

TUGAS AKHIR
ANALISIS KAPASITAS AIR TERHADAP PRODUKSI UAP
DAN KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA MINI *BOILER* TIPE
PIPA API VERTIKAL

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

Disusun Oleh:

FACHRUL ALDI
1707230097



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fachrul Aldi

NPM : 1707230097

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Kapasitas Air Terhadap Produksi Uap dan
Konsumsi Bahan Bakar Pada Mini *Boiler Tipe Pipa Api*
Vertikal

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



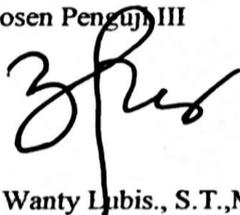
Khairul Umurani, S.T.,M.T

Dosen Penguji II



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

Dosen Penguji III



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

Program Studi Teknik Mesin



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Fachrul Aldi
Tempat /Tanggal Lahir: Medan/10 Juni 1998
NPM : 1707230097
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“ANALISIS KAPASITAS AIR TERHADAP PRODUKSI UAP DAN KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA MINI *BOILER* TIPE PIPA API VERTIKAL”

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 Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 23 Maret 2022

Saya yang menyatakan,



Fachrul Aldi

ABSTRAK

Boiler atau ketel uap adalah alat yang berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap, uap diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar. Uap air adalah sejenis fluida yang merupakan fase gas dari air. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hubungan variasi kapasitas air dengan konsumsi bahan bakar dan produksi uap yang dihasilkan. Metode penelitian yang pertama menimbang volume air dan bahan bakar setelah itu masukkan air ke dalam drum mini *boiler*, kemudian siapkan setup alat untuk pengambilan data seperti *pressure gauge*, termometer, *Stopwatch* dan alat tulis. Selanjutnya masukkan bahan bakar ke dalam ruang bakar dan nyalakan api. Lalu hidupkan *Stopwatch* untuk menghitung konsumsi bahan bakar. Jika tekanan uap sudah mencapai 1,5 bar maka katup pengeluaran uap dibuka, lalu dicatat suhu dan tekanan uapnya. Dan yang terakhir timbang sisa bahan bakar dan sisa air, untuk mengetahui konsumsi bahan bakar dan produksi uap. Nilai produksi uap mini *boiler* tertinggi yang dihasilkan sebesar 5 kg/jam pada 30 liter air dan nilai produksi uap mini *boiler* terendah yang dihasilkan adalah sebesar 4,75 kg/jam pada air 30 liter. Nilai produksi uap mini *boiler* tertinggi yang dihasilkan sebesar 6 kg/jam pada 36 liter air dan nilai produksi uap mini *boiler* terendah yang dihasilkan adalah sebesar 5,5 kg/jam pada air 36 liter. Bahan bakar yang digunakan adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang sawit merupakan produk samping limbah padat dari pengolahan kelapa sawit, abu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan utama SiO_2 .

Kata kunci : Mini *boiler*, kapasitas air, tekanan

ABSTRACT

Boiler or steam boiler is a device in the form of a closed vessel used to produce steam, steam is obtained by heating a vessel filled with water with fuel. Water vapor is a kind of fluid which is the gas phase of water. The purpose of this study was to obtain a relationship between variations in water capacity with fuel consumption and the resulting steam production. The first research method was to weigh the volume of water and fuel after that put water into the mini boiler drum, then prepare a tool setup for data collection such as pressure gauge, thermometer, Stopwatch and stationery. Then put the fuel into the combustion chamber and start the fire. Then turn on the Stopwatch to calculate fuel consumption. If the steam pressure has reached 1.5 bar then the steam exhaust valve is opened, then the temperature and steam pressure are recorded. And lastly, weigh the remaining fuel and remaining water, to determine fuel consumption and steam production. The highest mini boiler steam production value is 5 kg/hour at 30 liters of water and the lowest mini boiler steam production value is 4.75 kg/hour at 30 liters of water. The highest mini boiler steam production value is 6 kg/hour at 36 liters of water and the lowest mini boiler steam production value is 5.5 kg/hour at 36 liters of water. The fuel used is palm oil shells. Palm shells are a by-product of solid waste from palm oil processing, oil palm shell ash has the main content of SiO₂.

