

TUGAS AKHIR

ANALISIS EFISIENSI MINI *BOILER* TIPE PIPA API VERTIKAL DENGAN VARIASI TEKANAN

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

Disusun Oleh:

DAFFA TAUIOURRAHMAN
1707230096



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Daffa Tupiqurrahman
NPM : 1707230096
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Efisiensi Mini Boiler Tipe Pipa Api Vertikal Dengan Variasi Tekanan
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, Maret 2022

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



Khairul Umurani, S.T.,M.T

Dosen Penguji III



Riadini Wanty Lubis, S.T.,M.T



Dosen Penguji IV
Chandra A Siregar, S.T.,MT

Chandra A Siregar, S.T.,MT

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Daffa Taupiqurrahman
Tempat /Tanggal Lahir : Dolok Sinumbah /19 April 2000
NPM : 1707230096
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“ Analisis Efisiensi Mini Boiler Tipe Pipa Api Vertikal Dengan Variasi Tekanan”,

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 orisinal 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 Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Maret 2022



Saya yang menyatakan,


Daffa Taupiqurrahman

ABSTRAK

Pada *boiler* terdapat beberapa faktor kerugian yang mempengaruhi efisiensi *boiler* antara lain adalah tekanan, temperature air umpan, temperature uap, jumlah uap yang dihasilkan, jumlah konsumsi bahan bakar, dan nilai kalor pembakaran bahan bakar. Penggunaan tabel sifat air jenuh untuk mengetahui nilai enthalpy. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan hubungan variasi tekanan dengan konsumsi bahan bakar, jumlah uap yang dihasilkan, dan efisiensi mini *boiler*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen (*experimental study*), data yang dikumpulkan adalah data primer hasil eksperimen didukung dengan data sekunder. Dari hasil analisa yang telah dilakukan maka hubungan variasi tekanan didapatkan hubungan laju aliran massa bahan bakar berbanding lurus dengan efisiensi mini *boiler*. Hubungan laju aliran massa bahan bakar berbanding lurus dengan Laju aliran massa uap. Nilai efisiensi *boiler* tertinggi yang dihasilkan sebesar 20,83 % dan nilai efisiensi *boiler* terendah yang dihasilkan adalah sebesar 19,829 % pada tekanan 1,5 bar. Nilai efisiensi *boiler* tertinggi yang dihasilkan sebesar 20,75 % dan nilai efisiensi *boiler* terendah yang dihasilkan adalah sebesar 19,6 % pada tekanan 2 bar.

Kata kunci : Mini *boiler*, variasi tekanan, efisiensi mini *boiler*

ABSTRACT

In boilers there are several loss factors that affect boiler efficiency, including pressure, feed water temperature, steam temperature, the amount of steam produced, the amount of fuel consumption, and the calorific value of fuel combustion. The use of the table of properties of saturated water to determine the value of enthalpy. The purpose of this study was to determine the relationship between pressure variations and fuel consumption, the amount of steam produced, and the efficiency of the mini boiler. The method used in this research is an experimental method (experimental study), the data collected is primary data from experimental results supported by secondary data. From the results of the analysis that has been carried out, the relationship between pressure variations is found to be directly proportional to the efficiency of the mini boiler. The mass flow rate of fuel is directly proportional to the mass flow rate of steam. The highest boiler efficiency value produced is 20.83% and the lowest boiler efficiency value is 19.829% at a pressure of 1.5 bar. The highest boiler efficiency value produced is 20.75% and the lowest boiler efficiency value is 19.6% at a pressure of 2 bar.

Key words : Mini boiler, pressure variation, mini boiler efficiency

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat 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 Efisiensi Mini *Boiler* Tipe Pipa Api Vertikal Dengan Variasi Tekanan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

1. Ibu Riadini Wanty Lubis, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing dan Penguji III, yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak H. Muharnif, S.T., M.T selaku dosen Penguji I dan Bapak Khairul Umurani, S.T., M.Sc selaku dosen penguji II yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T dan Bapak Ahmad Marabdi Siregar, 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.
4. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknikmesinan kepada penulis.
6. Orang tua penulis: Hendra Guanawan, S.E dan Ida Wati Damanik, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Sahabat-sahabat penulis: Muhammad Reza, Fauzan Akbar, Fachrul Aldi, Fajar Ramadana, Ferdiansyah Sinaga, 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 di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu keteknik-mesinan.

Medan, Maret 2022



Daffa Taupiqurrahman

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| LEMBAR PERNYATAN 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 | 4 |
| 1.3. Ruang lingkup | 4 |
| 1.4. Tujuan | 4 |
| 1.5. Manfaat | 4 |
| | |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1. <i>Boiler</i> | 5 |
| 2.2. Prinsip Kerja <i>Boiler</i> | 6 |
| 2.3. Klasifikasi <i>Boiler</i> | 6 |
| 2.3.1. Ketel pipa api (<i>fire tube boiler</i>) | 7 |
| 2.3.2. Ketel pipa air (<i>water tube boiler</i>) | 7 |
| 2.3.3. Kombinasi boiler pipa api dengan pipa air <i>Firebox</i> | 8 |
| 2.4. Komponen <i>Boiler</i> | 8 |
| 2.5. Siklus Rankine | 14 |
| 2.6. Bahan Bakar | 15 |
| 2.7. Cangkang Sawit | 17 |
| 2.8. Perubahan Fase pada zat murni | 18 |
| 2.8.1. Cair Tekan (<i>Compressed Liquid</i>) | 18 |
| 2.8.2. Cair Jenuh (<i>Saturated Liquid</i>) | 19 |
| 2.8.3. Campuran Air Uap (<i>Liquid-Vapor Mixture</i>) | 19 |
| 2.8.4. Uap Jenuh (<i>Saturated Vapor</i>) | 20 |
| 2.8.5. Uap Panas Lanjut (<i>Superheated Vapor</i>) | 20 |
| 2.9. Tabel Properti | 21 |
| 2.10. Metode analisis efisiensi <i>boiler</i> | 21 |
| 2.11. Nilai kalor | 24 |
| 2.12. Kebutuhan udara pembakaran | 25 |
| 2.13. Volume gas asap | 26 |
| 2.14. Proses pembentukan uap | 26 |
| | |
| BAB 3 METODOLOGI | 27 |
| 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian | 27 |
| 3.1.1 Tempat | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1.2 Waktu Penelitian | 27 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 27 |
| 3.2.1 Alat | 28 |
| 3.2.2 Bahan | 32 |
| 3.3 Bagan Alir Penelitian | 33 |
| 3.4 Skema Alat Penelitian | 34 |
| 3.5 Prosedur Penelitian | 35 |
| BAB 4 HASIL DAN ANALISA DATA | 40 |
| 4.1 Data Hasil Pengujian | 40 |
| 4.2 Bahan Bakar <i>Boiler</i> | 40 |
| 4.2.1 Perhitungan nilai kalor tinggi (HHV) | 40 |
| 4.2.2 Perhitungan nilai kalor rendah (LHV) | 41 |
| 4.3 Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar | 41 |
| 4.3.1 Perhitungan pada Tekanan 1,5 bar | 41 |
| 4.3.2 Perhitungan pada Tekanan 2 bar | 43 |
| 4.4 Perhitungan Laju Aliran Massa Uap | 44 |
| 4.4.1 Perhitungan pada Tekanan 1,5 bar | 44 |
| 4.4.2 Perhitungan pada Tekanan 2 bar | 46 |
| 4.5 Perhitungan Efisiensi Mini <i>Boiler</i> | 47 |
| 4.5.1 Perhitungan pada Tekanan 1,5 bar | 47 |
| 4.5.2 Perhitungan pada Tekanan 2 bar | 49 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | 55 |
| 5.1 Kesimpulan | 55 |
| 5.2 Saran | 55 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP | |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Komposisi Bahan Bakar Cangkang | 18 |
| Tabel 3.1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian | 27 |
| Tabel 4.1 Komposisi Bahan Bakar Cangkang | 40 |
| Tabel 4.2 Hasil analisa data | 52 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Ketel pipa api (<i>fire tube boiler</i>) | 7 |
| Gambar 2.2 Ketel pipa air (<i>water tube boiler</i>) | 8 |
| Gambar 2.3 <i>Boiler</i> | 9 |
| Gambar 2.4 Drum | 9 |
| Gambar 2.5 Pipa-pipa Api | 10 |
| Gambar 2.6 Ruang Bakar | 10 |
| Gambar 2.7 Gelas Penduga | 11 |
| Gambar 2.8 Cerobong asap (<i>chimney</i>) | 11 |
| Gambar 2.9 Blower | 12 |
| Gambar 2.10 Katup uap (<i>steam valve</i>) | 12 |
| Gambar 2.11 <i>Safety valve</i> | 13 |
| Gambar 2.12 Thermometer | 13 |
| Gambar 2.13 <i>Pressure gauge</i> | 14 |
| Gambar 2.15 Bagan alir siklus rankine sederhana | 15 |
| Gambar 2.16 Daiagram T-s siklus rankine sederhana | 15 |
| Gambar 2.17 Bahan Cangkang Sawit | 17 |
| Gambar 2.18 Air pada fase cair tekan (<i>Compressed Liquid</i>) | 19 |
| Gambar 2.19 Air pada fase cair jenuh (<i>Saturated Liquid</i>) | 19 |
| Gambar 2.20 Campuran air dan uap (<i>Liquid-Vapor Mixture</i>) | 20 |
| Gambar 2.21 Uap jenuh (<i>Saturated Vapor</i>) | 20 |
| Gambar 2.22 Uap panas lanjut (<i>Superheated Vapor</i>) | 21 |
| Gambar 2.23 Diagram T-s | 26 |
| Gambar 3.1 <i>Mini Boiler</i> | 28 |
| Gambar 3.2 Thermometer | 29 |
| Gambar 3.3 <i>Pressure gauge</i> | 29 |
| Gambar 3.4 Drum 40 liter | 30 |
| Gambar 3.5 Timbangan | 30 |
| Gambar 3.6 <i>Stopwatch</i> | 31 |
| Gambar 3.7 Thermokopel | 31 |
| Gambar 3.8 Kunci Inggris | 31 |
| Gambar 3.9 Air | 32 |
| Gambar 3.10 Cangkang Sawit | 32 |
| Gambar 3.11 Bagan Alir Penelitian | 33 |
| Gambar 3.12 Skema <i>Mini Boiler</i> | 34 |
| Gambar 3.13 Menimbang air | 35 |
| Gambar 3.14 Menimbang bahan bakar | 36 |
| Gambar 3.15 Memasukkan air | 36 |
| Gambar 3.16 Menutup katup gelas ukur | 37 |
| Gambar 3.17 Set up alat | 37 |
| Gambar 3.18 Memasukkan bahan bakar | 38 |
| Gambar 3.19 Menghidupkan <i>stopwatch</i> | 38 |
| Gambar 3.20 Membuka katup uap | 39 |
| Gambar 3.21 Menimbang sisa bahan bakar | 39 |
| Gambar 4.1 Grafik hubungan konsumsi bahan bakar dengan efisiensi (1,5 bar) | 52 |
| Gambar 4.3 Grafik hubungan konsumsi bahan bakar dengan hasil uap (1,5 bar) | 53 |
| Gambar 4.2 Grafik hubungan konsumsi bahan bakar dengan efisiensi (2 bar) | 53 |
| Gambar 4.4 Grafik hubungan konsumsi bahan bakar dengan hasil uap (2 bar) | 54 |

DAFTAR NOTASI

| Simbol | Besaran | Satuan |
|-------------------|-------------------------------|----------------------|
| η | Efisiensi | % |
| T | Temperatur | °C |
| HHV | <i>High heating value</i> | kJ/kg |
| LHV | <i>Low heating value</i> | kJ/kg |
| h | Enthalpi | kJ/kg |
| \dot{m}_{fuel} | Laju aliran massa bahan bakar | kg/jam |
| \dot{m}_{steam} | Laju aliran massa uap | kg/jam |
| W_g | Volume gas asap | m ³ /kgBB |
| P | Tekanan | Bar |
| α | Faktor kelebihan uap | % |
| G_t | Berat gas asap teoritis | kg/kgBB |
| G_s | Berat gas asap sebenarnya | kg/kgBB |
| U_t | Kebutuhan udara teoritis | kg/kgBB |
| U_s | Kebutuhan udara sebenarnya | kg/kgBB |
| h_f | <i>Enthalpy feed water</i> | kJ/kg |
| h_g | Enthalpy uap | kJ/kg |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era sekarang ini dunia industri banyak mengalami kemajuan yang pesat, dengan demikian menimbulkan persaingan yang ketat antara perusahaan. Salah satu mesin industri yang perannya sangat penting adalah *boiler*, pada setiap perusahaan *boiler* merupakan asset penting, yang fungsinya untuk menghasilkan uap (*steam*), uap tersebut bisa digunakan untuk berbagai macam keperluan industri, bisa industri skala besar atau pun kecil. Pada industri besar yaitu pada PLTU, Pabrik kelapa sawit dan berbagai macam industri lainnya, dan pada industri kecil contohnya seperti pembuatan tahu, destilasi minyak daun sereji wangi, dan lain-lain (Muzaki & Mursadin, 2019).

Sumber energi yang terkandung di Indonesia diyakini belum mampu dimaksimalkan secara sempurna untuk memenuhi kebutuhan energi nasional, hal ini mengakibatkan masih adanya daerah-daerah di Indonesia yang belum dialiri energi secara total. Pengolahan kekayaan sumber daya energi yang ada di Indonesia dengan baik dan tepat akan menghasilkan energi yang cukup bahkan lebih untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Hal ini memaksa masyarakat untuk bertanggung jawab dalam penggunaan dan pemanfaatan sumber energi secara bijaksana.

Kerugian-kerugian akibat perpindahan energi yang mendampingi kalor dan kerja kemudian dapat dilakukan analisa terhadap energi bertujuan untuk menghitung potensial kerja maksimum suatu sistem untuk mencapai kesetimbangan dengan kondisi lingkungan serta untuk mengidentifikasi terjadinya pemusnahan energi. Berdasarkan pada penelitian sebelumnya, hasil analisis energy terhadap *system power plant* dapat dikatakan bahwa *boiler* adalah salah satu faktor penyebab utama hilangnya energi yang sebenarnya. Hal ini disebabkan karena efisiensi performa *boiler* yang menurun karena adanya kehilangan kalor yang berlebihan pada saat proses.

Konservasi energi yang merupakan penggunaan energi secara efisien dan rasional tanpa mengurangi penggunaan energi yang memang benar-benar

diperlukan perlu diterapkan pada seluruh tahap pemanfaatan, dengan menggunakan teknologi yang efisien dan membudayakan pola hidup hemat energi mulai dari pemanfaatan sumber daya energi sampai pada pemanfaatan akhir. Konservasi energi memiliki potensi peluang penghematan yang sangat besar di semua sector (Ui, 2011).

Boiler adalah sebuah ketel uap yang tertutup serta panas pembakaran diteruskan ke air, sampai menjadi air yang beruap panas atau *steam*. Setelah itu uap panas tersebut dalam tekanan, yang dimanfaatkan untuk suatu proses industri. *Boiler* pada industri besar biasanya tersusun dari beberapa komponen seperti cerobong, *superheater*, *steam drum*, *economizer*, dan komponen penting lainnya. Salah satu komponen terpenting pada sistem *boiler* adalah *economizer* yang berperan membantu memanaskan *feedwater* yang akan digunakan dalam *boiler*.

Boiler terdiri dari dua bagian penting yaitu dapur pemanas yang berguna untuk menghasilkan panas yang di dapat dari pembakaran bahan bakar dan *boiler* proper yang berguna untuk mengubah air menjadi uap. Pada *boiler* terjadi siklus rankine yang dimulai dengan proses pemanasan, penguapan, ekspansi, pendinginan, dan kompresi (Pravitasari et al., 2017).

Bahan bakar yang digunakan untuk penelitian ini adalah cangkang kelapa sawit, Industri kelapa sawit memiliki prospek yang cerah untuk masa depan , dari hasil pengamatan dilapangan setiap 1 ton tandan buah segar diperoleh 21-23% minyak CPO dan 5% kernel (cangkang sawit), pemanfaatan cangkang kelapa sawit masih terbatas penggunaannya seperti untuk bahan bakar, karbon aktif, asap cair, fenol, serta briket arang. Cangkang sawit merupakan produk samping limbah padat dari pengolahan kelapa sawit, abu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan utama SiO₂. Dalam upaya pemanfaatan cangkang sawit yang kurang efektif dapat menghasilkan residu yang tidak termanfaatkan serta mengakibatkan dampak yang kurang menguntungkan perlu dilakukan langkah untuk memanfaatkan limbah ini menjadi bahan yang bernilai ekonomis yang lebih tinggi. Cangkang sawit merupakan limbah industri organik yang dapat diuraikan namun karena tektur dari bahan tersebut yang cukup membutuhkan waktu yang cukup lama untuk penguraiannya secara alami (Donda et al., 2019).

