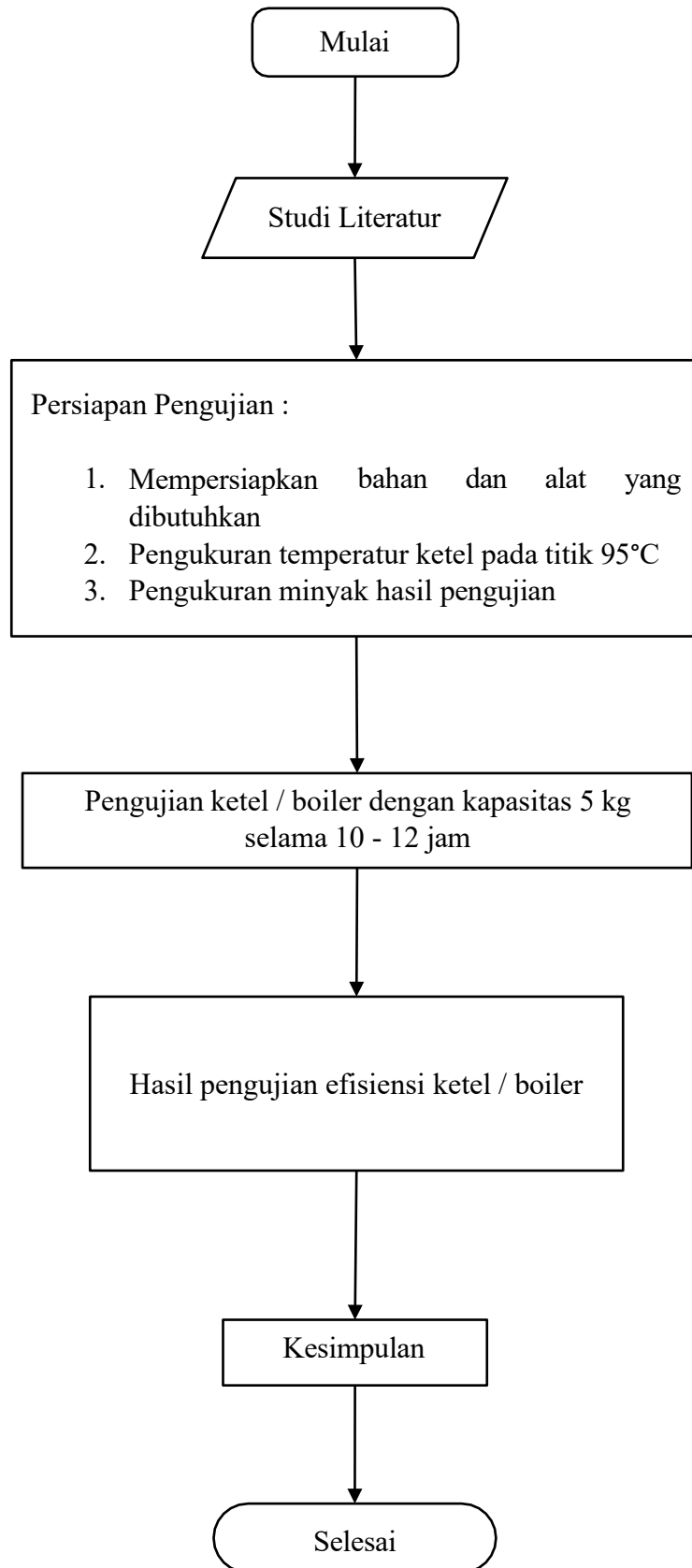
#### 10. Viskometer

Viskometer pada penelitian ini digunakan sebagai alat untuk mengukur kekentalan dari minyak daun nilam yang dihasilkan selama pengujian seperti yang terlihat pada gambar 3.10.