Keywords: Mini boiler, water capacity, pressure

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Kapasitas Air Terhadap Produksi Uap dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Mini *Boiler* Tipe pipa Api vertikal” 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 Proposal 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 Khairul Umurani, S.T., M.T selaku dosen Penguji I dan Bapak H. Muharnif, 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., M.T 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: Syahrial dan Naimun Nizar, 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, Daffa taupiqurrahman, Muhammad Fajar Ramadhana, Ferdiansyah Sinaga, Muhammad Firza, Dini Syahputri Siregar dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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, 25 Maret 2022



Fachrul Aldi

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	II
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	III
ABSTRAK	IV
ABSTRACT	V
KATA PENGANTAR	VI
DAFTAR ISI	VIII
DAFTAR TABEL	X
DAFTAR GAMBAR	XI
DAFTAR NOTASI	I
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Boiler</i>	5
2.2 Prinsip kerja <i>boiler</i>	5
2.3 Klasifikasi <i>Boiler</i>	6
2.3.1 Ketel pipa api (<i>fire tube boiler</i>)	6
2.3.2 Ketel pipa air (<i>water tube boiler</i>)	7
2.3.3 Kombinasi <i>Boiler</i> Pipa-Api dengan Pipa-Air <i>Firebox</i>	7
2.4 Komponen <i>Boiler</i>	8
2.5 Sistem <i>Boiler</i>	13
2.6 Air Umpan <i>Boiler</i>	14
2.7 Bahan Bakar	14
2.8 Cangkang Sawit	15
2.9 Perubahan Fase Pada Zat Murni (<i>Compressed Liquid</i>)	16
2.9.1 Cair Tekan (<i>Compressed Liquid</i>)	17
2.9.2 Cair Jenuh (<i>Saturated Liquid</i>)	17
2.9.3 Campuran Air-Uap (<i>Liquid Vapor Mixture</i>)	18
2.9.4 Uap Jenuh (<i>Saturated Vapor</i>)	18
2.9.5 Uap Panas Lanjut (<i>Superheated Vapor</i>)	18
2.10 Siklus Renkine	19
2.11 Proses Pembentukan Uap	20
2.12 Metode Perhitungan	21
2.12.1 Laju massa bahan bakar	21
2.12.2 Laju aliran massa uap	21
BAB 3 METODE PENELITIAN	22
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.1.1 Tempat	22
3.1.2 Waktu penelitian	22