Pada boiler *firetube*, pipa-pipa sirkulasi diisi oleh gas yang menyala (gas panas). Dimana transfer energi panas dari pipa-pipa tersebut di transfer segera ke air dalam bidang pemanas melalui dinding pipa panas. *Boiler* pipa api yang tersusun atas pipa-pipa vertikal disebut sebagai boiler pipa api vertikal. *Boiler* tipe ini memiliki kelebihan desain dan proses pembuatan yang tidak terlalu rumit. Ruang bakar berada di bawah tangki air, dengan pipa-pipa untuk saluran gas buang yang tersusun vertikal didalam tangki air.

Penelitian ini dilakukan untuk mencari solusi dari berbagai masalah yang sering dijumpai di lapangan atau perusahaan, yaitu banyaknya produksi barang yang menurun disebabkan karena kurangnya sumber daya energi yang menjadi faktor utama saat proses produksi. Hampir keseluruhan energi yang digunakan untuk produksi dihasilkan oleh *boiler*, maka dari itu peralatan *boiler* harus selalu dalam keadaan baik untuk menunjang proses produksi. Apabila *boiler* dalam keadaan baik, tentu menghasilkan efisiensi yang baik pula.

Kehilangan kalor (*heat loss*) pada *boiler* sering terjadi karena banyaknya kemungkinan kehilangan panas pembakaran seperti : panas yang terbawa keluar oleh gas buang tanpa uap air (*dry flue gas loss*), panas yang terbawa keluar oleh uap air panas, termasuk panas *sensible* dan *latent*, komponen bahan bakar yang tidak terbakar dan produk pembakaran tidak sempurna termasuk *solid ash combustible* dan CO dalam gas buang kehilangan panas dari dinding *boiler* melalui isolasi (radiasi dan konveksi), panas yang terbawa keluar bersama *blowdown*, kehilangan panas pembakaran tersebut yang disebut dengan rugi-rugi panas.

Penelitian yang akan dilakukan adalah menganalisis efisiensi *boiler* dengan metode langsung dengan mengumpulkan data dari *boiler* yang di buat dengan menggunakan bahan bakar cangkang sawit. Maksud dari efisiensi *boiler*, yaitu nilai tingkat kemampuan kinerja *boiler* yang didapat dari perbandingan antara energi keluaran (*output*) dengan energi masuk (*input*). Factor-faktor yang mempengaruhi efisiensi *boiler* antara lain *mass flow*, tekanan, dan temperatur uap masuk *boiler*, serta tekanan temperatur uap kerluar *bolier* (Sugiharto, 2020).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat rumusan masalah dari penelitian ini adalah “Bagaimana hasil analisis efisiensi mini *boiler* dengan menggunakan metode langsung ?”

1.3 Ruang Lingkup

Adapun Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan bahan bakar cangkang sawit
2. Volume air 30 liter
3. Drum *Boiler* berbahan *Stainless Steel*
4. Tekanan yang divariasikan 1,5 bar dan 2 bar
5. *Boiler* skala *home industri*

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian alat penghasil uap panas ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menghitung Laju konsumsi bahan bakar dengan variasi tekanan.
2. Untuk menghitung Laju aliran massa uap dengan variasi tekanan.
3. Untuk menghitung Efisiensi *Mini Boiler* terhadap tekanan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai salah satu bekal mahasiswa sebelum terjun ke dunia industri, dan modal persiapan untuk mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh.
2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai bahan referensi bagi para peneliti yang ingin mendalami tentang *boiler*.
3. Membandingkan antara teori yang diperoleh di perkuliahan dengan yang ada di lapangan.

BAB 2

TIJAUAN PUSTAKA

2.1 *Boiler*

Boiler atau ketel uap adalah suatu alat yang berupa tangki/drum/*vessel* tertutup yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap atau dengan kata lain mentransfer panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar (baik dalam bentuk padat, cair atau gas) sehingga air berubah wujud menjadi uap. Di dalam *boiler*, energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi panas melalui proses pembakaran dan panas yang dihasilkan sebagian besar diberikan kepada air yang berada di dalam ketel, sehingga air berubah menjadi uap. *Boiler* didukung menggunakan peralatan-peralatan khusus seperti *Safety valve*, *Level Glass*, *Block Valve*, *Burner* pembakaran dan alat bantu lainnya (Hidayanto, 2016).

Di dalam *boiler*, energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi panas melalui proses pembakaran dan panas yang dihasilkan sebagian besar diberikan kepada air yang berada di dalam ketel, sehingga air berubah menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibanding dengan air yang lebih dingin, sehingga terjadi perubahan berat jenis air di dalam *boiler*. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik, dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar. Air panas atau steam pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air merupakan media yang dapat berfungsi dan dapat dijangkau untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Apabila air dididihkan sampai menjadi *steam*, volumenya akan meningkat, menghasilkan tenaga yang besar dan berbahaya yang mudah meledak, sehingga *boiler* merupakan peralatan yang harus dikelola dan dijaga dengan sangat baik.

Pembakaran di dalam ruang bakar dilakukan secara kontinyu dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar. *Steam* yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai keperluan:

1. Pada tekanan rendah : Sebagai keperluan media pemanas.
2. Pada tekanan sedang : Sebagai penggerak *steam turbine* pada pompa kompresor, *steam jet ejector*, dan lain-lain.

3. Pada tekanan tinggi : Sebagai tenaga penggerak *steam turbine* pada pembangkit tenaga listrik.

Boiler yang digunakan untuk penelitian ini adalah *boiler* sederhana pada tekanan rendah yang berjenis *boiler* pipa api vertikal, *boiler* ini dibuat dari *Stainless steel* dan menggunakan bahan bakar Cangkang Sawit sebagai bahan bakar, *boiler* ini terdiri dari ruang bakar (*furnace*), tabung air (*water tube*), dan cerobong asap. Dan juga terdapat komponen-komponen yang lain seperti *safety valve*, *stop kran*, *preassure gauge*, dan *thermometer*.

2.2 Prinsip Kerja *Boiler*

Boiler adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran dipindahkan ke air sampai terbentuk uap. Uap pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air dididihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali. (R. Sinaga, 2015)

Sistem yang dimiliki *boiler* untuk memenuhi kebutuhan steam terbagi menjadi beberapa sistem yaitu sistem air umpan, sistem uap dan sistem bahan bakar.

- a. Sistem air umpan (*feed water system*) merupakan sistem yang berguna untuk mengalirkan air umpan ke dalam *boiler*.
- b. Sistem steam (*steam system*) merupakan sistem yang berguna untuk mengontrol proses produksi *steam* dan mengumpulkan berbagai data dalam *boiler* dengan cara mengalirkan uap ke titik pengguna dengan menggunakan sistem pemipaan.
- c. Sistem bahan bakar (*fuel system*) merupakan sistem yang berguna untuk mengontrol proses pembakaran dengan cara mensuplai bahan bakar ke dalam dapur pembakaran.

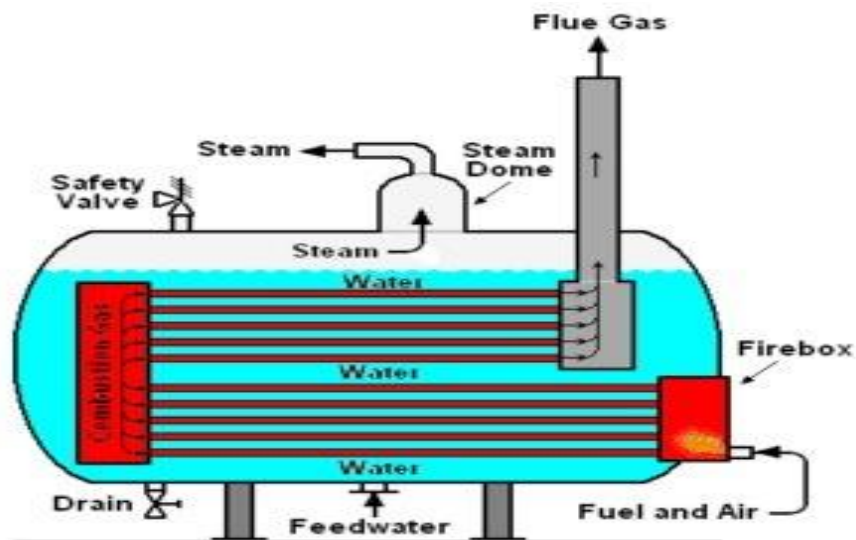
2.3 Klasifikasi *Boiler*

Boiler/ketel uap pada dasarnya terdiri dari tabung (*drum*) yang tertutup dan dalam perkembangannya di lengkapi dengan Ketel pipa api (*fire tube boiler*), pipa air, dan Kombinasi *Boiler* Pipa-Api dengan Pipa-Air *Firebox* (Batubara, 2014).

2.3.1 Ketel pipa api (*fire tube boiler*)

Pada ketel pipa api, fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran), yang membawa energi panas (*thermal energy*), yang segera mentransfernya ke air ketel melalui bidang pemanas (*heating surface*). Tujuan pipa-pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas (kalor) kepada air ketel.

Api/gas asap mengalir dalam pipa sedangkan air/uap diluar pipa Drum berfungsi untuk tempat air dan uap, disamping itu drum juga sebagai tempat bidang pemanas.

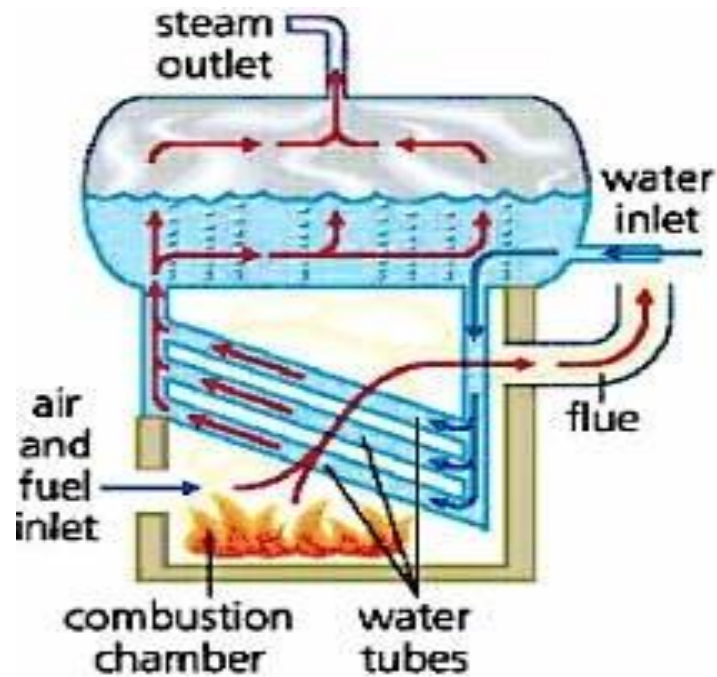


Gambar 2.1 Ketel pipa api (*fire tube boiler*)

2.3.2 Ketel pipa air (*water tube boiler*)

Pada ketel pipa air, fluida yang mengalir dalam pipa adalah air, energi panas ditransfer dari luar pipa (yaitu ruang dapur) ke air ketel.

Cara kerja : proses pengapian terjadi diluar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa yang berisi air dan sebelumnya air tersebut dikondisikan terlebih dahulu melalui *economizer*, kemudian uap yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah drum uap. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, melalui tahap *secondary superheater* dan *primary superheater* baru uap dilepaskan ke pipa utama distribusi. Di dalam pipa air, air yang mengalir harus dikondisikan terhadap mineral atau kandungan lainnya yang larut.



Gambar 2.2 Ketel pipa air (*water tube boiler*)

2.3.3 Kombinasi *Boiler* Pipa-Api dengan Pipa-Air *Firebox*

Boiler jenis ini merupakan kombinasi antara *boiler* pipa-api dengan pipa-air. Sebuah *firebox* didalamnya terdapat pipa-pipa berisi air, uap air yang dihasilkan mengalir ke dalam *barrel* dengan pipa-api didalamnya. *Boiler* jenis ini diaplikasikan pada beberapa kereta uap, namun tidak terlalu populer dipergunakan.

2.4 Komponen *Boiler*

Beberapa Komponen-komponen yang terdapat pada mini *boiler* tipe pipa api vertikal terdiri dari.



Gambar 2.3 Mini Boiler
(Sumber: Apit Fathurohman, S. Pd., 2015)

Komponen-komponen mini boiler terdiri dari:

1. Drum

Drum yang berisi air ini berfungsi sebagai tempat terjadinya penguapan yaitu merubah air menjadi uap.



Gambar 2.4 Drum
(Sumber: Apit Fathurohman, S. Pd., 2015)

2. Pipa-pipa Api

Pipa-pipa sirkulasi diisi oleh gas yang menyala (gas panas). Dimana transfer energi panas dari pipa-pipa tersebut di transfer segera ke air dalam bidang pemanas melalui dinding pipa panas



Gambar 2.5 Pipa-pipa Api
(Sumber: Apit Fathurohman, S. Pd., 2015)

3. Ruang Bakar (*furnace*)

Ruang bakar (*furnace*) adalah dapur penerima panas bahan bakar untuk pembakaran, yang menerima panas dari bahan bakar secara radiasi, konveksi, konduksi.



Gambar 2.6 Ruang Bakar (*furnace*)
(Sumber: Apit Fathurohman, S. Pd., 2015)

4. Gelas Penduga

Gelas Penduga berfungsi sebagai indikator untuk melihat tinggi air didalam drum.



Gambar 2.7 Gelas ukur
(Sumber: Apit Fathurohman, S. Pd., 2015)

5. Cerobong Asap (Chimney)

Cerobong asap ini berfungsi untuk membuang udara sisa pembakaran.



Gambar 2.8 Cerobong Asap (*chimney*)
(Sumber: Apit Fathurohman, S. Pd., 2015)

6. Blower

Blower berfungsi sebagai penyuplai udara untuk bahan bakar.



Gambar 2.9 Blower

7. Katup uap (*steam valve*)

Katup uap berfungsi sebagai alat untuk membuka dan menutup aliran uap *boiler*.



Gambar 2.10 Katup uap (*steam valve*)

8. *Safety Valve*

Alat ini bekerja apabila tekanan kerja melebihi dari tekanan yang telah ditentukan sesuai dengan penyetelan klep pada alat ini.



Gambar 2.11 *Safety Valve*

9. Thermometer

Thermometer berfungsi untuk mengukur temperatur uap (*steam*) yang ada di dalam drum mini *boiler*.



Gambar 2.12 Thermometer

10. Pressure gauge

Pressure gauge adalah alat ukur tekanan yang berfungsi untuk mengukur tekanan uap di dalam mini *boiler*.



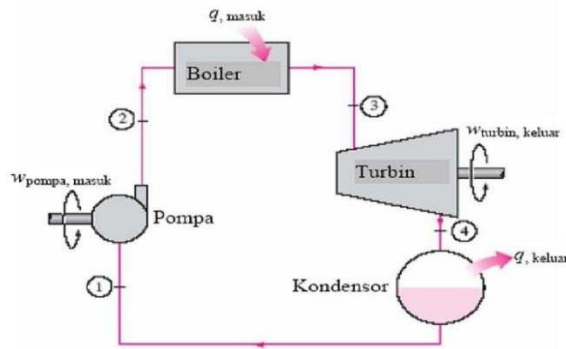
Gambar 2.13 *Pressure gauge*

2.5 Siklus Rankine

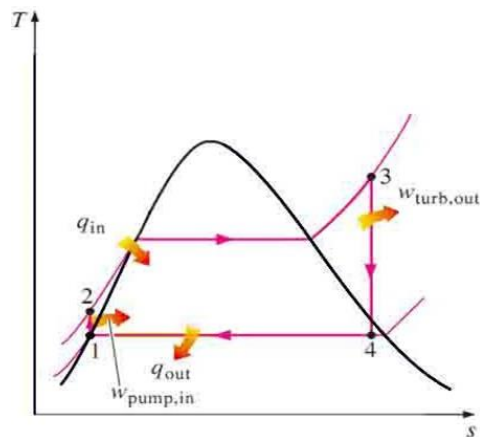
Siklus Rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi, oleh karena itu fluida kerja untuk siklus Rankine harus merupakan uap. Siklus Rankine ideal tidak melibatkan beberapa masalah irreversibilitas internal. Irreversibilitas internal dihasilkan dari gesekan fluida, throttling, dan pencampuran, yang paling penting adalah irreversibilitas dalam turbin dan pompa dan kerugian-kerugian tekanan dalam penukar-penukar panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan, dan katup-katup (Mohammad Aziz M, 2017).