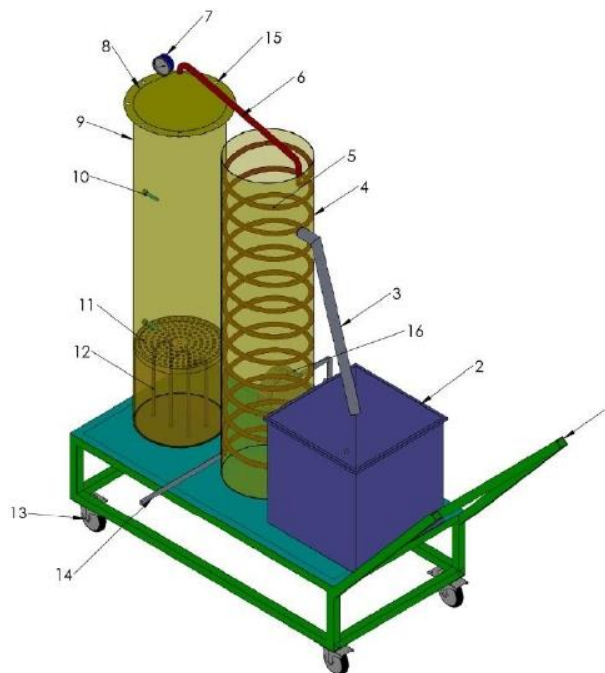
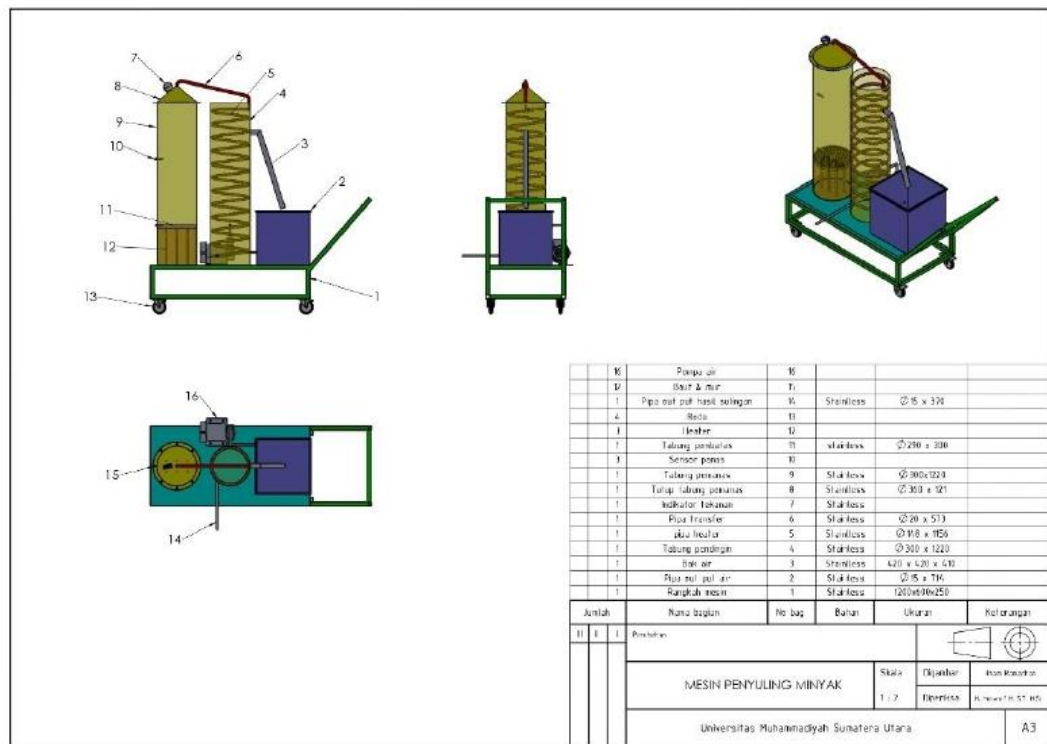
Gambar 3.10 Viskometer

### 3.3. Bagan Aliran Penelitian



Gambar 3.11 Bagan Alir Penelitian

### 3.4. Rancangan Alat Penelitian



Gambar 3.12 Sketsa Alat Penyulingan



Gambar 3. 14 Alat Penyulingan Daun Nilam Kapasitas 5 Kg

### 3.5. Prosedur Penelitian

1. Mencacah daun nilam menjadi potongan kecil dan membersihkan porongan daun nilam dari tanah dan kotoran lainnya seperti yang terlihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 proses mencacah daun nilam

2. Menjemur daun nilam dibawah terik matahari selama 3 – 4 hari dengan tujuan menghilangkan kadar air yang terkandung pada daun nilam sebanyak 50% seperti yang terlihat pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 proses penjemuran daun nilam

3. Menimbang berat daun nilam sebanyak 5 kg sebagai parameter pengujian seperti yang terlihat pada gambar 3.14.



Gambar 3.14 menimbang berat daun nilam

4. Memasukkan air kedalam ketel sebanyak 58 liter dan sebanyak 130 liter didalam kondensor seperti yang terlihat pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 memasukkan air kedalam ketel dan kondensor

5. Memasukkan saringan pemisah sebagai pembatas antara daun nilam dan air agar tidak tercampur seperti yang terlihat pada gambar 3.16.