3.2	Alat dan Bahan	23
3.2.1	Alat	24
3.2.2	Bahan	27
3.3	Bagan Alir Penelitian	28
3.4	Rancangan Alat Penelitian	29
3.5	Prosedur Penelitian	30
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		34
4.1	Data Hasil Pengujian	34
4.2	Perhitungan laju Aliran Massa Bahan Bakar	34
4.2.1	Perhitungan Bahan Bakar Pada Air 30 Liter	34
4.2.2	Perhitungan Bahan Bakar Pada Air 36 Liter	36
4.3	Perhitungan laju Aliran Massa Uap	37
4.3.1	Perhitungan Pada Air 30 liter	38
4.3.2	Perhitungan Pada air 36 liter	39
4.4	Grafik Hasil Penelitian	42
4.4.1	Grafik produksi uap dengan kapasitas air	42
4.4.2	Grafik konsumsi bahan bakar dengan kapasitas air	43
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		44
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		
LAMPIRAN 1		
LAMPIRAN 2		
LEMBAR ASISTENSI		
SK PEMBIMBING		
BERITA ACARA SEMINAR HASIL		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Bahan Bakar Cangkang	16
Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	22
Tabel 4.1 Hasil analisa data Pada laju aliran massa	42
Tabel 4.2 Hasil analisa data Pada konsumsi bahan bakar	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ketel pipa api (<i>fire tube boiler</i>)	6
Gambar 2.2 Ketel pipa air (<i>water tube boiler</i>)	7
Gambar 2.3 <i>Boiler</i>	8
Gambar 2.4 Drum	8
Gambar 2.5 Ruang Bakar	9
Gambar 2.6 Pipa pipa api	9
Gambar 2.7 Gelas Penduga	10
Gambar 2.8 Cerobong Asap (<i>Chimney</i>)	10
Gambar 2.9 Katup uap (<i>steamvalve</i>)	11
Gambar 2.10 <i>Safety Valve</i>	11
Gambar 2.11 <i>Thermometer</i>	12
Gambar 2.12 <i>pressure gauge</i>	12
Gambar 2.13 <i>Blower</i>	13
Gambar 2.14 Bahan Bakar Cangkang sawit	15
Gambar 2.15 Air pada Fase Cair Tekan (<i>Compressed Liquid</i>)	17
Gambar 2.16 Air pada Fase Cair Jenuh (<i>Saturated Liquid</i>)	17
Gambar 2.17 Campuran Air dan Uap (<i>Liquid Vapor Mixture</i>)	18
Gambar 2.18 Uap Jenuh (<i>Saturated Vapor</i>)	18
Gambar 2.19 Uap Panas Lanjut (<i>Superheated Vapor</i>)	19
Gambar 2.20 Bagian Alir Siklus Rankine Sederhana	20
Gambar 2.21 Diagram T-s Siklus Rankine Sederhana	20
Gambar 3.1 <i>Mini boiler</i>	23
Gambar 3.2 <i>Thermometer</i>	24
Gambar 3.3 <i>Pressure Gauge</i>	24
Gambar 3.4 Ember	25
Gambar 3.5 <i>Stopwatch</i>	25
Gambar 3.6 Kunci Inggris	26
Gambar 3.7 Timbangan	26
Gambar 3.8 Air	27
Gambar 3.9 Cangkang Sawit	27
Gambar 3.10 Bagan Alir Penelitian	28
Gambar 3.11 Rancangan <i>Mini boiler</i>	29
Gambar 3.12 Menimbang Air	30
Gambar 3.13 Menimbang Massa Bahan Bakar	30
Gambar 3.14 Memasukan Air	32
Gambar 3.15 Setup alat	31
Gambar 3.16 Memasukan Bahan Bakar	32
Gambar 3.17 Menghidupkan <i>Stopwatch</i>	32
Gambar 3.18 Membuka Katup Uap	33
Gambar 3.19 Menimbang Sisa Bahan Bakar	33
Gambar 4.1 Grafik Hubungan kapasitas Air dengan Produksi Uap	42
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Kapasitas Air dengan Konsumsi Bahan Bakar	43

DAFTAR NOTASI

Simbol	Besaran	Satuan
$m_{terpakai}$	Bahan bakar yang terpakai	(kg)
m_{total}	Bahan bakar awal	(kg)
M_{sisa}	Bahan bakar sisa	(kg)
\dot{m}_{fuel}	Jumlah konsumsi bahan bakar	(kg/jam)
t	Waktu pemanasan	(Jam)
$m_{air\ yang\ menjadi\ uap}$	Jumlah air yang berkurang	(kg)
m_{awal}	Jumlah air awal	(kg)
m_{akhir}	Jumlah air akhir	(kg)
\dot{m}_{steam}	Laju aliran massa <i>steam</i>	(kg/jam)
$m_{air\ yang\ menjadi\ uap}$	Jumlah air yang berkurang	(kg)
t	Waktu uap yang dikeluarkan	(Jam)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Proses produksi adalah jantung dari suatu industri. Industri makanan maupun industri lainnya mengandalkan peralatan-peralatan yang digunakan dalam proses produksi. Perkembangan teknologi pada saat ini dapat mendukung perkembangan alat-alat produksi pada dunia industri. Salah satunya yaitu pada bidang konversi energi yang memunculkan banyak ide-ide kreatif untuk memanfaatkannya pada dunia industri. Mesin-mesin konversi energi menjadi sumber tenaga yang akan mengoperasikan berbagai mesin produksi dalam suatu industri. Salah satu mesin konversi energi adalah *boiler* atau ketel uap.