Temperatur air sedikit meningkat selama proses kompresi isentropik karena ada penurunan kecil dari volume jenis air, air masuk *boiler* sebagai cairan kompresi pada kondisi 2 dan meninggalkan *boiler* sebagai uap kering pada kondisi 3. *Boiler* pada dasarnya penukar kalor yang besar dimana sumber panas dari pembakaran gas, reaktor nuklir atau sumber yang lain ditransfer secara esensial ke air pada tekanan konstan. Uap *superheater* pada kondisi ke 3 masuk ke turbin yang mana uap diexpansikan secara isentropik dan menghasilkan kerja oleh putaran poros yang dihubungkan pada generator listrik.

Temperatur dan tekanan uap jatuh selama proses ini mencapai titik 4, dimana uap masuk ke kondensor dan pada kondisi ini uap biasanya merupakan campuran cairan-uap jenuh dengan kualitas tinggi. Uap dikondensasikan pada tekanan konstan di dalam kondensor yang merupakan alat penukar kalor mengeluarkan panas ke medium pendingin (Batubara, 2014).



Gambar 2.14 Bagan alir siklus rankine sederhana



Gambar 2.15 Diagram T-s Siklus Rankine Sederhana

2.6 Bahan Bakar

Bahan bakar (*fuel*) adalah segala sesuatu bahan yang dapat di bakar. Bahan bakar yang di bakar menghasilkan panas (kalor). Proses pembakaran merupakan proses kimia antara bahan bakar, udara dan panas. Proses pembakaran terjadi di ruang bakar (*furnance*) yang bertujuan merubah air menjadi uap. Untuk melakukan pembakaran diperlukan dua unsur utama, yaitu : (S, 2017)

- a. Bahan bakar
- b. Oksigen

Berbagai jenis bahan bakar seperti bahan bakar cair, padat, dan gas yang tersedia tergantung pada berbagai faktor ketersediaan, biaya, penyimpanan , dan lain-lain.

1. Bahan bakar padat

Bahan bakar padat yang terdapat di bumi kita ini berasal dari zat-zat organik. Bahan bakar padat mengandung unsur-unsur antara lain : Zat arang atau Karbon (C), zat lemas atau Nitrogen (N), Hidrogen (H), Belerang (S), zat

asam atau Oksigen (O) Abu dan Air yang kesemuanya itu terikat dalam satu persenyawaan kimia.

2. Bahan bakar cair

Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan jalan mengebornya pada ladang-ladang minyak, dan memompanya sampai ke atas permukaan bumi, untuk selanjutnya diolah lebih lanjut menjadi berbagai jenis minyak bakar.

3. Bahan bakar gas

Di dalam tanah banyak terkandung : Gas Bumi (*Petrol Gas*) atau sering disebut pula dengan gas alam, yang timbul pada saat proses pembentukan minyak bumi, gas tambang, dan gas rawa CH_4 (*Methane*). Seperti halnya dengan minyak bumi, gas alam tersebut diperoleh dengan jalan pengeboran dari dalam tanah.

Agar kualitas uap yang dihasilkan dari ketel uap sesuai dengan yang diinginkan atau dibutuhkan maka dibutuhkan sejumlah panas untuk menguapkan air tersebut, dimana panas tersebut diperoleh dari pembakaran bahan bakar di ruang bakar ketel. Untuk mendapatkan pembakaran yang sempurna di dalam ketel maka diperlukan beberapa syarat, yaitu:

1. Udara yang dipakai harus mencukupi
2. Waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran harus cukup.
3. Panas yang cukup untuk memulai pembakaran.
4. Kerapatan yang cukup untuk merambatkan nyala api.
5. Dalam hal ini bahan bakar yang digunakan adalah cangkang.

Adapun alasan digunakan cangkang sawit sebagai bahan bakar adalah:

1. Cangkang sawit cukup tersedia dan mudah diperoleh dan harganya ekonomis.
2. Nilai kalor bahan bakar memenuhi persyaratan untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.
3. Emisi gas buang dari pembakarannya tidak terlalu mencemari udara.

2.7 Cangkang Sawit

Cangkang sawit merupakan produk samping limbah padat dari pengolahan kelapa sawit, abu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan utama SiO_2 . Cangkang sawit merupakan limbah industri organik yang dapat diuraikan namun

karena tekstur dari bahan tersebut yang cukup membutuhkan waktu yang cukup lama untuk penguraiannya secara alami.



Gambar 2.16 Bahan Bakar Cangkang Sawit

Dalam pemrosesan buah kelapa sawit menjadi ekstrak minyak sawit, menghasilkan limbah padat yang sangat banyak dalam bentuk serat, cangkang dan tandan buah kosong, dimana untuk setiap 100 ton tandan buah segar yang diproses, akan di dapat lebih kurang 20 ton cangkang, 7 ton serat dan 25 ton tandan kosong. Untuk membantu pembuangan limbah dan pemulihan energi, cangkang dan serat ini digunakan lagi sebagai bahan bakar untuk menghasilkan uap pada penggilingan minyak sawit, setelah pembakaran dalam ketel uap, akan dihasilkan 5% abu (*oil palm ashes*) dengan ukuran butiran yang halus . Abu hasil pembakaran ini biasanya dibuang dekat pabrik sebagai limbah padat dan tidak dimanfaatkan. Jika unsur silika (SiO_2) ditambahkan dengan campuran beton, maka unsur silika tersebut akan bereaksi dengan kapur bebas Ca(OH)_2 yang merupakan unsur lemah dalam beton menjadi gel CSH baru. Gel CSH merupakan unsur utama yang mempengaruhi kekuatan pasta semen dan kekuatan beton. Cangkang sawit (*Palm Kernel Shell*) pada umumnya tidak digunakan dalam industri konstruksi namun untuk mengurangi biaya bahan bangunan konvensional dapat digunakan untuk masa ke depan dimana cangkang sawit merupakan produk limbah pertanian yang jumlahnya besar pada daerah tropis (Donda et al., 2019).

Cangkang adalah sejenis bahan bakar padat yang berwarna hitam berbentuk seperti batok kelapa dan agak bulat, terdapat pada bagian dalam pada buah kelapa sawit yang diselubungi oleh serabut. Pada bahan bakar cangkang ini terdapat berbagai unsur kimia antara lain : Carbon (C), Hidrogen (H_2), Nitrogen

(N₂), Oksigen (O₂) dan Abu. Dimana unsur kimia yang terkandung pada cangkang mempunyai persentase (%) yang berbeda jumlahnya, bahan bakar cangkang ini setelah mengalami proses pembakaran akan berubah menjadi arang, kemudian arang tersebut dengan adanya udara pada dapur akan terbang sebagai ukuran partikel kecil yang dinamakan partikel pijar.

Tabel 2.1 Komposisi Bahan Bakar Cangkang

| No. | Komposisi | Cangkang Sawit (%) |
|-----|----------------------------|--------------------|
| 1 | Karbon (C) | 51,14 |
| 2 | Hidrogen (H ₂) | 3,36 |
| 3 | Oksigen (O ₂) | 43,3 |
| 4 | Nitrogen (N ₂) | 1,65 |
| 5 | Sulfur (S) | 0 |
| 6 | Kadar abu (Ash) | 0,5 |

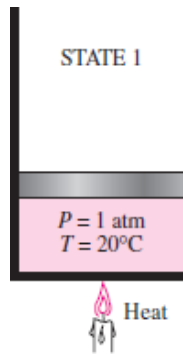
(Sumber: PT Shamrock Manufacturing Corpora)

2.8 Perubahan Fase pada Zat Murni (*Compressed Liquid*)

Air dapat berada pada keadaan campuran antara cair dan uap, contohnya yaitu pada boiler dan kondenser dari suatu sistem pembangkit listrik tenaga uap. Dibawah ini akan dijelaskan secara lebih rinci mengenai perubahan fase pada zat murni, contohnya air.

2.8.1 Cair Tekan (*Compressed Liquid*)

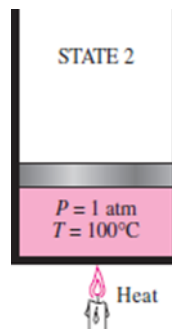
Untuk memudahkan dalam menjelaskan proses ini maka lihat pada Gambar 3 dimana sebuah alat berupa torak dan silinder yang berisi air pada 20°C dan tekanan 1 atm. Pada kondisi ini, air berada pada fase cair tekan karena temperatur dari air tersebut masih dibawah temperatur saturasi air pada saat tekanan 1 atm. Kemudian kalor mulai ditambahkan kedalam air sehingga terjadi kenaikan temperatur. Seiring dengan kenaikan temperatur tersebut maka air secara perlahan berekspansi dan volume spesifiknya meningkat. Karena ekspansi ini maka piston juga secara perlahan mulai bergerak naik. Tekanan didalam silinder konstan selama proses karena didasarkan pada tekanan atmosfer dari luar dan berat dari torak.



Gambar 2.17 Air pada Fase Cair Tekan (*Compressed Liquid*)
(Sumber: Cengel & Boles, 2009)

2.8.2 Cair Jenuh (*Saturated Liquid*)

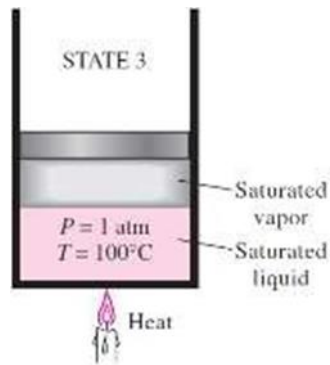
Dengan semakin bertambahnya jumlah kalor yang dimasukkan kedalam silinder maka temperatur akan naik hingga mencapai 100°C. Pada titik ini air masih dalam fase cair, tetapi sedikit saja ada penambahan kalor maka sebagian dari air tersebut akan berubah menjadi uap. Kondisi ini disebut dengan cair jenuh (*saturation liquid*) seperti digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 2.18 Air pada Fase Cair Jenuh (*Saturated Liquid*)
(Sumber: Cengel & Boles, 2009)

2.8.3 Campuran Air-Uap (*Liquid-Vapor Mixture*)

Saat pendidihan berlangsung, tidak terjadi kenaikan temperatur sampai cairan seluruhnya berubah menjadi uap. Temperatur akan tetap konstan selama proses perubahan fase jika temperatur juga dijaga konstan. Pada proses ini volume fluida didalam silinder meningkat karena perubahan fase yang terjadi, volume spesifik uap lebih besar daripada cairan. Sehingga menyebabkan torak terdorong keatas. Kondisi ini dapat digambarkan pada Gambar 2.20.



Gambar 2.19 Campuran Air dan Uap (*Liquid-Vapor Mixture*)
(Sumber: Cengel & Boles, 2009)

2.8.4 Uap Jenuh (*Saturated Vapor*)

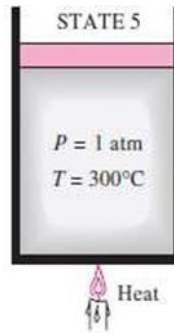
Jika kalor terus ditambahkan, maka proses penguapan akan terus berlangsung sampai seluruh cairan berubah menjadi uap, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.21. Sedangkan jika sedikit saja terjadi pengurangan kalor maka akan menyebabkan uap terkondensasi.



Gambar 2.20 Uap Jenuh (*Saturated Vapor*)
(Sumber: Cengel & Boles, 2009)

2.8.5 Uap Panas Lanjut (*Superheated Vapor*)

Setelah fluida didalam silinder dalam kondisi uap jenuh maka jika kalor kembali ditambahkan dan tekanan dijaga konstan pada 1 atm, temperatur uap akan meningkat seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Kondisi tersebut dinamakan uap panas lanjut (*superheated vapor*) karena temperatur uap didalam silinder diatas temperatur saturasi dari uap pada tekanan 1 atm yaitu 100°C.



Gambar 2.21 Uap Panas Lanjut (*Superheated Vapor*)
(Sumber: Cengel & Boles, 2009)

2.9 Tabel Properti

Properti dari suatu zat biasanya ditampilkan dalam bentuk tabel. Properti termodinamika dapat diukur dengan mudah, tetapi ada yang tidak bisa langsung melainkan harus dihitung terlebih dahulu. Untuk masing-masing zat, properti termodinamika ditampilkan lebih dari satu tabel. Pemisahan tabel tersebut dipersiapkan untuk masing-masing daerah seperti *superheated vapor*, *compressed liquid* serta *saturated* (Ii & Pustaka, 1977).

Properti dari cair jenuh dan uap jenuh pada air dapat dilihat pada tabel 2.2 dan lampiran 2.3 Kedua tabel tersebut memberikan informasi yang sama, perbedaannya pada tabel 2.2 diurutkan berdasarkan temperatur sedangkan pada tabel 2.3 diurutkan berdasarkan tekanan.

$$h_f = \text{enthalpy pada cair jenuh}$$

$$h_g = \text{enthalpy pada uap jenuh}$$

$$h_{fg} = \text{selisih antara } h_g \text{ dan } h_f \text{ (} h_{fg} = h_g - h_f \text{)}$$

2.10 Metode Analisis Efisiensi Boiler

Efisiensi merupakan suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Untuk efisiensi pada *boiler* atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau yang diserap oleh fluida kerja di dalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar.

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada skripsi ini adalah metode langsung.

Terdapat dua metode analisis efisiensi *boiler* :

1. Metode Langsung

Energi yang didapat dari fluida kerja (air dan *steam*) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar *boiler*. Metodologi ini dikenal juga sebagai, metode *input-output*' karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran/*output* (*steam*) dan panas masuk/*input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi (*Pravitasari et al., 2017*).

$$\text{Efisiensi Boiler} = \frac{\text{panas keluar}}{\text{panas masuk}} \times 100\% \quad (2.1)$$

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{\dot{m}_{\text{steam}} \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_{\text{fuel}} \times \text{LHV}} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keuntungan metode langsung :

- Pekerja pabrik dapat dengan cepat mengevaluasi efisiensi *boiler*
- Memerlukan sedikit parameter untuk perhitungan
- Memerlukan sedikit instrumen untuk pemantauan
- Mudah membandingkan rasio penguapan dengan data *benchmark*

Kerugian metode langsung :

- Tidak memberikan petunjuk kepada operator tentang penyebab dari efisiensi sistem yang lebih rendah
- Tidak menghitung berbagai kehilangan yang berpengaruh pada berbagai tingkat efisiensi.

2. Metode Tidak Langsung

Metode tidak langsung juga dikenal dengan metode kehilangan panas. Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangi bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut: (*Kharisma & Budiman, 2020*)

$$\text{Efisiensi boiler } (n) = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)$$

$$\eta = \left[100 - \left\{ \frac{L1 + L2 + L3 + L4 + L5 - B1}{Hf \times 100 + L6} \right\} \right] \times \left\{ \frac{Q_{ro}}{Q_{ro} - B2} \right\} \quad (2.3)$$

dimana,

η : Efisiensi thermal *boiler* berdasarkan HHV (*fuel efficiency*) (%).

- L1 : Kerugian panas karena gas buang kering (J/kg-fuel).
- L2 : Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) pada bahan bakar (J/kg-fuel).
- L3 : Kerugian panas karena kandungan air (*moisture*) dari pembakaran hidrogen pada bahan bakar (J/kg-fuel).
- L4 : Kerugian panas karena *moisture* pada udara (J/kg-fuel).
- L5 : Kerugian panas karena pembakaran karbon yang tidak sempurna (J/kg-fuel).
- L6 : Kerugian panas karena radiasi dan konveksi (%) (berdasarkan ABMA). H_f : HHV bahan bakar (J/kg-fuel).
- B1 : Heat credits (kebutuhan udara kering, panas sensibel pada bahan bakar, *moisture* yang masuk melalui udara). (J/kg-fuel)
- B2 : Konsumsi daya pada *pulverizer*, *Boiler Circulation Pump* (BCP), Air preheater (J/hr).
- Qro : Keluaran panas boiler (J/hr).