Gambar 3.16 memasukkan saringan pemisah

6. Memasukkan potongan daun nilam kedalam ketel / boiler dengan berat daun nilam sebanyak 5 kg seperti yang terlihat pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 memasukkan daun nilam

7. Mengukur dan mengamati lama pengujian menggunakan *stopwatch*, pengujian dilakukan selama 10 – 12 jam seperti yang terlihat pada gambar 3.18.



Gambar 3.18 mengukur dan mengamati proses pengujian

8. Meletakkan *thermocouple* di 4 titik kondensor untuk mengamati temperatur kondensor yang berada dalam ketel seperti yang terlihat pada gambar 3.19.



Gambar 3.19 meletakkan thermocouple pada kondensor

9. Menampung minyak yang keluar hasil kondensasi dari ketel, minyak ini didapatkan pada pengujian selama 6 jam seperti yang terlihat pada gambar 3.20.



Gambar 3.20 Menampung minyak yang keluar hasil kondensasi

10. Mengukur berat minyak daun nilam yang dihasilkan pada proses pengujian dengan cara menimbang berat minyak seperti yang terlihat pada gambar 3.21.



Gambar 3.21 Mengukur berat minyak daun nilam

## Roadmap Penelitian Minyak Atsiri

### Daftar 3.1 Nama mahasiswa yang meneliti daun nilam

| NO  | NAMA                           | NPM        | JUDUL SKRIPSI                                                                                                                 |
|-----|--------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.  | Dimas Pribadi                  | 1607230099 | Analisis Perpindahan Panas Kondensor Pada Alat Penyulingan Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kilogram                                 |
| 2.  | Nanang Pat<br>Sumantri Mariono | 1807230056 | Analisis Keseimbangan Massa Dalam Pengolahan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Pada Sistem Distilasi Kapasitas Bahan Baku 5 Kg |
| 3.  | Khoirul Latif<br>Simamora      | 1707230125 | Analisis Perpindahan Panas Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Berkapasitas Ketel 5 Kilogram               |
| 4.  | Ade Ahmad Wijaya<br>Pulungan   | 1807230101 | Analisis Efisiensi Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Kapasitas Ketel 5 kg                                                |
| 5.  | Muhammad Hadin<br>Mukti        | 1907230040 | Perbandingan Kualitas Minyak Atsiri Dari Daun Nilam Dengan Menggunakan Sistem Kontrol Dan Konvensional                        |
| 6.  | Muhammad Yusuf                 | 1907230075 | Analisa Pengaruh Daya Pemanas Pada Temperatur Air Perebusan Daun Nilam Terhadap Kualitas Minyak Atsiri                        |
| 7.  | Muhammad Khairul<br>Iksan      | 1907230113 | Analisa Perbandingan Komposisi Pada Minyak Nilam Dengan Metode Destilasi Uap Menggunakan Sistem Kontrol Dan Konvensional      |
| 8.  | Dani Firmansyah                | 1607230039 | Rancang Bangun Pipa Aliran Uap Untuk Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kg                              |
| 9.  | Renaldo                        | 1707230118 | Rancang Bangun Kondensor Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kg                                |
| 10. | Muhammad Farhan                | 1907230188 | Analisa Kinerja Ows (Oil Water Separator) Untuk Meningkatkan Rendemen Proses Destilasi Minyak Atrisi                          |
| 11. | Graha Pakar Wijaya             | 1607230053 | Rancang Bangun Tabung Pengukus ( Ketel ) Pada Alat Penyulingan Minyak Atsiri Berkapasitas 5 Kg                                |
| 12. | Ahmad Aji<br>Syahbana          | 1607230125 | Analisis Proses Destilasi Pada Alat Penyulingan Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kg Bahan Baku                                       |

|     |                          |            |                                                                                                 |
|-----|--------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 13. | Alfi Syahri<br>Sihombing | 1907230105 | Analisis Efisiensi Dan Rendemen Pada Destilator P2 TN-MA Menggunakan Sistem Kontrol Arduino Uno |
| 14. | Bayu Setiawan            | 1607230115 | Perancangan Ketel Alat Penyuling daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kg Bahan Baku.    |

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Pengujian

Pada bab ini ditampilkan pengolahan data hasil penelitian yang akan dibahas sesuai dengan data yang di peroleh. Data yang akan ditampilkan meliputi data hasil pengujian ketel yang dilakukan selama 6 jam.