Boiler mampu merubah air menjadi uap air yang dapat dimanfaatkan tekanan maupun panas dari uap air tersebut. pada skala besar *boiler* digunakan untuk instalasi tenaga atau pembangkit tenaga melalui turbin uap. Industri kecil dan menengah banyak memanfaatkan *boiler* untuk proses pengolahan dan pemanasan dengan memanfaatkan panas dari uap air yang dihasilkan. *Boiler* atau ketel uap adalah salah satu peralatan industri yang sangat penting. Fungsi *boiler* itu sendiri dapat menghasilkan *steam* (uap/kukus) yang digunakan sebagai pemanas pada proses produksi di industri (Bindar & Abdulkadir, 2014). Menurut (Saputra et al., 2020) ketel uap berfungsi sebagai sarana untuk mengubah air menjadi uap yang bertekanan. Ketel uap dapat juga diartikan sebagai alat untuk membentuk uap yang mampu mengkonversi energi kimia dari bahan bakar (padat, cair dan gas) yang akan menjadi energi panas. Uap yang dihasilkan dari ketel uap adalah gas yang timbul akibat perubahan fase cair menjadi uap atau gas melalui cara pemanasan yang memerlukan energi dalam prosesnya.

Boiler/ ketel uap banyak digunakan pada industri kecil menengah sebagai sistem peralatan proses pengolahan, seperti pengolahan cengkeh pala dan lainnya. Dan bisa juga digunakan sebagai media pemanas pada industri sederhana seperti tahu, industri rotan dan sebagainya. Dari beberapa penelitian bahwa industri-industri kecil pangan masih banyak yang menggunakan peralatan sederhana dalam

proses produksinya. Pemakaian energi panas seperti uap pada industri tersebut banyak dibutuhkan. Sementara kebutuhan tersebut masih banyak menggunakan alat-alat sederhana dimana umumnya boros energi, proses relatif lama dan tidak nyaman. *Boiler*/ ketel uap sebagai penghasil uap yang dipakai untuk sumber energi merupakan suatu alur produksi dalam suatu industri pangan ataupun industri lainnya karena sangat vital fungsinya dalam proses produksi (Purba, 2015).

Boiler merupakan hal yang penting dalam industri pabrik, maka dari itu memerlukan perawatan agar tidak menimbulkan kerak dan juga korosi. Untuk menghindari terbentuknya kerak dan korosi pada pipa yang akan menurunkan efisiensi *boiler* maka diperlukan perawatan yang khusus dalam pengolahan air yang akan di uapkan pada *boiler* yang juga dikenal sebagai air *boiler*. Air *boiler* merupakan air yang telah mengalami atau mendapatkan pengolahan secara internal dan eksternal untuk menghilangkan atau menurunkan kandungan garam dan mineral yang ada pada air sampai memenuhi persyaratan tertentu (Alviani & Amri, 2019). Oleh karena itu diperlukan upaya untuk menjaga kestabilan air umpan *boiler* untuk menjaga Ph dan kesadaran total agar sesuai standar.

Salah satu pengendalian proses pada *boiler* yaitu level ketinggian air. Level ketinggian air didalam sebuah drum *boiler* mengindikasikan volume air yang terisi pada drum. Air yang berdekatan dengan bidang pemanas akan memiliki temperature yang lebih tinggi (berat jenis yang lebih rendah) dibanding dengan air yang bertemperature rendah, sehingga air yang bertemperature tinggi akan naik kepermukaan dan air yang bertemperatur rendah akan turun. Hal ini akan terjadi terus menerus (sirkulasi) hingga berbentuk uap (Saputra et al., 2020). Ketinggian air yang terlalu tinggi bisa menyebabkan air terbawa masuk ke dalam pipa uap panas (*steamtube*). Disisi lain, ketinggian air yang terlalu rendah juga dapat menyebabkan air didalam drum tidak dapat mendinginkan pipa pembakaran (*furnace*) yang berpotensi menimbulkan kerusakan.