Dimana kehilangan yang terjadi dalam *boiler* adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh :

1. Gas cerobong yang kering
2. Penguapan air yang terbentuk karena H_2 dalam bahan bakar
3. Penguapan kadar air dalam bahan bakar
4. Adanya kadar air dalam udara pembakaran
5. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *fly ash*
6. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ *bottom ash*
7. Radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan.

Data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi *boiler* dengan menggunakan metode tidak langsung adalah :

- a) Analisis ultimate bahan bakar (H_2 , O_2 , S, C, kadar air, kadar abu)
- b) Persentase oksigen atau CO_2 dalam gas buang
- c) Suhu gas buang dalam $^{\circ}C$ (T_f)

- d) Suhu awal dalam °C (T_a) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
- e) LHV bahan bakar dalam kkal/kg
- f) Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
- g) LHV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)

Keuntungan metode tidak langsung :

Diketahui neraca bahan dan energi yang lengkap untuk setiap aliran, yang dapat memudahkan dalam mengidentifikasi opsi-opsi untuk meningkatkan efisiensi *boiler*.

Kerugian metode tidak langsung :

- a) Perlu waktu lama
- b) Memerlukan fasilitas laboratorium untuk analisis. Untuk penyusunan skripsi ini penulis menganalisa dengan metode langsung, dimana penulis mengambil data secara langsung dilapangan meliputi :

1. *Steam pressure superheater* (bar)
2. Temperatur *feed tank* (°C)
3. Temperatur daerator (°C)
4. Temperatur *out let steam* (°C)
5. *Steam flow* (ton uap/jam)

2.11 Nilai Kalor

Besarnya entalphy reaksi dapat dinyatakan dengan kalor pembakaran atau disebut juga nilai kalor. Nilai kalor dari bahan bakar menurut Sneedan dan Kerr (1969) adalah energi yang dapat dibebaskan selama proses pembakaran yang komplek dari sejumlah bahan bakar. Nilai kalor ini dapat diukur sebagai nilai kalor kotor (*gross calorific value*) dan nilai kalor netto (*nett calorivic value*). Nilai kalor kotor mengasumsikan seluruh uap air yang dihasilkan selama proses pembakaran sepenuhnya terkondensasi menjadi cair. Sedangkan nilai kalor netto mengasumsikan air yang keluar dari produk pembakaran tidak sepenuhnya terkondensasi.

Menurut Koesoemadinata (1980), nilai kalor bahan bakar adalah jumlah panas yang dihasilkan atau ditimbulkan oleh suatu gram bahan bakar tersebut dengan meningkatkan temperatur 1 gr air dari 3,50 C – 4,50 C, dengan satuan

kalori. Dengan kata lain nilai kalor adalah besarnya panas yang diperoleh dari pembakaran suatu jumlah tertentu bahan bakar. Semakin tinggi berat jenis bahan bakar, maka semakin tinggi nilai kalor yang diperolehnya.

Dikenal dua jenis pembakaran, yaitu :

1. Nilai Kalor Pembakaran Tinggi

Nilai kalor pembakaran tinggi atau juga dikenal dengan istilah *High Heating Value* (HHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan air dari proses pembakaran ikut diperhitungkan sebagai panas dari proses pembakaran. Dirumuskan dengan: (Barus & Fachrydzi, 2010)

$$HHV = 33950C + 144200(H_2 - O_2 / 8) + 9400Skjkg \quad (2.4)$$

2. Nilai Kalor Pembakaran Rendah

Nilai kalor pembakaran rendah atau juga dikenal dengan istilah *Low Heating Value* (LHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan uap air dari hasil pembakaran tidak ikut dihitung sebagai panas dari proses pembakaran. Dirumuskan dengan: (Barus & Fachrydzi, 2010)

$$LHV = HHV - 2400(M + 9H_2)kj / kg \quad (2.5)$$

2.12 Kebutuhan Udara Pembakaran

Kebutuhan udara pembakaran didefinisikan sebagai kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk pembakaran 1 kg bahan bakar secara sempurna: (Sinaga, 2015)

a. Kebutuhan udara teoritis (U_t)

$$U_t = 11,5C + 34,5(H - O/8) + 4,32Skj / kgBB \quad (2.6)$$

b. Kebutuhan udara pembakaran sebenarnya/aktual (U_s)

$$U_s = U_t(1 + \alpha)kg / kgBB \quad (2.7)$$

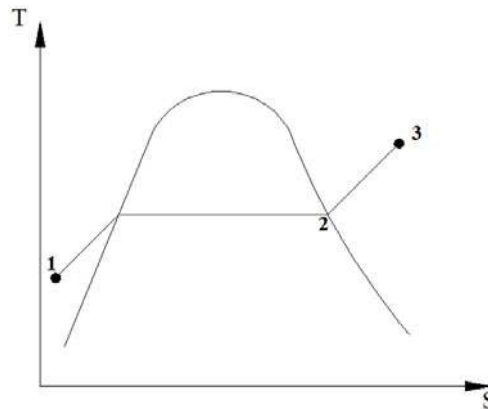
2.13 Volume Gas Asap

Jumlah oksigen yang ada di atmosfer ada sebanyak 20,95% . jadi $V(O_2) = 20,95\% (V_a) act$; belum termasuk oksigen yang terkandung di bahan bakar. Dengan demikian maka volume gas asap basah adalah :

$$V_g = \frac{1,866C + 0,7S}{0,11} 1,24(9H_2)m^3 / kgBB \quad (2.8)$$

2.14 Proses Pembentukan Uap

Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan menjadi uap. apabila air di panaskan maka suhu air akan naik, naiknya suhu air akan mengakibatkan meningkatnya kecepatan gerak molekul air. Jika di panaskan terus menerus secara perlahan, maka kecepatan gerak air akan semakin meningkat pula, dan sampai pada titik dimana molekul-molekul air akan mampu melepaskan diri dari lingkungannya (100°C) pada tekanan 1[kg/cm²], maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap (Batubara, 2014).



Gambar 2.22 Diagram T-s

Keterangan :

1-2 : Pipa-pipa *evaporator* pipa penguap

2-3 : Pipa-pipa *superheater*

1-3 : Proses pemanasan air dan uap pada ketel uap

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat

Tempat pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Jl. Gunung Krakatau No.204, Pulo Brayan Darat I, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20239.

3.1.2 Waktu Penelitian

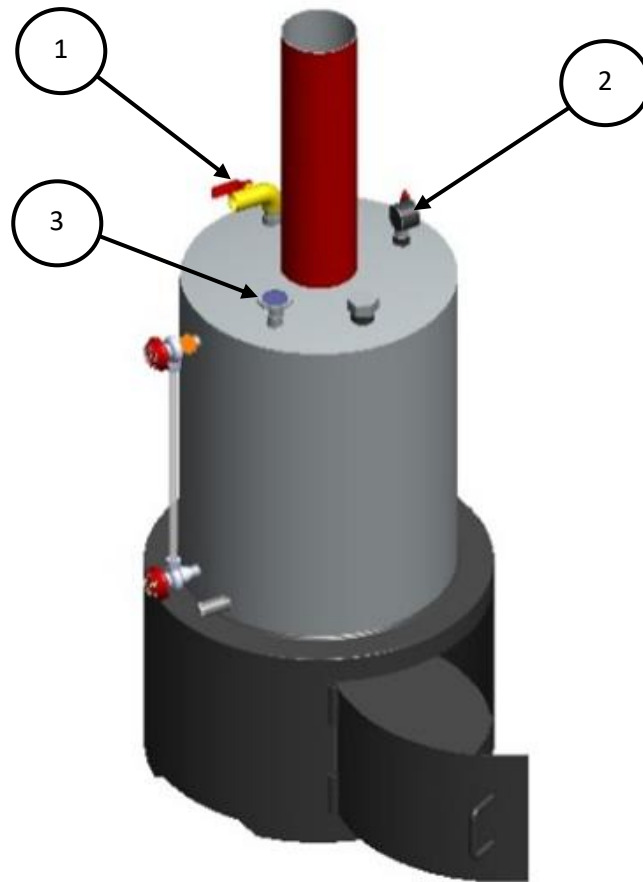
Waktu pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian dilakukan dilakukan sejak tanggal usulan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

| No | Kegiatan | Waktu (Bulan) | | | | | |
|----|-----------------|---------------|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | Study Literatur | | | | | | |
| | Desain | | | | | | |
| 2 | Pembuatan Alat | | | | | | |
| | Dan Pengujian | | | | | | |
| 3 | Pengambilan | | | | | | |
| | Data | | | | | | |
| 4 | Analisa Data | | | | | | |
| 5 | Seminar Hasil | | | | | | |
| 6 | Sidang Sarjana | | | | | | |

3.2 Alat dan Bahan

Pada eksperimen ini yang akan dicari adalah Laju konsumsi bahan bakar, Laju aliran massa uap, dan Efisiensi pada mini *boiler* pipa api vertikal. Mini *boiler* yang digunakan seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Mini *Boiler*

Untuk pengambilan data pada eksperimen ini diperoleh dari komponen dan alat ukur yang ada pada mini *boiler* pada gambar diatas. Diimana ditunjukkan komponen dan alat ukur yang akan digunakan dalam penelitian ini. Berikut komponen dan alat ukur yang digunakan pada gambar 3.1.

1. Katup uap untuk keluar uap.
2. *Pressure Gauge* untuk mengukur tekanan dalam drum *boiler*.
3. Thermometer untuk mengukur temperatur uap.

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan sebagai berikut:

1. Thermometer

Thermometer maksimal pengukuran 200°C dan 400°F, Digunakan untuk mengukur suhu uap pada *boiler*.



Gambar 3.2 Thermometer

2. Pressure Gauge

Pressure Gauge tekanan maksimal 2,5 bar dan 35 psi, Digunakan untuk mengukur tekanan uap di dalam ketel.



Gambar 3.3 *Pressure Gauge*

3. Drum 40 liter

Drum ini berkapasitas 40 liter digunakan untuk mengukur berapa banyak air yang akan di masukkan ke dalam *boiler*.



Gambar 3.4 Drum 40 liter

4. Timbangan

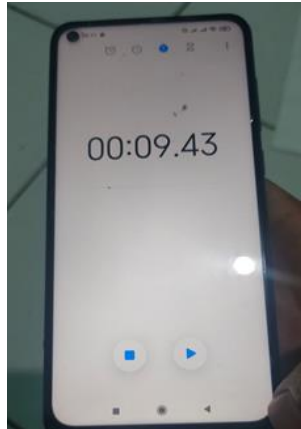
Timbangan berkapasitas 150 kg yang setiap garis nya naik 0,5 kg, Di gunakan untuk menimbang berapa massa air dan bahan bakar yang akan digunakan untuk eksperimen.



Gambar 3.5 Timbangan

5. *Stopwatch*

Untuk mengukur lamanya waktu pemanasan mini *boiler* dan mengukur lamanya uap yang keluar dari mini *boiler*.



Gambar 3.6 Stopwatch

6. Termokopel

Thermokopel 4 channel tipe K HT-9815 LS, Untuk mengukur temperature air masuk.



Gambar 3.7 Termokopel

7. Kunci Inggris

Untuk membuka dan menutup tutup air masuk dan air keluar.



Gambar 3.8 Kunci inggris

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah data yang diperoleh dari eksperimen. Adapun bahan yang digunakan sebagai berikut:

1. Air



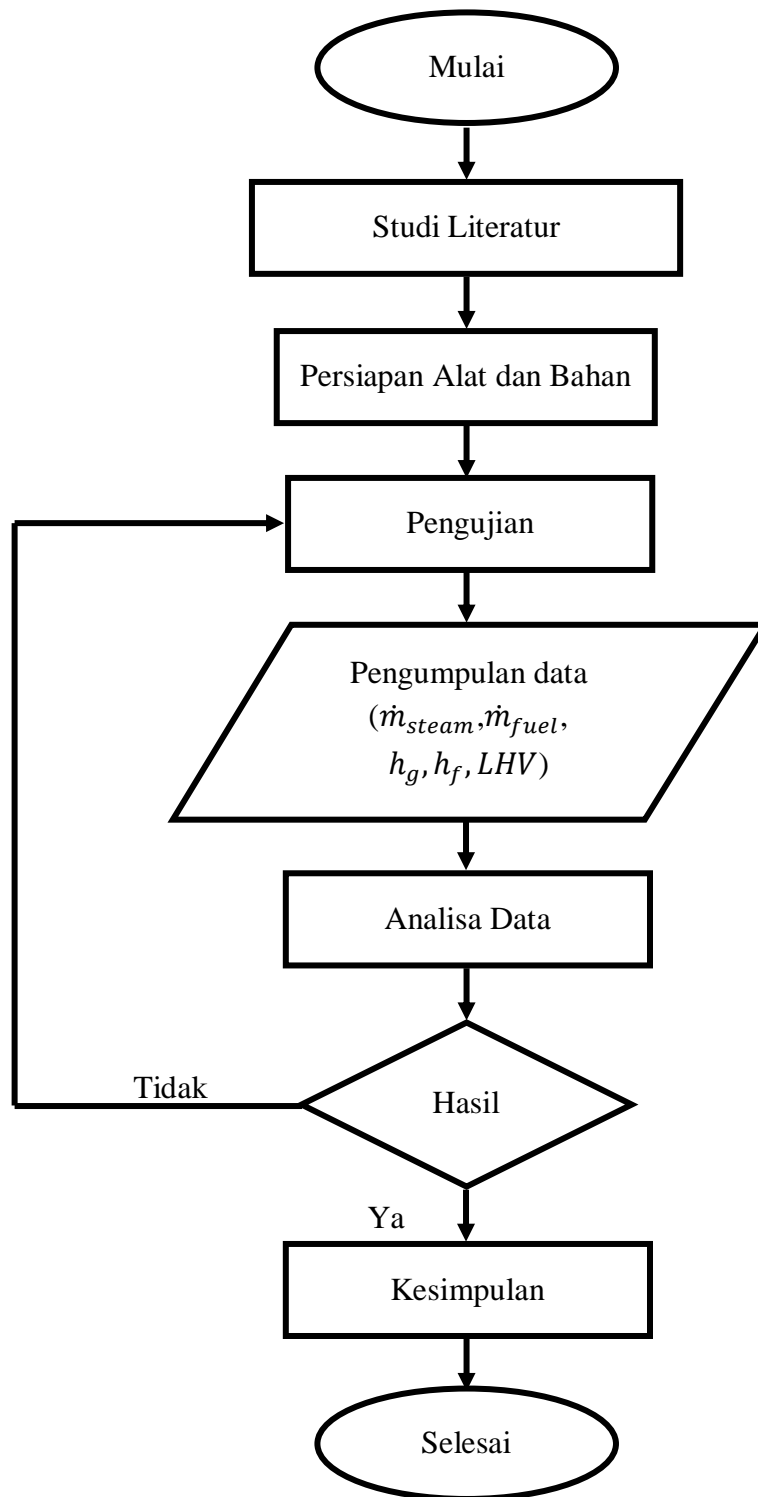
Gambar 3.9 Air

2. Cangkang Sawit



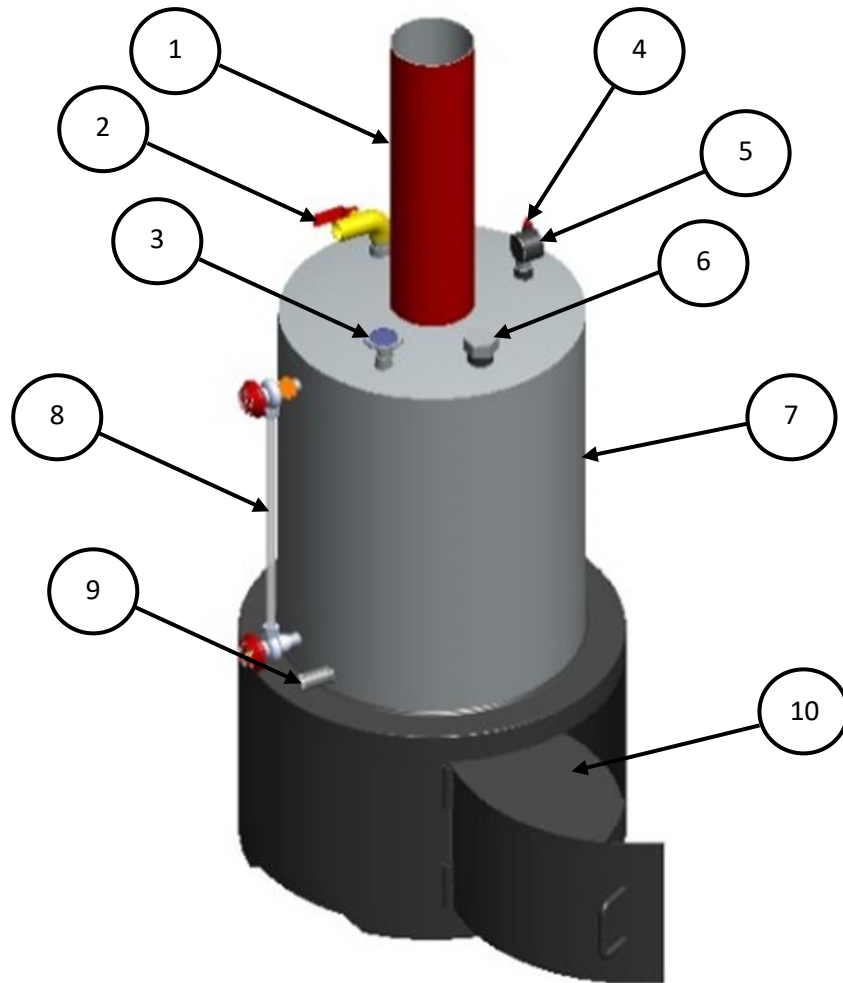
Gambar 3.10 Cangkang Sawit

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.11 Bagan Alir Penelitian

3.4 Skema Alat Penelitian



Gambar 3.12 Skema Mini Boiler

Keterangan :

1. Cerobong asap (*Chimney*)
2. Katup Uap
3. Thermometer
4. *Safety Valve*
5. *Pressure Gauge*
6. Pipa Air Masuk
7. Drum Mini Boiler
8. Gelas Penduga
9. Pipa Air Keluar
10. Ruang Bakar

3.5 Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen (*experimental study*). Data yang dikumpulkan adalah data primer dari hasil eksperimen dan didukung data sekunder. Data primer yang dikumpulkan adalah data pengujian *steam water* dan bahan bakar. data pengujian *steam water* mencakup kapasitas produksi uap (kg/jam) dan kualitas uap (tekanan dan suhu) yang dihasilkan, bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar biomassa yaitu cangkang sawit. Data bahan bakar biomassa didapatkan dari studi literatur sebagai data sekunder.