Tabel 4.1 Data Pengujian

| Data Pengujian |                                 |                          |
|----------------|---------------------------------|--------------------------|
| No.            | Bahan                           | Massa                    |
| 1              | Daun Nilam (1)                  | 3 kg                     |
| 2              | Daun Nilam (2)                  | 4 kg                     |
| 3              | Daun Nilam (3)                  | 5 kg                     |
| 4              | Volume Ketel                    | 58 liter                 |
| 5              | Massa Daun Nilam 3 kg           | 26 gr(28 ml)             |
| 6              | Massa Daun Nilam 4 kg           | 31 gr(35 ml)             |
| 7              | Massa Daun Nilam 5 kg           | 43 gr(46 ml)             |
| 8              | Air Kondensat Nilam 3 kg        | 14,30 liter = 14300 gram |
| 9              | Air Kondensat Nilam 4 kg        | 15 liter = 15000 gram    |
| 10             | Air Kondensat Nilam 5 kg        | 12,50 liter = 12500 gram |
| 11             | Waktu Proses Penyulingan        | 6 jam                    |
| 12             | Massa Air Akhir Dalam Ketel (1) | 34,30 liter              |
| 13             | Massa Air Akhir Dalam Ketel (2) | 32 liter                 |
| 14             | Massa Air Akhir Dalam Ketel (3) | 35 liter                 |
| 15             | Massa Nilam Akhir 1             | 2,625 gr                 |
| 16             | Massa Nilam Akhir 2             | 3,525 gr                 |
| 17             | Massa Nilam Akhir 3             | 4,208 gr                 |

#### 4.2. Pembahasan

##### 4.2.1. Efisiensi Ketel Secara Langsung

Perhitungan efisiensi pada ketel berdasarkan data teknis dilapangan dituangkan dalam bentuk tabel untuk memudahkan analisa efisiensi ketel dengan menggunakan perhitungan metode langsung, adapun data aktual pada ketel dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Aktual Pengujian Pada Ketel

| No. | Data Aktual Pada Ketel                        |                  |
|-----|-----------------------------------------------|------------------|
| 1   | Temperatur Awal Air                           | 27°C             |
| 2   | Massa Air                                     | 15 Kg            |
| 3   | Temperatur Ketel                              | 80°C             |
| 4   | Titik Suhu 1 (Panas Pada Alas Ketel)          | 409,2°C          |
| 5   | Titik Suhu 2 (Panas Pada Dinding Dalam Ketel) | 100,9°C          |
| 6   | Titik Suhu 3 (Panas Pada Dinding Luar Ketel)  | 60,0°C           |
| 7   | Titik Suhu 4 (Panas Pada Kerucut Ketel)       | 76,4°C           |
| 8   | Temperatur Awal Air                           | 27°C             |
| 9   | Konduktivitas <i>Thermal Stainless Steel</i>  | 15,1W/m.K        |
| 10  | Waktu Penyulingan                             | 100 × 60 = 6000s |

## a. Penelitian 1

Berdasarkan data yang diperoleh maka untuk menentukan efisiensi ketel pada penelitian 1 menggunakan persamaan :

$$Efisiensi\ Boiler(\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

Diketahui :

$$Q = 20,52\ kg / jam$$

$$h_g = 3347\ kcal / kg$$

$$h_f = 422,2\ kcal / kg$$

$$q = 21,23\ kg / jam$$

$$GCV = 10986,9112\ kcal / kg$$

$$Efisiensi\ Boiler(\eta) = \frac{20,52(3347 - 422,2)}{21,23 \times 10986,9112} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Boiler(\eta) = 25,73\%$$

Dari perhitungan diatas maka efisiensi boiler pada penelitian 1 melalui perhitungan langsung (*direct method*) adalah 25,73%.

## b. Penelitian 2

Berdasarkan data yang diperoleh maka untuk menentukan efisiensi ketel pada penelitian 2 menggunakan persamaan :

$$Efisiensi\ Boiler(\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

Diketahui :

$$Q = 20,52 \text{ kg / jam}$$

$$h_g = 3347 \text{ kcal /}$$

$$\text{kg } h_f = 422,2 \text{ kcal}$$

$$\text{/ kg}$$

$$q = 18,53 \text{ kg / jam}$$

$$GCV = 10986,9112 \text{ kcal / kg}$$

$$Efisiensi\ Boiler(\eta) = \frac{20,52(3347 - 422,2)}{18,53 \times 10986,9112} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Boiler(\eta) = 29,45\%$$

Dari perhitungan diatas maka efisiensi boiler pada penelitian 2 melalui perhitungan langsung (*direct method*) adalah 29,45%.