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kelapa sawit. Cangkang kelapa sawit merupakan produk samping limbah padat dari pengolahan kelapa sawit, abu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan utama SiO₂. Upaya pemanfaatan cangkang kelapa sawit yang kurang efektif dapat

menghasilkan residu yang tidak termanfaatkan serta mengakibatkan limbah ini menjadi bahan yang bernilai ekonomis yang lebih tinggi. Cangkang kelapa sawit adalah limbah industri organik yang bisa diuraikan namun karena tekstur dari bahan tersebut yang cukup membutuhkan waktu yang lama untuk penguraian secara alami (Donda et al., 2019).

Berdasarkan hasil observasi diatas maka peneliti ingin meneliti bagaimana “Analisis Kapasitas Air Terhadap Produksi Uap dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Mini *Boiler* Tipe pipa Api vertikal”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat rumusan masalah dari penelitian ini adalah “Bagaimana hasil produksi uap dan konsumsi bahan bakar terhadap kapasitas air pada mini *boiler* dengan menggunakan metode langsung?”

1.3 Ruang Lingkup

1. Menggunakan bahan bakar Cangkang sawit
2. Volume air yang divariasikan 30 liter dan 36 liter
3. Drum mini *boiler* berbahan *Stainless Steel*
4. Tekanan 1,5 bar.
5. *Boiler* skala *home* industri

1.4 Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisis laju konsumsi bahan bakar pada cangkang sawit terhadap kapasitas air
2. Untuk menganalisis produksi uap yang dihasilkan terhadap variasi kapasitas air

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 mini *boiler*.
3. Untuk dapat digunakan oleh masyarakat khususnya petani yang membutuhkan mini *boiler*.

BAB 2

TINJAUAN 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.

Boiler yang digunakan untuk penelitian ini adalah *boiler* sederhana yang berjenis *boiler* tabung air, *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*, *pressure 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.

Sistem *boiler* terdiri dari : sistem air umpan, sistem uap dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan (*pressure gauge*) merupakan sistem yang berguna untuk mengalirkan air umpan ke dalam *boiler*. 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. Sistem bahan

bakar (*fuel system*) merupakan sistem yang berguna untuk mengontrol proses pembakaran dengan cara mensuplai bahan bakar ke dalam dapur pembakaran.

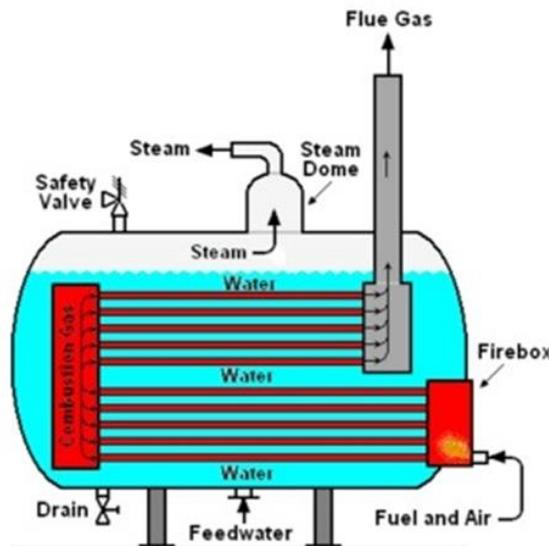
2.3 Klasifikasi *Boiler*

Boiler 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*.

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. Bidang pemanas terletak di dalam drum, sehingga luas bidang pemanas yang dapat dibuat terbatas.