Kapasitas Mini *Boiler* dianalisis berdasarkan hasil dari air yang menjadi uap persatuan waktu, (kg/jam). Untuk mengukur efisiensi dilakukan dengan metode langsung (*output-input*) (Hanifah et al., 2019).

Prosedur set up alat dan pengambilan data pengujian mini *boiler* yaitu :

1. Menimbang massa air yang akan di masukkan ke dalam drum mini *boiler*. Gantungkan ember ketimbangan lalu *setting* timbangan ke angka nol setelah itu masukkan air kedalam ember sebanyak 30 kg pada setiap percobaan.



Gambar 3.13 Menimbang air

2. Menimbang massa bahan bakar yang akan digunakan. Gantungkan ember ketimbangan lalu *setting* timbangan ke angka nol setelah itu masukkan bahan bakar kedalam ember sebanyak 15 kg pada setiap percobaan.



Gambar 3.14 Menimbang bahan bakar

3. Masukkan air yang sudah ditimbang ke dalam drum *boiler*, lalu berikan seltip pada ulir lubang masuk air setelah itu tutup lubang masuk air dengan menggunakan kunci inggris.



Gambar 3.15 Memasukkan air

4. Tutup katup pada gelas ukur, dan tandai tinggi air pada gelas ukur untuk mengetahui tinggi air pada volume yang dipakai.



Gambar 3.16 Menutup katup gelas ukur

5. Setelah itu siapkan set up alat untuk pengambilan data seperti *pressure gauge*, *thermometer*, *stopwatch*, dan alat tulis untuk mencatat data. Pencatatan data dilakukan setiap 5 menit sampai total pengukuran 60 menit.



Gambar 3.17 Set up alat

6. Masukkan bahan bakar kedalam ruang bakar, lalu nyalakan api untuk membakar bahan bakar dan nyalakan blower untuk kebutuhan udara di ruang bakar, bahan bakar di masukkan secara bertahap ke ruang pembakaran agar terjadi proses pemanasan. Pada tahap ini di lakukan sampai mencapai tekanan yang di variasikan 1,5 bar dan 2 bar.



Gambar 3.18 Memasukkan bahan bakar

7. Hidupkan stopwatch pada awal nyala api untuk mengukur berapa lama proses pemanasan terjadi. Pada tahap ini dilakukan pada setiap variasi tekanan.



Gambar 3.19 Menghidupkan stopwatch

8. Setelah tekanan uap mencapai pada tekanan yang divariasikan (1,5 bar & 2 bar), katup pengeluaran uap dibuka, dan di catat sebagai awal pengukuran suhu dan tekanan uap. Gunakan stopwatch untuk pengukuran dan pencatatan suhu dan tekanan uap dilakukan setiap 5 menit sampai total pengukuran selama 60 menit.



Gambar 3.20 Membuka katup uap

9. Total bahan bakar yang digunakan diukur dengan menimbang sisa bahan bakar yang tersisa, dan jumlah uap yang dihasilkan diukur dari jumlah air yang berkurang. Pada tahap ini dilakukan pada setiap variasi tekanan.



Gambar 3.21 Menimbang sisa bahan bakar

BAB 4

HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Data Hasil Pengujian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen (*experimental study*). Ketika tekanan yang ingin di variasikan tercapai yaitu 1,5 bar dan 2 bar. katup pengeluaran dibuka, dan setiap 5 menit tekanan dan temperatur dicatat sampai total pengukuran selama 60 menit. Total bahan bakar yang digunakan diukur dengan menimbang sisa bahan bakar yang tersisa. Jumlah uap yang dihasilkan di ukur dari jumlah air yang berkurang pada mini *boiler*.

4.2 Bahan Bakar *Boiler*

Bahan bakar yang digunakan pada *boiler* adalah cangkang sawit dengan komposisi :

Tabel 4.1 Komposisi Bahan Bakar Cangkang

| No. | Komposisi | Cangkang Sawit (%) |
|-----|----------------------------|--------------------|
| 1 | Karbon (C) | 51,14 |
| 2 | Hydrogen (H ₂) | 3,36 |
| 3 | Oksigen (O ₂) | 43,3 |
| 4 | Nitrogen (N ₂) | 1,65 |
| 5 | Sulfur (S) | 0 |
| 6 | Kadar abu (Ash) | 0,5 |

(Sumber: PT Shamrock Manufacturing Corpora)

4.2.1 Perhitungan Nilai Kalor Tinggi (*High Heating Value/HHV*)

$$HHV = 33950C + 144200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400S \text{ kJ/kg}$$

$$HHV = 33950(0,5114) + 144200 \left(0,0336 - \frac{0,433}{8} \right) + 9400(0) \text{ kJ/kg}$$

$$HHV = 17362,03 + 144200(0,0336 - 0,054125) + 0 \text{ kJ/kg}$$

$$HHV = 17362,03 + 144200(-0,020525) + 0 \text{ kJ/kg}$$

$$HHV = 17362,03 + (-2959,705) + 0 \text{ kJ/kg}$$

$$HHV = 14402,325 \text{ kJ/kg}$$

4.2.2 Perhitungan Nilai Kalor Rendah (*Low Heating Value/LHV*)

$$LHV = HHV - 2411(M + 9H_2) \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 14402,325 - 2411(0,075 + 9(0,0336)) \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 14402,325 - 2411(0,075 + 0,3024) \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 14402,325 - 2411(0,3774) \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 14402,325 - 909,9114 \text{ kJ/kg}$$

$$LHV = 13492,4136 \text{ kJ/kg}$$

4.3 Perhitungan Laju Aliran Massa Bahan Bakar

4.3.1 Perhitungan Bakar Pada Tekanan 1,5 bar

a. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 1

$$\text{Diketahui : } m_{total} = 15 \text{ kg}$$

$$m_{sisa} = 7,5 \text{ kg}$$

$$t = 98 \text{ menit} = 1,63333 \text{ jam}$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$m_{terpakai} = m_{total} - m_{sisa}$$

$$= 15 - 7,5$$

$$= 7,5 \text{ kg}$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{m_{terpakai}}{t}$$

$$= \frac{7,5}{1,63333}$$

$$= 4,5918 \text{ kg/jam}$$

b. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 2

$$\text{Diketahui : } m_{total} = 15 \text{ kg}$$

$$m_{\text{sisia}} = 7,55\text{kg}$$

$$t = 96\text{menit} = 1,6\text{jam}$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$\begin{aligned}m_{\text{terpakai}} &= m_{\text{total}} - m_{\text{sisia}} \\ &= 15 - 7,55 \\ &= 7,45\text{kg}\end{aligned}$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{fuel}} &= \frac{m_{\text{terpakai}}}{t} \\ &= \frac{7,45}{1,6} \\ &= 4,5625\text{kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

c. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 3

$$\text{Diketahui : } m_{\text{total}} = 15\text{kg}$$

$$m_{\text{sisia}} = 7,4\text{kg}$$

$$t = 95\text{menit} = 1,58333\text{jam}$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$\begin{aligned}m_{\text{terpakai}} &= m_{\text{total}} - m_{\text{sisia}} \\ &= 15 - 7,4 \\ &= 7,6\text{kg}\end{aligned}$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{fuel}} &= \frac{m_{\text{terpakai}}}{t} \\ &= \frac{7,6}{1,58333} \\ &= 4,8\text{kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

4.3.2 Perhitungan Pada tekanan 2 bar

a. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 1

$$\text{Diketahui : } m_{total} = 15kg$$

$$m_{sisa} = 3,7kg$$

$$t = 105menit = 1,75 jam$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$m_{terpakai} = m_{total} - m_{sisa}$$

$$= 15 - 3,7$$

$$= 11,3kg$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{m_{terpakai}}{t}$$

$$= \frac{11,3}{1,75}$$

$$= 6,457kg / jam$$

b. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 2

$$\text{Diketahui : } m_{total} = 15kg$$

$$m_{sisa} = 4kg$$

$$t = 104menit = 1,73333 jam$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$m_{terpakai} = m_{total} - m_{sisa}$$

$$= 15 - 4$$

$$= 11kg$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{m_{terpakai}}{t}$$

$$= \frac{11}{1,73333}$$

$$= 6,346kg / jam$$

c. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 3

$$\text{Diketahui : } m_{total} = 15kg$$

$$m_{sisa} = 4kg$$

$$t = 103menit = 1,71667 jam$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$m_{terpakai} = m_{total} - m_{sisa}$$

$$= 15 - 4$$

$$= 11kg$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{m_{terpakai}}{t}$$

$$= \frac{11}{1,71667}$$

$$= 6,4077kg / jam$$

4.4 Perhitungan Laju Aliran Massa Uap

Untuk jumlah uap yang dihasilkan di ukur dari jumlah air yang berkurang selama 1 jam proses pemanasan ini dilakukan pada setiap tekanan.

4.4.1 Perhitungan Pada Tekanan 1,5 bar

a. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 1

$$\text{Diketahui : } m_{awal} = 30kg$$

$$m_{akhir} = 25kg$$

$$t = 60menit = 1jam$$

Massa air yang menjadi uap :

$$\begin{aligned}
 m_{\text{terpakai}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}} \\
 &= 30 - 25 \\
 &= 5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Laju aliran massa uap :

$$\dot{m}_{\text{steam}} = \frac{m_{\text{terpakai}}}{t} = \frac{5}{1} = 5 \text{ kg / jam}$$

b. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 2

$$\text{Diketahui : } m_{\text{awal}} = 30 \text{ kg}$$

$$m_{\text{akhir}} = 25,25 \text{ kg}$$

$$t = 60 \text{ menit} = 1 \text{ jam}$$

Massa air yang menjadi uap :

$$\begin{aligned}
 m_{\text{terpakai}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}} \\
 &= 30 - 25,25 \\
 &= 4,75 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Laju aliran massa uap :

$$\dot{m}_{\text{steam}} = \frac{m_{\text{terpakai}}}{t} = \frac{4,75}{1} = 4,75 \text{ kg / jam}$$

c. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 3

$$\text{Diketahui : } m_{\text{awal}} = 30 \text{ kg}$$

$$m_{\text{akhir}} = 24,75 \text{ kg}$$

$$t = 60 \text{ menit} = 1 \text{ jam}$$

Massa air yang menjadi uap :

$$\begin{aligned}
 m_{\text{terpakai}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}} \\
 &= 30 - 24,75 \\
 &= 5,25 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Laju aliran massa uap :

$$\dot{m}_{steam} = \frac{m_{terpakai}}{t} = \frac{5,25}{1} = 5,25 \text{ kg / jam}$$

4.4.2 Perhitungan Pada Tekanan 2 bar

a. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 1

$$\text{Diketahui : } m_{awal} = 30 \text{ kg}$$

$$m_{akhir} = 23 \text{ kg}$$

$$t = 60 \text{ menit} = 1 \text{ jam}$$

Massa air yang menjadi uap :

$$\begin{aligned} m_{terpakai} &= m_{awal} - m_{akhir} \\ &= 30 - 23 \\ &= 7 \text{ kg} \end{aligned}$$

Laju aliran massa uap :

$$\dot{m}_{steam} = \frac{m_{terpakai}}{t} = \frac{7}{1} = 7 \text{ kg / jam}$$

b. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 2

$$\text{Diketahui : } m_{awal} = 30 \text{ kg}$$

$$m_{akhir} = 23,5 \text{ kg}$$

$$t = 60 \text{ menit} = 1 \text{ jam}$$

Massa air yang menjadi uap :

$$\begin{aligned} m_{terpakai} &= m_{awal} - m_{akhir} \\ &= 30 - 23,5 \\ &= 6,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Laju aliran massa uap :

$$\dot{m}_{steam} = \frac{m_{terpakai}}{t} = \frac{6,5}{1} = 6,5kg / jam$$

c. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 3

Diketahui : $m_{awal} = 30kg$

$$m_{akhir} = 23,25kg$$

$$t = 60menit = 1jam$$

Massa air yang menjadi uap :

$$\begin{aligned} m_{terpakai} &= m_{awal} - m_{akhir} \\ &= 30 - 23,25 \\ &= 6,75kg \end{aligned}$$

Laju aliran massa uap :

$$\dot{m}_{fuel} = \frac{m_{terpakai}}{t} = \frac{6,75}{1} = 6,75kg / jam$$

4.5 Perhitungan Efisiensi Mini Boiler

Untuk menghitung efisiensi Mini Boiler digunakan berdasarkan perbandingan antara konsumsi panas dengan suplai panas yang digunakan.