#### c. Penelitian 3

Berdasarkan data yang diperoleh maka untuk menentukan efisiensi ketel pada penelitian 3 menggunakan persamaan :

$$Efisiensi\ Boiler(\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

Diketahui :

$$Q = 20,52 \text{ kg / jam}$$

$$h_g = 3347 \text{ kcal /}$$

$$\text{kg } h_f = 422,2 \text{ kcal}$$

$$\text{/ kg}$$

$$q = 19,36 \text{ kg / jam}$$

$$GCV = 10986,9112 \text{ kcal / kg}$$

$$Efisiensi\ Boiler(\eta) = \frac{20,52(3347 - 422,2)}{19,36 \times 10986,9112} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Boiler(\eta) = 28,22\%$$

Dari perhitungan diatas maka efisiensi boiler pada penelitian 3 melalui perhitungan langsung (*direct method*) adalah 28,22%.

#### 4.1.2. Perhitungan kesetimbangan Massa Penelitian 1

##### a. Input :

Diketahui :

$$\begin{aligned}\text{Daun Nilam} &= 3 \text{ kg} \\ \text{Air} &= 58 \text{ liter}\end{aligned}$$

Untuk mengetahui jumlah massa berat air pada ketel, maka kita akan menggunakan persamaan :

$$M_{air} = \rho_{air} \times V_{air}$$

Diketahui :

$$\rho_{air} = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$V_{air} = 0,058000 \text{ m}^3$$

$$M_{air} = \rho_{air} \times V_{air}$$

$$= 1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,058000 \text{ m}^3$$

$$= 58 \text{ kg}$$

$$\text{total input} = (3 \text{ kg} + 58 \text{ kg})$$

$$= 61 \text{ kg}$$

Sesuai dengan perencanaan dalam proses pengolahan 3 kg daun nilam yang dimana  $\text{input} = \text{output}$  akan menghasilkan 61 kg minyak nilam.

b. *Output* :

Setelah melalui tahapan perebusan maka diperoleh minyak nilam dan air, lalu dipisahkan sehingga menghasilkan :

$$\text{Minyak nilam} = 28 \text{ ml} = 26 \text{ gram}$$

$$\text{Air} = 14,30 \text{ liter} = 14,30 \text{ kg} = 14300 \text{ gram}$$

$$\text{Minyak nilam} + \text{air} = 26 \text{ gram} + 14300 \text{ gram}$$

$$= 14326 \text{ gram}$$

Penelitian 2

a. *Input* :

Diketahui :

$$\text{Daun Nilam} = 4 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 58 \text{ liter}$$

Untuk mengetahui jumlah massa berat air pada ketel, maka kita akan menggunakan persamaan :

$$M_{air} = \rho_{air} \times V_{air}$$

Diketahui :

$$\rho_{air} = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$V_{air} = 0,058000 \text{ m}^3$$

$$M_{air} = \rho_{air} \times V_{air}$$

$$= 1000 \text{ kg} / \text{m}^3 \times 0,058000 \text{ m}^3$$

$$= 58 \text{ kg}$$

$$\text{total input} = (4 \text{ kg} + 58 \text{ kg})$$

$$= 62 \text{ kg}$$

Sesuai dengan perencanaan dalam proses pengolahan 4 kg daun nilam yang dimana  $\text{input} = \text{output}$  akan menghasilkan 62 kg minyak nilam.

b. *Output* :

Setelah melalui tahapan perebusan maka diperoleh minyak nilam dan air, lalu dipisahkan sehingga menghasilkan :

$$\text{Minyak nilam} = 35 \text{ ml} = 31 \text{ gram}$$

$$\text{Air} = 15 \text{ liter} = 15 \text{ kg} = 15000 \text{ gram}$$

$$\text{Minyak nilam} + \text{air} = 31 \text{ gram} + 15000 \text{ gram}$$

$$= 15031 \text{ gram}$$

### Penelitian 3

a. *Input* :