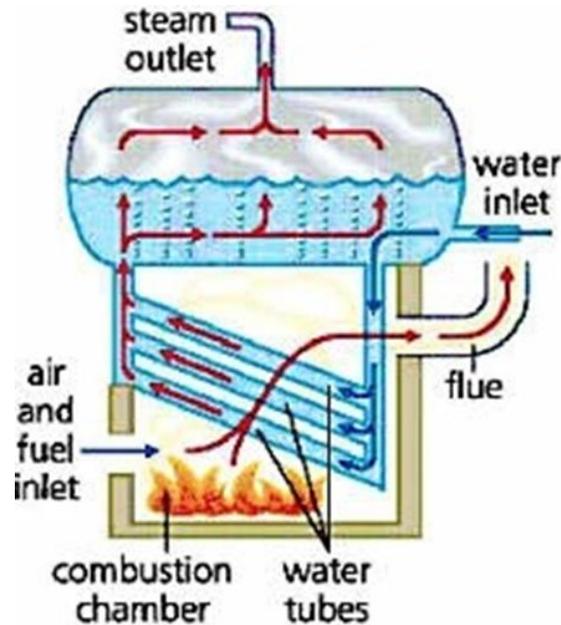


Gambar 2.1 Ketel pipa api (*fire tube boiler*)

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. Didalam 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*

Komponen *boiler* terdiri dari komponen utama dan komponen bantu yang memiliki fungsinya masing-masing.



Gambar 2.3 *Boiler* (Fathurohman, 2015)

Komponen utama *boiler* terdiri dari:

a. Drum

Drum yang berisi air ini berfungsi sebagai tempat terjadinya penguapan yaitu merubah air menjadi uap, drum ini berkapasitas 60 liter dan drum berbahan *Stainless Steel*.



Gambar 2.4 Drum (Fathurohman, 2015)

b. 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 2.5 Ruang Bakar (Fathurohman, 2015)

c. 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 2.6 Pipa-pipa api (Fathurohman, 2015)

d. Gelas Penduga

Gelas penduga berfungsi sebagai indicator untuk melihat tinggi air didalam drum.



Gambar 2.7 Gelas ukur (Hardi, 2019)

e. Cerobong Asap (*Chimney*)

Cerobong asap ini Berfungsi untuk membuang udara sisa pembakaran.



Gambar 2.8 Cerobong Asap (*Chimney*) (Fathurohman, 2015)

f. Katup uap (*steam valve*)

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



Gambar 2.9 Katup uap (*steam valve*) (PT. Amanah Nusantara sejahtera, 2016)

g. *Safety Valve*

Safety valve adalah alat yang berfungsi untuk membuang uap pada tekanan yang berlebih.



Gambar 2.10 *Safety Valve* (Hardi, 2019)

h. *Thermometer*

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



Gambar 2.11 *Thermometer* (CMSAdmin, 2019)

i. *pressure gauge*

pressure gauge adalah alat ukur tekanan yang berfungsi untuk mengukur tekanan uap di dalam ketel.



Gambar 2.12 *pressure gauge* (Wikipedia bahasa Indonesia, 2022)

j. *Blower*

Blower berfungsi sebagai penyuplai udara untuk pembakaran.



Gambar 2.13 *Blower* (Industri Boiler, 2020)

2.5 Sistem *Boiler*

Sistem yang dimiliki *boiler* untuk memenuhi kebutuhan *steam* terbagi menjadi beberapa sistem yaitu sistem air umpan (*pressure gauge*), sistem *steam* (*steam system*) dan sistem bahan bakar (*fuel system*). (United Nations Environment Programme, 2006)

- a. Sistem air umpan (*pressure gauge*) merupakan sistem yang berguna untuk memenuhi kebutuhan *steam* dengan cara 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 untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan.

2.6 Air Umpan *Boiler*

Sistem air umpan dimiliki oleh *boiler* untuk menghasilkan *steam* harus memenuhi spesifikasi dan juga beberapa syarat tertentu sehingga dapat digunakan sebagai umpan *boiler*. Dengan menggunakan pompa air pengisian ketel atau *Boiler Feed Water Pump* (BFWP) air umpan *boiler* dipompakan dari luar masuk ke dalam *boiler*.