4.5.1 Perhitungan Pada Tekanan 1,5 bar

a. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 1

Diketahui : $\dot{m}_{steam} = 5kg / jam$

$$\dot{m}_{fuel} = 4,59184kg / jam$$

$$T_{air} = 27,7^{\circ}C$$

$$P = 1,5bar$$

$$LHV = 13492,4136kj / kg$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel temperatur) :

Enthaphy air pada suhu 27,7°C

$$h_f = 114,504 \text{ kJ/kg}$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel tekanan) :

Enthalphy pada tekanan 1,5 bar

$$h_g = 2693,6 \text{ kJ/kg}$$

Maka efisiensi berdasarkan data diatas :

$$\eta = \frac{\dot{m}_{steam} \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_{fuel} \times LHV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5 \times (2693,6 - 114,504)}{4,59184 \times 13492,4136} \times 100\%$$

$$\eta = 0,2081 \times 100\%$$

$$\eta = 20,81\%$$

b. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 2

Diketahui : $\dot{m}_{steam} = 4,75 \text{ kg/jam}$

$$\dot{m}_{fuel} = 4,5625 \text{ kg/jam}$$

$$T_{air} = 27,7^\circ\text{C}$$

$$P = 1,5 \text{ bar}$$

$$LHV = 13492,4136 \text{ kJ/kg}$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel temperatur) :

Enthalphy air pada suhu 27,7°C

$$h_f = 114,504 \text{ kJ/kg}$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel tekanan) :

Enthalphy pada tekanan 1,5 bar

$$h_g = 2693,6 \text{ kJ/kg}$$

Maka efisiensi berdasarkan data diatas :

$$\eta = \frac{\dot{m}_{steam} \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_{fuel} \times LHV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{4,75 \times (2693,6 - 114,504)}{4,5625 \times 13492,4136} \times 100\%$$

$$\eta = 0,199 \times 100\%$$

$$\eta = 19,9\%$$

c. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 3

Diketahui : $\dot{m}_{steam} = 5,25 \text{ kg / jam}$

$$\dot{m}_{fuel} = 4,8 \text{ kg / jam}$$

$$T_{air} = 27,7^\circ\text{C}$$

$$P = 1,5 \text{ bar}$$

$$LHV = 13492,4136 \text{ kJ / kg}$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel temperatur) :

Enthalpy air pada suhu $27,7^\circ\text{C}$

$$h_f = 114,504 \text{ kJ / kg}$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel tekanan) :

Enthalpy pada tekanan 1,5 bar

$$h_g = 2693,6 \text{ kJ / kg}$$

Maka efisiensi berdasarkan data diatas :

$$\eta = \frac{\dot{m}_{steam} \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_{fuel} \times LHV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{5,25 \times (2693,6 - 114,504)}{4,8 \times 13492,4136} \times 100\%$$

$$\eta = 0,209 \times 100\%$$

$$\eta = 20,9\%$$

4.5.2 Perhitungan Pada Tekanan 2 bar

a. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 1

Diketahui : $\dot{m}_{steam} = 7 \text{ kg / jam}$

$$\dot{m}_{fuel} = 6,457 \text{ kg / jam}$$

$$T_{air} = 27,7^{\circ}C$$

$$P = 2bar$$

$$LHV = 13492,4136kj/kg$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel temperatur) :

Enthalpy air pada suhu 27,7°C

$$h_f = 114,504kj/kg$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel tekanan) :

Enthalpy pada tekanan 1,5 bar

$$h_g = 2706,7kj/kg$$

Maka efisiensi berdasarkan data diatas :

$$\eta = \frac{\dot{m}_{steam} \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_{fuel} \times LHV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{7 \times (2706,7 - 114,504)}{6,457 \times 13492,4136} \times 100\%$$

$$\eta = 0,2082 \times 100\%$$

$$\eta = 20,82\%$$

b. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 2

Diketahui : $\dot{m}_{steam} = 6,5kg/jam$

$$\dot{m}_{fuel} = 6,346kg/jam$$

$$T_{air} = 27,7^{\circ}C$$

$$P = 2bar$$

$$LHV = 13492,4136kj/kg$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel temperatur) :

Enthalpy air pada suhu 27,7°C

$$h_f = 114,504kj/kg$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel tekanan) :

Enthalpy pada tekanan 1,5 bar

$$h_g = 2706,7kj/kg$$

Maka efisiensi berdasarkan data diatas :

$$\eta = \frac{\dot{m}_{steam} \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_{fuel} \times LHV} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{6,5 \times (2706,7 - 114,504)}{6,346 \times 13492,4136} \times 100\%$$

$$\eta = 0,1967 \times 100\%$$

$$\eta = 19,67\%$$

c. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 3

Diketahui : $\dot{m}_{steam} = 6,75 \text{ kg / jam}$

$$\dot{m}_{fuel} = 6,407 \text{ kg / jam}$$

$$T_{air} = 27,7^\circ\text{C}$$

$$P = 2 \text{ bar}$$

$$LHV = 13492,4136 \text{ kJ / kg}$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel temperatur) :

Enthalpy air pada suhu $27,7^\circ\text{C}$

$$h_f = 114,504 \text{ kJ / kg}$$

Dapat di lihat pada lampiran tabel uap jenuh (tabel tekanan) :

Enthalpy pada tekanan 1,5 bar

$$h_g = 2706,7 \text{ kJ / kg}$$

Maka efisiensi berdasarkan data diatas :

$$\eta = \frac{\dot{m}_{steam} \times (h_g - h_f)}{\dot{m}_{fuel} \times LHV} \times 100\%$$

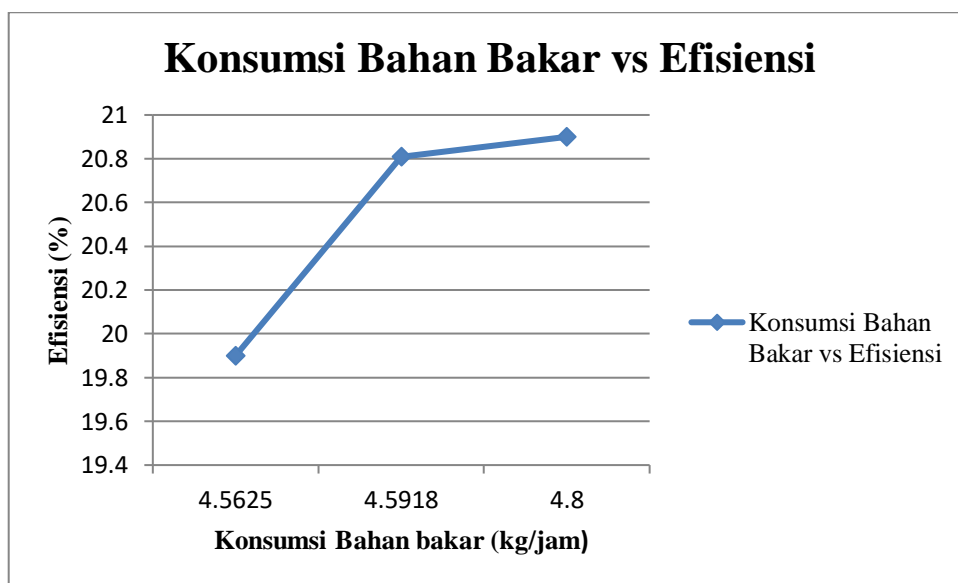
$$\eta = \frac{6,75 \times (2706,7 - 114,504)}{6,4077 \times 13492,4136} \times 100\%$$

$$\eta = 0,2023 \times 100\%$$

$$\eta = 20,23\%$$

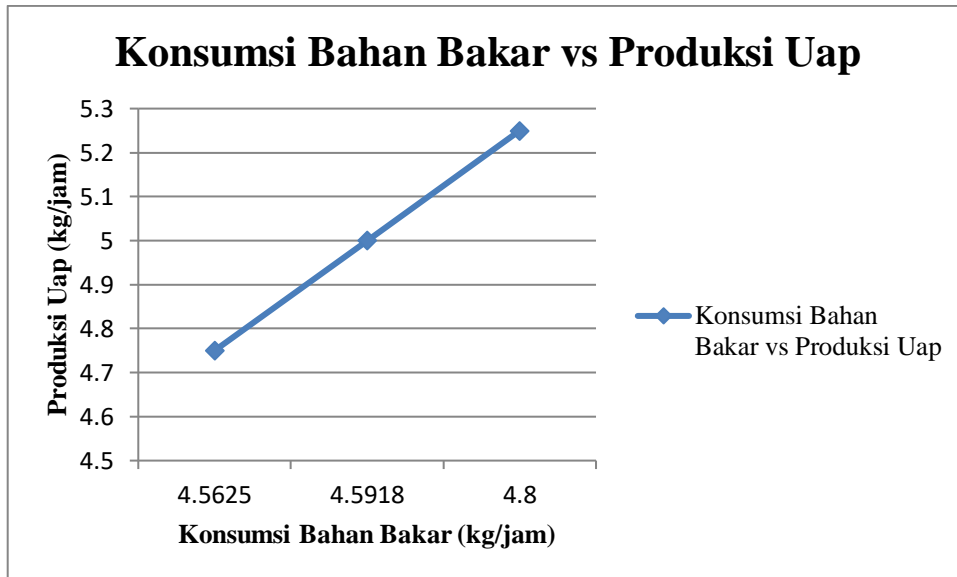
Tabel 4.2 Hasil Analisa Data

| Tekanan (bar) | \dot{m}_{fuel} (kg/jam) | \dot{m}_{steam} (kg/jam) | Efisiensi (%) |
|---------------|---------------------------|----------------------------|---------------|
| 1,5 | 4,5625 | 4,75 | 19,9 |
| | 4,5918 | 5 | 20,81 |
| | 4,8 | 5,25 | 20,9 |
| 2 | 6,346 | 6,5 | 19,67 |
| | 6,4077 | 6,75 | 20,23 |
| | 6,457 | 7 | 20,82 |



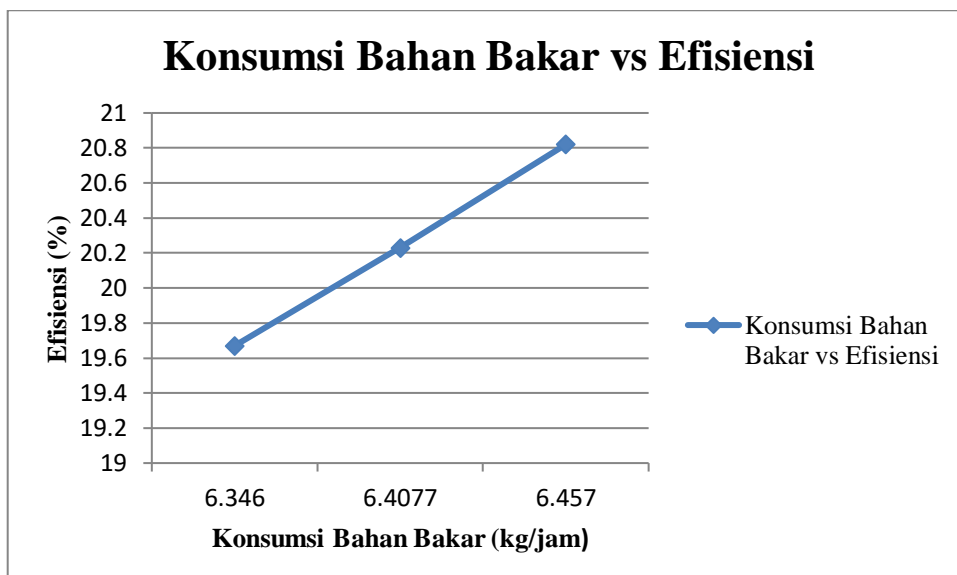
Gambar 4.1 Grafik hubungan Konsumsi Bahan Bakar dengan Efisiensi pada tekanan 1,5 bar

Berdasarkan gambar 4.1 diatas, dapat disimpulkan bahwa hubungan laju konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan efisiensi mini boiler. Jadi semakin besar jumlah laju konsumsi bahan bakar maka semakin besar efisiensi mini boiler. Hal ini disebabkan karena jumlah laju konsumsi bahan bakar pada setiap percobaan mengalami kenaikan.



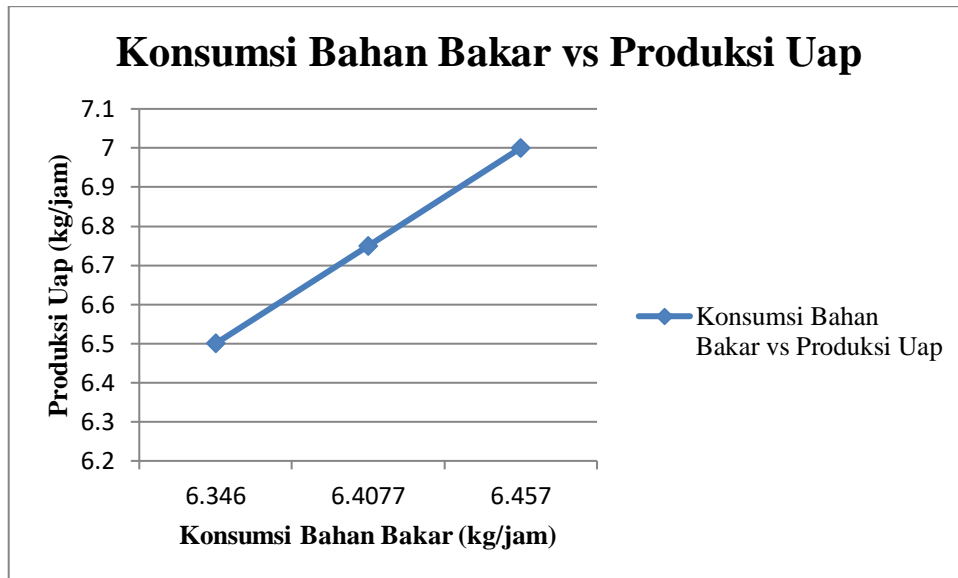
Gambar 4.2 Grafik hubungan Konsumsi Bahan Bakar dengan Produksi Uap pada tekanan 1,5 bar

Berdasarkan gambar 4.3 diatas, dapat disimpulkan bahwa hubungan laju konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan jumlah uap yang dihasilkan mini boiler. Jadi semakin besar jumlah laju konsumsi bahan bakar maka semakin besar produksi uap yang dihasilkan mini *boiler*. Hal ini disebabkan karena jumlah laju konsumsi bahan bakar pada setiap percobaan mengalami kenaikan.



Gambar 4.3 Grafik hubungan Konsumsi Bahan Bakar dengan Efisiensi pada tekanan 2 bar

Berdasarkan gambar 4.2 diatas, dapat disimpulkan bahwa hubungan laju konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan efisiensi mini boiler. Jadi semakin besar jumlah laju konsumsi bahan bakar maka semakin besar efisiensi mini *boiler*. Hal ini disebabkan karena jumlah laju konsumsi bahan bakar pada setiap percobaan mengalami kenaikan.



Gambar 4.4 Grafik hubungan Konsumsi Bahan Bakar dengan Produksi Uap pada tekanan 2 bar

Berdasarkan gambar 4.4 diatas, dapat disimpulkan bahwa hubungan laju konsumsi bahan bakar berbanding lurus dengan jumlah uap yang dihasilkan mini boiler. Jadi semakin besar jumlah konsumsi bahan bakar maka semakin besar produksi uap yang dihasilkan mini *boiler*. Hal ini disebabkan karena jumlah laju konsumsi bahan bakar pada setiap percobaan mengalami kenaikan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan ananlisa yang telah dilakaukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal, antara lain :

1. Nilai efisiensi mini *boiler* terendah yang dihasilkan sebesar 19,9 % dan nilai efisiensi mini *boiler* tertinggi yang dihasilkan sebesar 20,9% pada tekanan 1,5 bar. Nilai efisiensi mini *boiler* terendah yang dihasilkan sebesar 19,67 % dan nilai efisiensi mini *boiler* tertinggi yang dihasilkan sebesar 20,82 % pada tekanan 2 bar.
2. Hubungan Laju aliran massa bahan bakar berbanding lurus dengan efisiensi mini *boiler*.
3. Hubungan Laju aliran massa bahan bakar berbanding lurus dengan Laju aliran massa uap.

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang bisa di buat peneliti untuk meningkatkan efisiensi sebagai berikut :

1. Untuk lebih meningkatkan efisiensi sebaiknya memanfaatkan gas buang dari pembakaran untuk memanaskan air umpan.
2. Ditambahkan pompa air untuk memasukkan air kedalam *boiler*.
3. Ditambahkan Blower hisap untuk panas dari ruang bakar lebih merata melewati pipa api.