Diketahui :

$$\text{Daun Nilam} = 5 \text{ kg}$$

$$\text{Air} = 58 \text{ liter}$$

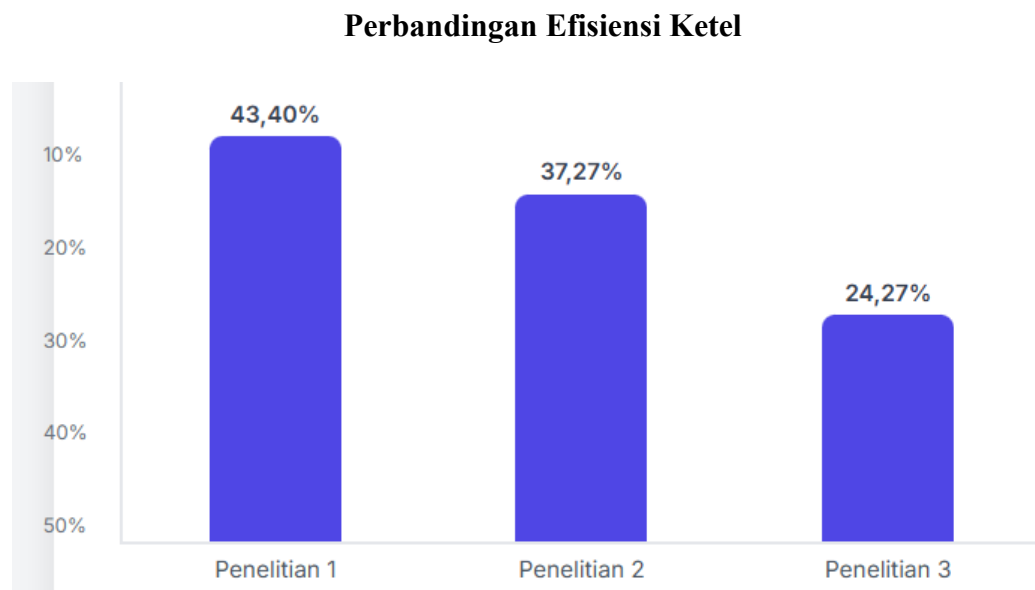
Untuk mengetahui jumlah massa berat air pada ketel, maka kita akan menggunakan persamaan :

$$M_{air} = \rho_{air} \times V_{air}$$

Diketahui :

$$\rho_{air} = 1000 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$V_{air} = 0,058000 \text{ m}^3$$



Gambar 4.1 Grafik ini menunjukkan nilai efisiensi dari tiga pengujian yang berbeda

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil pengujian boiler maka di dapatkan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Dari hasil penelitian 1 yang dilakukan terhadap ketel dengan nilai panas masuk sebesar  $15,5023 \text{ kJ/s}$  dan nilai panas keluar sebesar  $10,8104 \text{ kJ/s}$  sehingga didapatkan nilai efisiensi dari ketel pada penelitian 1 sebesar  $43,4017\%$ .
2. Dari hasil penelitian 2 yang dilakukan terhadap ketel dengan nilai panas masuk sebesar  $18,5398 \text{ kJ/s}$  dan nilai panas keluar sebesar  $13,5064 \text{ kJ/s}$  sehingga didapatkan nilai efisiensi dari ketel pada penelitian 2 sebesar  $37,2668 \%$ .
3. Dari hasil penelitian 3 yang dilakukan terhadap ketel dengan nilai panas masuk sebesar  $19,3549 \text{ kJ/s}$  dan nilai panas keluar sebesar  $24,0524 \text{ kJ/s}$  sehingga didapatkan nilai efisiensi dari ketel pada penelitian 3 sebesar  $24,2703\%$ .

#### **5.2 Saran**

Beberapa hal yang harus dilakukan pada penelitian lanjutan nantinya harus dilakukan pengembangan yaitu :