DAFTAR PUSTAKA

- Apit Fathurohman, S. Pd., M. S. (2015). *Cara Membuat Boiler Pipa Api Sederhana*.
- Barus, A., & Fachrydzi, M. (2010). *Perhitungan Kebutuhan Bahan Bakar Cangkang Sawit Dan Tongkol Jagung Pada Unit Thermal Oil Heater Di PT Shamrock Manufacturing Corpora*. 201–206.
- Batubara, P. (2014). *Analisa efisiensi water tube boiler berbahan bakar fiber dan cangkang di Palm Oil Mill dengan kapasitas 45 Ton Tbs/Jam*.
- Cengel, & Boles, M. (2009). *Termodinámica*, sexta edición, 2009. *McGraw Hill*, capitulo 6, 287, 282, 281, 283, 292, 296, 297, 299. https://www.academia.edu/34082660/Termodinamica_Yunus_A_Cengel_Michael_A_Boles_Sexta_Edicion
- Donda, Silalahi, M., & Fransisco, Y. (2019). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit sebagai Arang Aktif dalam Adsorpsi Minyak Goreng Bekas. *Ready Star*, 2(1), 74–78.
- Hanifah, U., Susanti, N. D., & Andrianto, M. (2019). *Kinerja Mini Boiler Tipe Pipa Api 3 Pass Berbahan Bakar Biomassa Pelet Kayu dan Tempurung Kelapa*. 39(3), 200–206.
- Hidayanto, S. (2016). *Analisa Performa Water Tube Boiler Kapasitas 115 Ton/Jam di PT Pertamina Refinery Unit VI Balongan Indramayu*. *Skripsi. Semarang : UNNES*.
- Ii, B. A. B., & Pustaka, T. (1977). (Sumber: *Pudjanarso dan Nursuhud*, 2006). 5–34.
- Kharisma, A. A., & Budiman, A. (2020). Perhitungan Efisiensi (Efficiency) Mesin Boiler Jenis Fire-Tube Menggunakan Metode Direct dan Indirect untuk Produk Butiran-Butiran Pelet. *UG Journal*, 14, 23–31.
- Mohammad Aziz M. (2017). Perancangan Siklus Rankine Organik Untuk Pemanfaatan Gas Buang Pada PLTU di Indonesia. *Jurnal Rekayasa Hijau*, 1(2), 176–183.
- 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. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v4i1.50>
- Pravitasari, Y., Malino, M. B., & Novitasari, M. (2017). Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung. *Prisma Fisika*, 5(01), 9–12.
- S, E. R. C. (2017). *Analisis energi dan exergi beberapa bahan bakar biomassa untuk penggunaan pada boiler*.
- Sinaga, R. D. (2015). *Skripsi Skripsi yang Diajukan untuk Melengkapi Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik OLEH :*
- Sugiharto, A. (2020). Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 10(2), 51–57. <https://doi.org/10.37525/sp/2020-2/260>
- Umurani, K., & Muharnif, M. (2019). Pengaruh Diameter Lubang Pembangkit Vorteks Winglet Melengkung Terhadap Unjuk Kerja Apk Tipe Kompak Studi Eksperimental. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 2(1), 84–93. <https://doi.org/10.30596/rmme.v2i1.3072>

LAMPIRAN

Sifat uap jenuh : Tabel Temperatur

(Sumber : Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro, 2006)

| Temp. °C | Press. bar | Specific Volume m ³ /kg | | Internal Energy kJ/kg | | Enthalpy kJ/kg | | | Entropy kJ/kg · K | | Temp. °C |
|-------------|---------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------|
| | | Sat. Liquid $v_f \times 10^3$ | Sat. Vapor v_g | Sat. Liquid u_f | Sat. Vapor u_g | Sat. Liquid h_f | Evap. h_{fg} | Sat. Vapor h_g | Sat. Liquid s_f | Sat. Vapor s_g | |
| .01 | 0.00611 | 1.0002 | 206.136 | 0.00 | 2375.3 | 0.01 | 2501.3 | 2501.4 | 0.0000 | 9.1562 | .01 |
| 4 | 0.00813 | 1.0001 | 157.232 | 16.77 | 2380.9 | 16.78 | 2491.9 | 2508.7 | 0.0610 | 9.0514 | 4 |
| 5 | 0.00872 | 1.0001 | 147.120 | 20.97 | 2382.3 | 20.98 | 2489.6 | 2510.6 | 0.0761 | 9.0257 | 5 |
| 6 | 0.00935 | 1.0001 | 137.734 | 25.19 | 2383.6 | 25.20 | 2487.2 | 2512.4 | 0.0912 | 9.0003 | 6 |
| 8 | 0.01072 | 1.0002 | 120.917 | 33.59 | 2386.4 | 33.60 | 2482.5 | 2516.1 | 0.1212 | 8.9501 | 8 |
| 10 | 0.01228 | 1.0004 | 106.379 | 42.00 | 2389.2 | 42.01 | 2477.7 | 2519.8 | 0.1510 | 8.9008 | 10 |
| 11 | 0.01312 | 1.0004 | 99.857 | 46.20 | 2390.5 | 46.20 | 2475.4 | 2521.6 | 0.1658 | 8.8765 | 11 |
| 12 | 0.01402 | 1.0005 | 93.784 | 50.41 | 2391.9 | 50.41 | 2473.0 | 2523.4 | 0.1806 | 8.8524 | 12 |
| 13 | 0.01497 | 1.0007 | 88.124 | 54.60 | 2393.3 | 54.60 | 2470.7 | 2525.3 | 0.1953 | 8.8285 | 13 |
| 14 | 0.01598 | 1.0008 | 82.848 | 58.79 | 2394.7 | 58.80 | 2468.3 | 2527.1 | 0.2099 | 8.8048 | 14 |
| 15 | 0.01705 | 1.0009 | 77.926 | 62.99 | 2396.1 | 62.99 | 2465.9 | 2528.9 | 0.2245 | 8.7814 | 15 |
| 16 | 0.01818 | 1.0011 | 73.333 | 67.18 | 2397.4 | 67.19 | 2463.6 | 2530.8 | 0.2390 | 8.7582 | 16 |
| 17 | 0.01938 | 1.0012 | 69.044 | 71.38 | 2398.8 | 71.38 | 2461.2 | 2532.6 | 0.2535 | 8.7351 | 17 |
| 18 | 0.02064 | 1.0014 | 65.038 | 75.57 | 2400.2 | 75.58 | 2458.8 | 2534.4 | 0.2679 | 8.7123 | 18 |
| 19 | 0.02198 | 1.0016 | 61.293 | 79.76 | 2401.6 | 79.77 | 2456.5 | 2536.2 | 0.2823 | 8.6897 | 19 |
| 20 | 0.02339 | 1.0018 | 57.791 | 83.95 | 2402.9 | 83.96 | 2454.1 | 2538.1 | 0.2966 | 8.6672 | 20 |
| 21 | 0.02487 | 1.0020 | 54.514 | 88.14 | 2404.3 | 88.14 | 2451.8 | 2539.9 | 0.3109 | 8.6450 | 21 |
| 22 | 0.02645 | 1.0022 | 51.447 | 92.32 | 2405.7 | 92.33 | 2449.4 | 2541.7 | 0.3251 | 8.6229 | 22 |
| 23 | 0.02810 | 1.0024 | 48.574 | 96.51 | 2407.0 | 96.52 | 2447.0 | 2543.5 | 0.3393 | 8.6011 | 23 |
| 24 | 0.02985 | 1.0027 | 45.883 | 100.70 | 2408.4 | 100.70 | 2444.7 | 2545.4 | 0.3534 | 8.5794 | 24 |
| 25 | 0.03169 | 1.0029 | 43.360 | 104.88 | 2409.8 | 104.89 | 2442.3 | 2547.2 | 0.3674 | 8.5580 | 25 |
| 26 | 0.03363 | 1.0032 | 40.994 | 109.06 | 2411.1 | 109.07 | 2439.9 | 2549.0 | 0.3814 | 8.5367 | 26 |
| 27 | 0.03567 | 1.0035 | 38.774 | 113.25 | 2412.5 | 113.25 | 2437.6 | 2550.8 | 0.3954 | 8.5156 | 27 |
| 28 | 0.03782 | 1.0037 | 36.690 | 117.42 | 2413.9 | 117.43 | 2435.2 | 2552.6 | 0.4093 | 8.4946 | 28 |
| 29 | 0.04008 | 1.0040 | 34.733 | 121.60 | 2415.2 | 121.61 | 2432.8 | 2554.5 | 0.4231 | 8.4739 | 29 |
| 30 | 0.04246 | 1.0043 | 32.894 | 125.78 | 2416.6 | 125.79 | 2430.5 | 2556.3 | 0.4369 | 8.4533 | 30 |
| 31 | 0.04496 | 1.0046 | 31.165 | 129.96 | 2418.0 | 129.97 | 2428.1 | 2558.1 | 0.4507 | 8.4329 | 31 |
| 32 | 0.04759 | 1.0050 | 29.540 | 134.14 | 2419.3 | 134.15 | 2425.7 | 2559.9 | 0.4644 | 8.4127 | 32 |
| 33 | 0.05034 | 1.0053 | 28.011 | 138.32 | 2420.7 | 138.33 | 2423.4 | 2561.7 | 0.4781 | 8.3927 | 33 |
| 34 | 0.05324 | 1.0056 | 26.571 | 142.50 | 2422.0 | 142.50 | 2421.0 | 2563.5 | 0.4917 | 8.3728 | 34 |
| 35 | 0.05628 | 1.0060 | 25.216 | 146.67 | 2423.4 | 146.68 | 2418.6 | 2565.3 | 0.5053 | 8.3531 | 35 |
| 36 | 0.05947 | 1.0063 | 23.940 | 150.85 | 2424.7 | 150.86 | 2416.2 | 2567.1 | 0.5188 | 8.3336 | 36 |
| 38 | 0.06632 | 1.0071 | 21.602 | 159.20 | 2427.4 | 159.21 | 2411.5 | 2570.7 | 0.5458 | 8.2950 | 38 |
| 40 | 0.07384 | 1.0078 | 19.523 | 167.56 | 2430.1 | 167.57 | 2406.7 | 2574.3 | 0.5725 | 8.2570 | 40 |
| 45 | 0.09593 | 1.0099 | 15.258 | 188.44 | 2436.8 | 188.45 | 2394.8 | 2583.2 | 0.6387 | 8.1648 | 45 |

(Lanjutan)

| Temp. °C | Press. bar | Specific Volume m ³ /kg | | Internal Energy kJ/kg | | Enthalpy kJ/kg | | | Entropy kJ/kg · K | | Temp. °C |
|-------------|---------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------|
| | | Sat. Liquid $v_f \times 10^3$ | Sat. Vapor v_g | Sat. Liquid u_f | Sat. Vapor u_g | Sat. Liquid h_f | Evap. h_{fg} | Sat. Vapor h_g | Sat. Liquid s_f | Sat. Vapor s_g | |
| 50 | .1235 | 1.0121 | 12.032 | 209.32 | 2443.5 | 209.33 | 2382.7 | 2592.1 | .7038 | 8.0763 | 50 |
| 55 | .1576 | 1.0146 | 9.568 | 230.21 | 2450.1 | 230.23 | 2370.7 | 2600.9 | .7679 | 7.9913 | 55 |
| 60 | .1994 | 1.0172 | 7.671 | 251.11 | 2456.6 | 251.13 | 2358.5 | 2609.6 | .8312 | 7.9096 | 60 |
| 65 | .2503 | 1.0199 | 6.197 | 272.02 | 2463.1 | 272.06 | 2346.2 | 2618.3 | .8935 | 7.8310 | 65 |
| 70 | .3119 | 1.0228 | 5.042 | 292.95 | 2469.6 | 292.98 | 2333.8 | 2626.8 | .9549 | 7.7553 | 70 |
| 75 | .3858 | 1.0259 | 4.131 | 313.90 | 2475.9 | 313.93 | 2321.4 | 2635.3 | 1.0155 | 7.6824 | 75 |
| 80 | .4739 | 1.0291 | 3.407 | 334.86 | 2482.2 | 334.91 | 2308.8 | 2643.7 | 1.0753 | 7.6122 | 80 |
| 85 | .5783 | 1.0325 | 2.828 | 355.84 | 2488.4 | 355.90 | 2296.0 | 2651.9 | 1.1343 | 7.5445 | 85 |
| 90 | .7014 | 1.0360 | 2.361 | 376.85 | 2494.5 | 376.92 | 2283.2 | 2660.1 | 1.1925 | 7.4791 | 90 |
| 95 | .8455 | 1.0397 | 1.982 | 397.88 | 2500.6 | 397.96 | 2270.2 | 2668.1 | 1.2500 | 7.4159 | 95 |
| 100 | 1.014 | 1.0435 | 1.673 | 418.94 | 2506.5 | 419.04 | 2257.0 | 2676.1 | 1.3069 | 7.3549 | 100 |
| 110 | 1.433 | 1.0516 | 1.210 | 461.14 | 2518.1 | 461.30 | 2230.2 | 2691.5 | 1.4185 | 7.2387 | 110 |
| 120 | 1.985 | 1.0603 | 0.8919 | 503.50 | 2529.3 | 503.71 | 2202.6 | 2706.3 | 1.5276 | 7.1296 | 120 |
| 130 | 2.701 | 1.0697 | 0.6685 | 546.02 | 2539.9 | 546.31 | 2174.2 | 2720.5 | 1.6344 | 7.0269 | 130 |
| 140 | 3.613 | 1.0797 | 0.5089 | 588.74 | 2550.0 | 589.13 | 2144.7 | 2733.9 | 1.7391 | 6.9299 | 140 |
| 150 | 4.758 | 1.0905 | 0.3928 | 631.68 | 2559.5 | 632.20 | 2114.3 | 2746.5 | 1.8418 | 6.8379 | 150 |
| 160 | 6.178 | 1.1020 | 0.3071 | 674.86 | 2568.4 | 675.55 | 2082.6 | 2758.1 | 1.9427 | 6.7502 | 160 |
| 170 | 7.917 | 1.1143 | 0.2428 | 718.33 | 2576.5 | 719.21 | 2049.5 | 2768.7 | 2.0419 | 6.6663 | 170 |
| 180 | 10.02 | 1.1274 | 0.1941 | 762.09 | 2583.7 | 763.22 | 2015.0 | 2778.2 | 2.1396 | 6.5857 | 180 |
| 190 | 12.54 | 1.1414 | 0.1565 | 806.19 | 2590.0 | 807.62 | 1978.8 | 2786.4 | 2.2359 | 6.5079 | 190 |
| 200 | 15.54 | 1.1565 | 0.1274 | 850.65 | 2595.3 | 852.45 | 1940.7 | 2793.2 | 2.3309 | 6.4323 | 200 |
| 210 | 19.06 | 1.1726 | 0.1044 | 895.53 | 2599.5 | 897.76 | 1900.7 | 2798.5 | 2.4248 | 6.3585 | 210 |
| 220 | 23.18 | 1.1900 | 0.08619 | 940.87 | 2602.4 | 943.62 | 1858.5 | 2802.1 | 2.5178 | 6.2861 | 220 |
| 230 | 27.95 | 1.2088 | 0.07158 | 986.74 | 2603.9 | 990.12 | 1813.8 | 2804.0 | 2.6099 | 6.2146 | 230 |
| 240 | 33.44 | 1.2291 | 0.05976 | 1033.2 | 2604.0 | 1037.3 | 1766.5 | 2803.8 | 2.7015 | 6.1437 | 240 |
| 250 | 39.73 | 1.2512 | 0.05013 | 1080.4 | 2602.4 | 1085.4 | 1716.2 | 2801.5 | 2.7927 | 6.0730 | 250 |
| 260 | 46.88 | 1.2755 | 0.04221 | 1128.4 | 2599.0 | 1134.4 | 1662.5 | 2796.6 | 2.8838 | 6.0019 | 260 |
| 270 | 54.99 | 1.3023 | 0.03564 | 1177.4 | 2593.7 | 1184.5 | 1605.2 | 2789.7 | 2.9751 | 5.9301 | 270 |
| 280 | 64.12 | 1.3321 | 0.03017 | 1227.5 | 2586.1 | 1236.0 | 1543.6 | 2779.6 | 3.0668 | 5.8571 | 280 |
| 290 | 74.36 | 1.3656 | 0.02557 | 1278.9 | 2576.0 | 1289.1 | 1477.1 | 2766.2 | 3.1594 | 5.7821 | 290 |
| 300 | 85.81 | 1.4036 | 0.02167 | 1332.0 | 2563.0 | 1344.0 | 1404.9 | 2749.0 | 3.2534 | 5.7045 | 300 |
| 320 | 112.7 | 1.4988 | 0.01549 | 1444.6 | 2525.5 | 1461.5 | 1238.6 | 2700.1 | 3.4480 | 5.5362 | 320 |
| 340 | 145.9 | 1.6379 | 0.01080 | 1570.3 | 2464.6 | 1594.2 | 1027.9 | 2622.0 | 3.6594 | 5.3357 | 340 |
| 360 | 186.5 | 1.8925 | 0.006945 | 1725.2 | 2351.5 | 1760.5 | 720.5 | 2481.0 | 3.9147 | 5.0526 | 360 |
| 374.14 | 220.9 | 3.155 | 0.003155 | 2029.6 | 2029.6 | 2099.3 | 0 | 2099.3 | 4.4298 | 4.4298 | 374.14 |