1. Adanya perbandingan penggunaan material yang berbeda terhadap kondensor.
2. Penggunaan bentuk lain dari ketel.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asmudi, 2010. Analisa Unjuk Kerja Boiler Terhadap Penurunan Daya Pada Pltu Pt. Indonesia Power Ubp Perak. Jurnal Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan, ITS Surabaya.
- Bora, M. K., & Nakkeeran, S. 2014. Performance analysis from the efficiency estimation of coal fired boiler. *International Journal of Advanced Research*, 2(5), 561-574.
- Bruijn & L. Mulwijk. 1982. Ketel Uap. Jakarta : Bhartara Kara Aksara.
- Dalimunthe, D. 2006. Konservasi Energi di Kilang Gas Alam Cair/LNG Melalui Peningkatan Efisiensi Pembakaran pada Boiler. *Jurnal Teknologi Proses*, 5(2).
- Djokostyardjo, M. J. 1999. Ketel Uap. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Fitra Ardiansyah, T. 2018. Pengaruh Tekanan Ketel Uap (Boiler) Terhadap Rendemen Pada Penyulingan Minyak Pala. *ETD Unsyiah*.
- Fitriawan, D. 2010. Studi pengelolaan limbah padat dan limbah cair PT X-Pasuruan sebagai upaya penerapan proses produksi bersih. *Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Ghritlahre, H., & Singh, T. P. 2014. Effect of excess air on 30 TPH AFBC boiler on dry flue gas losses and its efficiency. *International Journal of Research in Advent Technology*, 2(6), 19-23.
- Guenther, E. 1987. Minyak Atsiri. Jilid 1, penerjemah Ketaren S. *Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta*.
- Gunawan, T., & Cordova, H. 2010. Desain AFRC (Air To Fuel Ratio Control) Berbasis Optimasi Kandungan O<sub>2</sub> Pada Gas Buang di PT. Pertamina Refinery Unit IV Cilacap Dengan Menggunakan Sistem Fuzzy. Jurnal Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknologi Industri. Institut Teknologi Sepuluh November
- Hasibuan, H. C., & Napitupulu, F. H. 2013. Analisa Pemakaian Bahan Bakar Dengan Melakukan Pengujian Nilai Kalor Terhadap Performasi Ketel Uap Tipe Pipa Air Dengan Kapasitas Uap 60 Ton/Jam. *Jam. e-Dinamis*, 4(4).
- Hendri, Suhengki, dan P. Ramadhan. 2017. Analisa Efisiensi Dengan Metode Heat Loss Sebelum dan Sesudah Overhaul PT. Indonesia Powe UBP PLTU Lontar Unit 3. Dalam Jurnal Power Plant, Vol. 4, No.4. Hal. 218 – 277
- Hidayat, A. R., & Basyirun, B. 2020. Pengaruh jenis oli bekas sebagai bahan bakar kompor pengecoran logam terhadap waktu konsumsi dan suhu maksimal pada pembakaran. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 5(2), 103-108.

- Holman, J. P. 2008. *Heat Transfer (Si Units) Sie*. Tata McGraw-Hill Education.
- Huda, I. M. 2014. *Pengaruh daya microwave-assisted Hydrodistillation terhadap kebutuhan energi Ekstraksi dan rendemen minyak nilam* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).
- Indriyani, I. 2017. Analisis Efisiensi Alat Penyulingan Minyak Nilam (Patchouly Oil) Dengan Proses Kapasitas Kering 30 Kg Per Jam. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 2(2), 155-170.
- Isfaroiny, R. 2005. Peningkatan kadar patchouli alcohol pada minyak nilam (Pogostemon cablin Benth) dengan metode distilasi fraksinasi vakum. *Berkala Penelitian Hayati*, 10(2), 123-127.
- Ketaren, S. 1986. Pengantar teknologi minyak dan lemak pangan.
- Krismawati, A. 2005. Nilam dan Potensi pengembangannya Kalteng jadikan komoditas rintisan. *Tabloid Sinar Tani. Kalimantan*.
- Lutony, T. L., & Rahmayati, Y. 1994. Produksi dan perdagangan minyak atsiri. *Penebar Swadaya, Jakarta*, 148.
- Malek, M. 2004. *Power Boiler Design, Inspection, and Repair: Per ASME Boiler and Pressure: Per ASME Boiler and Pressure*. McGraw-Hill Prof Med/Tech.
- Maulana, A. S., Turmizi, T., & Hamdani, H. 2018. Rancang Bangun Alat Distilasi Untuk Penyulingan Minyak Nilam. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 2(2), 73-75.
- Mukhtar, T. 2020. Analisis Kualitas Dan Biaya Distilasi Minyak Nilam Dari Ketel Drum Bekas Dan Dari Ketel Stainless Steel Di Kabupaten Aceh Selatan. *ETD Unsyiah*.
- Muzaki, I., & Mursadin, A. 2019. Analisis Efisiensi Boiler Dengan Metode Input–Output Di Pt. Japfa Comfeed Indonesia Tbk. Unit Banjarmasin. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 4(1), 37-46.
- Noviyanto, I. D. 2014. Thermal efficiency improvement through fuel gas rate and excess oxygen control.
- Nugroho, I. 2023. *Rancang Bangun Ketel Penyulingan Untuk Memproduksi Minyak Atsiri* (Doctoral dissertation, Universitas Diponegoro).
- Nurhasanah, R., & Firdaus, O. 2016. Perbandingan Efisiensi Boiler Awal Operasi Dan Setelah Overhaul Terakhir Di Unit 5 Pltu Suralaya. *JURNAL POWERPLANT*, 4(1), 44-48.