Sifat uap jenuh : Tabel Tekanan

(Sumber : Michael J. Moran dan Howard N. Shapiro, 2006)

| Press. bar | Temp. °C | Specific Volume m ³ /kg | | Internal Energy kJ/kg | | Enthalpy kJ/kg | | | Entropy kJ/kg · K | | Press. bar |
|---------------|-------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|
| | | Sat. Liquid $v_f \times 10^3$ | Sat. Vapor v_g | Sat. Liquid u_f | Sat. Vapor u_g | Sat. Liquid h_f | Evap. h_{fg} | Sat. Vapor h_g | Sat. Liquid s_f | Sat. Vapor s_g | |
| 0.04 | 28.96 | 1.0040 | 34.800 | 121.45 | 2415.2 | 121.46 | 2432.9 | 2554.4 | 0.4226 | 8.4746 | 0.04 |
| 0.06 | 36.16 | 1.0064 | 23.739 | 151.53 | 2425.0 | 151.53 | 2415.9 | 2567.4 | 0.5210 | 8.3304 | 0.06 |
| 0.08 | 41.51 | 1.0084 | 18.103 | 173.87 | 2432.2 | 173.88 | 2403.1 | 2577.0 | 0.5926 | 8.2287 | 0.08 |
| 0.10 | 45.81 | 1.0102 | 14.674 | 191.82 | 2437.9 | 191.83 | 2392.8 | 2584.7 | 0.6493 | 8.1502 | 0.10 |
| 0.20 | 60.06 | 1.0172 | 7.649 | 251.38 | 2456.7 | 251.40 | 2358.3 | 2609.7 | 0.8320 | 7.9085 | 0.20 |
| 0.30 | 69.10 | 1.0223 | 5.229 | 289.20 | 2468.4 | 289.23 | 2336.1 | 2625.3 | 0.9439 | 7.7686 | 0.30 |
| 0.40 | 75.87 | 1.0265 | 3.993 | 317.53 | 2477.0 | 317.58 | 2319.2 | 2636.8 | 1.0259 | 7.6700 | 0.40 |
| 0.50 | 81.33 | 1.0300 | 3.240 | 340.44 | 2483.9 | 340.49 | 2305.4 | 2645.9 | 1.0910 | 7.5939 | 0.50 |
| 0.60 | 85.94 | 1.0331 | 2.732 | 359.79 | 2489.6 | 359.86 | 2293.6 | 2653.5 | 1.1453 | 7.5320 | 0.60 |
| 0.70 | 89.95 | 1.0360 | 2.365 | 376.63 | 2494.5 | 376.70 | 2283.3 | 2660.0 | 1.1919 | 7.4797 | 0.70 |
| 0.80 | 93.50 | 1.0380 | 2.087 | 391.58 | 2498.8 | 391.66 | 2274.1 | 2665.8 | 1.2329 | 7.4346 | 0.80 |
| 0.90 | 96.71 | 1.0410 | 1.869 | 405.06 | 2502.6 | 405.15 | 2265.7 | 2670.9 | 1.2695 | 7.3949 | 0.90 |
| 1.00 | 99.63 | 1.0432 | 1.694 | 417.36 | 2506.1 | 417.46 | 2258.0 | 2675.5 | 1.3026 | 7.3594 | 1.00 |
| 1.50 | 111.4 | 1.0528 | 1.159 | 466.94 | 2519.7 | 467.11 | 2226.5 | 2693.6 | 1.4336 | 7.2233 | 1.50 |
| 2.00 | 120.2 | 1.0605 | 0.8857 | 504.49 | 2529.5 | 504.70 | 2201.9 | 2706.7 | 1.5301 | 7.1271 | 2.00 |
| 2.50 | 127.4 | 1.0672 | 0.7187 | 535.10 | 2537.2 | 535.37 | 2181.5 | 2716.9 | 1.6072 | 7.0527 | 2.50 |
| 3.00 | 133.6 | 1.0732 | 0.6058 | 561.15 | 2543.6 | 561.47 | 2163.8 | 2725.3 | 1.6718 | 6.9919 | 3.00 |
| 3.50 | 138.9 | 1.0786 | 0.5243 | 583.95 | 2546.9 | 584.33 | 2148.1 | 2732.4 | 1.7275 | 6.9405 | 3.50 |
| 4.00 | 143.6 | 1.0836 | 0.4625 | 604.31 | 2553.6 | 604.74 | 2133.8 | 2738.6 | 1.7766 | 6.8959 | 4.00 |
| 4.50 | 147.9 | 1.0882 | 0.4140 | 622.25 | 2557.6 | 623.25 | 2120.7 | 2743.9 | 1.8207 | 6.8565 | 4.50 |
| 5.00 | 151.9 | 1.0926 | 0.3749 | 639.68 | 2561.2 | 640.23 | 2108.5 | 2748.7 | 1.8607 | 6.8212 | 5.00 |
| 6.00 | 158.9 | 1.1006 | 0.3157 | 669.90 | 2567.4 | 670.56 | 2086.3 | 2756.8 | 1.9312 | 6.7600 | 6.00 |
| 7.00 | 165.0 | 1.1080 | 0.2729 | 696.44 | 2572.5 | 697.22 | 2066.3 | 2763.5 | 1.9922 | 6.7080 | 7.00 |
| 8.00 | 170.4 | 1.1148 | 0.2404 | 720.22 | 2576.8 | 721.11 | 2048.0 | 2769.1 | 2.0462 | 6.6628 | 8.00 |
| 9.00 | 175.4 | 1.1212 | 0.2150 | 741.83 | 2580.5 | 742.83 | 2031.1 | 2773.9 | 2.0946 | 6.6226 | 9.00 |
| 10.0 | 179.9 | 1.1273 | 0.1944 | 761.68 | 2583.6 | 762.81 | 2015.3 | 2778.1 | 2.1387 | 6.5863 | 10.0 |
| 15.0 | 198.3 | 1.1539 | 0.1318 | 843.16 | 2594.5 | 844.84 | 1947.3 | 2792.2 | 2.3150 | 6.4448 | 15.0 |
| 20.0 | 212.4 | 1.1767 | 0.09963 | 906.44 | 2600.3 | 908.79 | 1890.7 | 2799.5 | 2.4474 | 6.3409 | 20.0 |
| 25.0 | 224.0 | 1.1973 | 0.07998 | 959.11 | 2603.1 | 962.11 | 1841.0 | 2803.1 | 2.5547 | 6.2575 | 25.0 |
| 30.0 | 233.9 | 1.2165 | 0.06668 | 1004.8 | 2604.1 | 1008.4 | 1795.7 | 2804.2 | 2.6457 | 6.1869 | 30.0 |
| 35.0 | 242.6 | 1.2347 | 0.05707 | 1045.4 | 2603.7 | 1049.8 | 1753.7 | 2803.4 | 2.7253 | 6.1253 | 35.0 |
| 40.0 | 250.4 | 1.2522 | 0.04978 | 1082.3 | 2602.3 | 1087.3 | 1714.1 | 2801.4 | 2.7964 | 6.0701 | 40.0 |
| 45.0 | 257.5 | 1.2692 | 0.04406 | 1116.2 | 2600.1 | 1121.9 | 1676.4 | 2798.3 | 2.8610 | 6.0199 | 45.0 |
| 50.0 | 264.0 | 1.2859 | 0.03944 | 1147.8 | 2597.1 | 1154.2 | 1640.1 | 2794.3 | 2.9202 | 5.9734 | 50.0 |
| 60.0 | 275.6 | 1.3187 | 0.03244 | 1205.4 | 2589.7 | 1213.4 | 1571.0 | 2784.3 | 3.0267 | 5.8892 | 60.0 |
| 70.0 | 285.9 | 1.3513 | 0.02737 | 1257.6 | 2580.5 | 1267.0 | 1505.1 | 2772.1 | 3.1211 | 5.8133 | 70.0 |
| 80.0 | 295.1 | 1.3842 | 0.02352 | 1305.6 | 2569.8 | 1316.6 | 1441.3 | 2758.0 | 3.2068 | 5.7432 | 80.0 |
| 90.0 | 303.4 | 1.4178 | 0.02048 | 1350.5 | 2557.8 | 1363.3 | 1378.9 | 2742.1 | 3.2858 | 5.6772 | 90.0 |
| 100. | 311.1 | 1.4524 | 0.01803 | 1393.0 | 2544.4 | 1407.6 | 1317.1 | 2724.7 | 3.3596 | 5.6141 | 100. |
| 110. | 318.2 | 1.4886 | 0.01599 | 1433.7 | 2529.8 | 1450.1 | 1255.5 | 2705.6 | 3.4295 | 5.5527 | 110. |

Suhu dan Tekanan Uap

1. Suhu dan tekanan uap pada tekanan 1,5 bar

Percobaan 1

| Waktu t (Menit) | Tekanan P (bar) | Temperature °C T_{uap} |
|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| 5 | 1,1 | 101 |
| 10 | 1,38 | 118 |
| 15 | 1,49 | 123 |
| 20 | 1,48 | 124 |
| 25 | 1,21 | 120 |
| 30 | 1,1 | 116 |
| 35 | 1 | 119 |
| 40 | 1,2 | 120 |
| 45 | 1,48 | 124 |
| 50 | 1,47 | 124 |
| 55 | 1,3 | 121 |
| 60 | 1,09 | 118 |

Percobaan 2

| Waktu t (Menit) | Tekanan P (bar) | Temperature °C T_{uap} |
|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| 5 | 1,2 | 102 |
| 10 | 1,35 | 120 |
| 15 | 1,45 | 123 |
| 20 | 1,48 | 124 |
| 25 | 1,4 | 123 |
| 30 | 1,3 | 120 |
| 35 | 1,2 | 119 |
| 40 | 1,3 | 120 |
| 45 | 1,4 | 124 |
| 50 | 1,43 | 124 |
| 55 | 1,31 | 122 |
| 60 | 1,05 | 117 |

Percobaan 3

| Waktu t (Menit) | Tekanan P (bar) | Temperature °C T_{uap} |
|----------------------------|----------------------------|--|
| 5 | 1,14 | 102 |
| 10 | 1,3 | 116 |
| 15 | 1,4 | 125 |
| 20 | 1,42 | 125 |
| 25 | 1,35 | 120 |
| 30 | 1,2 | 120 |
| 35 | 1,1 | 119 |
| 40 | 1,11 | 119 |
| 45 | 1,4 | 124 |
| 50 | 1,39 | 123 |
| 55 | 1,3 | 121 |
| 60 | 1,07 | 117 |

2. Suhu dan tekanan uap pada tekanan 2 bar

Percobaan 1

| Waktu t (Menit) | Tekanan P (bar) | Temperature °C T_{uap} |
|----------------------------|----------------------------|--|
| 5 | 1,6 | 120 |
| 10 | 1,9 | 129 |
| 15 | 1,65 | 129 |
| 20 | 1,56 | 127 |
| 25 | 1,29 | 123 |
| 30 | 1,25 | 122 |
| 35 | 1,28 | 123 |
| 40 | 1,11 | 120 |
| 45 | 0,9 | 118 |
| 50 | 1 | 119 |
| 55 | 0,85 | 117 |
| 60 | 0,71 | 115 |

Percobaan 2

| Waktu t (Menit) | Tekanan P (bar) | Temperature °C T_{uap} |
|----------------------------|----------------------------|--|
| 5 | 1,9 | 124 |
| 10 | 1,75 | 128 |
| 15 | 1,67 | 128 |
| 20 | 1,85 | 129 |
| 25 | 1,8 | 129 |
| 30 | 1,75 | 125 |
| 35 | 1,9 | 119 |
| 40 | 1,2 | 120 |
| 45 | 1,48 | 124 |
| 50 | 1,47 | 124 |
| 55 | 1,3 | 121 |
| 60 | 1,09 | 118 |

Percobaan 3

| Waktu t (Menit) | Tekanan P (bar) | Temperature °C T_{uap} |
|----------------------------|----------------------------|--|
| 5 | 1,7 | 125 |
| 10 | 1,6 | 124 |
| 15 | 1,65 | 124 |
| 20 | 1,75 | 126 |
| 25 | 1,8 | 128 |
| 30 | 1,85 | 129 |
| 35 | 1,7 | 128 |
| 40 | 1,3 | 120 |
| 45 | 1,29 | 120 |
| 50 | 1,35 | 123 |
| 55 | 1,3 | 121 |
| 60 | 1,03 | 115 |

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

Peserta seminar

Nama : Daffa Taupiqurrahman

NPM : 1707230096

Judul Tugas Akhir : Analisis Efisiensi Mini Boiler Tipe Pipa Api Vertikal Dengan Variasi Tekanan

| DAFTAR HADIR | | TANDA TANGAN | |
|--|------------|--------------------|--------------|
| Pembimbing – I : Riadini Wanty Lubis, ST, MT | | :..... | |
| Pembanding – I : H. Muharnif ST. M.SC | | :..... | |
| Pembanding – II : Khairul Umurani ST. MT | | :..... | |
| No | NPM | Nama Mahasiswa | Tanda Tangan |
| 1 | 1707230110 | Fauzan Akbar | |
| 2 | 1707230107 | Muhammad Reza | |
| 3 | 1707230097 | FACHRUL ALDI | |
| 4 | 1707230098 | Fardiansyah Sinaga | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

Medan, 18 Rajab 1443 H
19 Februari 2022 M

Ketua Prodi. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

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

Nama : Daffa Taupiqurrahman
NPM : 1707230096
Judul Tugas Akhir : Analisis Efisiensi Mini Boiler Tipe Pipa Api Vertikal Dengan Variasi Tekanan

Dosen Pembanding - I : H. Muharnif ST. M. Sc
Dosen Pembanding - II : Khairul Umurani ST. MT
Dosen Pembimbing - I : Riadini Wanty Lubis, ST, MT

KEPUTUSAN

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

.....
Lihat dokumen gambar
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan, 18 Rajab 1443 H
19 Februari 2022 M

Diketahui
Ketua Prodi. Mesin



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I

H. Muharnif ST. M.Sc

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

Nama : Daffa Taupiqurrahman
NPM : 1707230096
Judul Tugas Akhir : Analisis Efisiensi Mini Boiler Tipe Pipa Api Vertikal Dengan Variasi Tekanan

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

KEPUTUSAN

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

.....*dituntun, ditatakn pada buku*.....
.....*dismpsi*.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 18 Rajab 1443 H
19 Februari 2022 M

Diketahui :
Ketua Prodi



Chandra A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II

Khairul Umurani ST. MT



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 [f umsumedan](https://www.facebook.com/umsumedan) [i umsumedan](https://www.instagram.com/umsumedan) [t umsumedan](https://www.youtube.com/umsumedan) [u umsumedan](https://www.youtube.com/umsumedan)

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 732/111.3AU/UMSU-07/F/2021

Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, berdasarkan rekomendasi Atas Nama Ketua Program Studi Teknik Mesin Pada Tanggal 27 April 2021 dengan ini Menetapkan :

Nama : DAFFA TAUPIQURRAHMAN
Npm : 1707230096
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : VIII (DELAPAN)
Judul Tugas Akhir : ANALISIS EFISIENSI MINI *BOILER* TIPE PIPA API VERTIKAL DENGAN VARIASI TEKANAN
Pembimbing : RIADINI WANTY LUBIS, ST, MT

Dengan demikian diizinkan untuk menulis tugas akhir dengan ketentuan :

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

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

Ditetapkan di Medan pada Tanggal.

Medan, 15 Ramadhan 1442 H

27 April 2021 M



Dekan

Munawar Alfansury Siregar, ST., MT

NIDN: 0101017202



LEMBAR ASISTENSI

Nama : Daffa Taupiqurrahman

NPM : 1707230096

Dosen Pembimbing:

Riadini Wanty Lubis, S.T.,M.T

| No | Hari/Tanggal | Kegiatan | Paraf |
|----|----------------|---------------------------------------|-------|
| | 4 - 01 - 2022 | Set-up Alat Uji | Y |
| | 12 - 01 - 2022 | Asistensi Data Pengujian | Y |
| | 17 - 01 - 2022 | Asistensi Analisa Data | Y |
| | 26 - 01 - 2022 | Asistensi Struktur BAB IV | Y |
| | 1 - 02 - 2022 | Asistensi kesimpulan dan Analisa data | Y |
| | 10 - 02 - 2022 | Acc Seminar Harat | Y |

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama : Daffa Taupiqurrahman
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat/ Tanggal Lahir : Dolok Sinumbah/19 April 2000
Alamat : Dolok Sinumbah
Agama : Islam
E-mail : daffataupiq63@gmail.com
No- Handphone : 081397173076

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 059175 Dolok Sinumbah Tahun 2005-2011
2. SMP Negeri 2 Pematangsiantar Tahun 2011-2014
3. SMA Swasta Sultan Agung Pematangsiantar Tahun 2014-2017
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2017-2022