- Nurmalita. 2012. Analisa Efisiensi Energi Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) PT. Energi Alamraya Semesta Di Kabupaten Nagan Raya Nangroe Aceh Darussalam. Skripsi.
- Oland, C. B. 2002. *Guide to low-emission boiler and combustion equipment selection*. Oak Ridge, TN, USA: The Laboratory.
- Prasojo, A. B., Hakim, L., & Rijanto, A. 2020. Analisis Efisiensi Boiler Hamada dengan Direct dan Indirect Method di PT Dayasa Aria Prima. *Majamecha*, 2(2), 103-112.
- Pravitasaria, Y., Malino, M. B. A., & Maraa, M. N. 2017. Analisis efisiensi boiler menggunakan metode langsung. *Prisma fisika*, 5(1).
- Pribadi, D. 2022. Pengaruh Pertukaran Suhu Kondensor Pada Alat Penyulingan Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kilogram. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]*, 2(1).
- Sastrohamidjojo, H. 2021. *Kimia minyak atsiri*. UGM Press. Yogyakarta.
- Sufiyanto, S. 2011. Penyulingan Minyak Nilam dengan Ketel Sistem Ganda yang Memanfaatkan Sisa Panas Gas Buang Pembakaran. *Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin*, 3(1), 523508.
- Sugiharto, A. 2016. Tinjauan Teknis Pengoperasian Dan Pemeliharaan Boiler. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 6(2).
- Sugiharto, A. 2020. Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api. *Swara Patra: Majalah Ilmiah PPSDM Migas*, 10(2), 51-57.
- Suhirman, S. 2009. Aplikasi Teknologi Pemurnian Untuk Meningkatkan Mutu Minyak Nilam. *Perkembangan Teknologi TRO*, 21(1), 15-21.
- Sutikno, D., Soenoko, R., Pratikto, P., Putra, F., & Cahyo, P. M. N. 2011. Study On Pressure Distribution In The Blade Passage Of The Francis Turbine. *Rekayasa Mesin*, 2(2), 154-158.
- Syahputra, M. R., & Sulaksmono, M. 2014. Kelengkapan Pemenuhan Syarat Operator Ketel Uap Dengan Upaya Pengoperasian Dan Pemeliharaan Di Pt Pupuk Kaltim (Studi Pada Operator Di Industri Kimia). *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 3(2), 201-211.
- United Nations Environment Programme. 2006. Boiler & Pemanas Fluida Termis. Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia.

- Wandiatmoko,T. 2009. Pengaruh metode destilasi steam distillaton dan steam- hydro distillation terhadap hasil kuantitatif dan kadar panchouli alcohol dari tanaman nilam. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Yahya, A., & Yunus, R. M. 2013. Influence of sample preparation and extraction time on chemical composition of steam distillation derived patchouli oil. *Procedia Engineering*, 53, 1-6.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATADIRI

Nama : Ade Ahmad Wijaya Pulungan  
Tempat/Tanggal Lahir : Belawan /20 Juli 1999  
Alamat : Belawan jalan slebes paluh perta  
Agama : Islam  
Email : adepulungan30@gmail.com  
No. Hp : 0813-9716-7118

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Kartu Tanda Mahasiswa : 1807230101  
Fakultas : Teknik  
Praogram Studi : Teknik Mesin  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara  
Alamat : Jl. Kapten Muchtar BasriNo.3 Medan 2023.

| No | Tingkat Sekolah | Nama Sekolah           | Tahun Lulus |
|----|-----------------|------------------------|-------------|
| 1  | SD              | SDN 060957 Belawan     | 2012        |
| 2  | SMP             | SMP Yaspi Labuhan Deli | 2014        |
| 3  | SMA             | SMK Brigjen Katomsol 2 | 2017        |

Lampiran 1. Proses pengujian ketel