Air yang dimasukkan ke dalam *boiler* untuk dirubah menjadi *steam* disebut air umpan (*feed water*). Terdapat dua sumber air umpan yaitu :

- a. Air baku yang sudah diolah yang harus diumpakan dari ruang *boiler* dan (*plant process*) yang disebut air make up
- b. *Steam* yang mengembun yang dikembalikan dari proses atau kondensat

2.7 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 uir menjadi uap. Untuk melakukan pembakaran diperlukan dua unsur utama, yaitu:

- a. Bahan bakar
- b. Oksigen

Berbagai jenis bahan bakar seperti bahan bakar cair, padat, dan gas yang tersedia tergantung pada berbagai factor 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 CH₄ (*Methane*). Seperti halnya dengan minyak bumi, gas alam tersebut diperoleh dengan jalan pengeboran dari dalam tanah.

2.8 Cangkang Sawit

Cangkang sawit merupakan produk samping limbah padat dari pengolahan kelapa sawit ,abu cangkang kelapa sawit memiliki kandungan utama SiO₂. 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 2.14 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. Cangkang sawit dapat digunakan dalam pembuatan produksi beton ringan bermutu tinggi karena cangkang kelapa sawit mengandung unsur kimia seperti tabel dibawah ini (*Donda et al., 2019*).

Tabel 2.1 Komposisi Bahan Bakar Cangkang

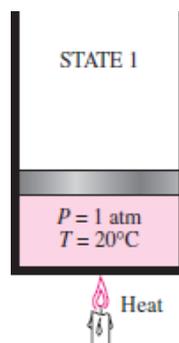
No.	Komposisi	Cangkang Sawit (%)
1	Karbon (C)	51,14
2	Hydrogen (H_2)	3,36
3	Oksigen (O_2)	43,3
4	Nitrogen (N_2)	1,65
5	Sulfur (S)	0
6	Kadar abu (Ash)	0,5

2.9 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.

2.9.1 Cair Tekan (*Compressed Liquid*)

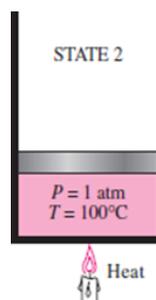
Untuk memudahkan dalam menjelaskan proses ini maka lihat pada Gambar 3 dimana sebuah alat berupa torak dan silinder yang berisi air pada 20°C dan tekanan 1 atm. Pada kondisi ini, air berada pada fase cair tekan karena temperatur dari air tersebut masih dibawah temperatur saturasi air pada saat tekanan 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 2.15 Air pada Fase Cair Tekan (*Compressed Liquid*) (Cengel & Boles, 2009)

2.9.2 Cair Jenuh (*Saturated Liquid*)

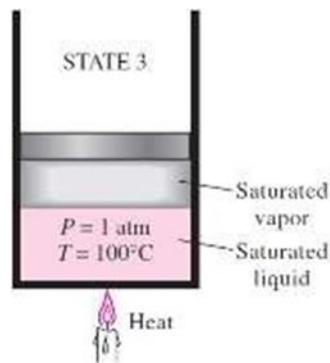
Dengan semakin bertambahnya jumlah kalor yang dimasukkan kedalam silinder maka temperatur akan naik hingga mencapai 100°C. Pada titik ini air masih dalam fase cair, tetapi sedikit saja ada penambahan kalor maka sebagian dari air tersebut akan berubah menjadi uap. Kondisi ini disebut dengan cair jenuh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



Gambar 2.16 Air pada Fase Cair Jenuh (*Saturated Liquid*) (Cengel & Boles, 2009)

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

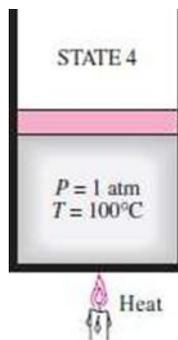
Saat pendidihan berlangsung, tidak terjadi kenaikan temperatur sampai cairanseluruhnya berubah menjadi uap. *Temperatur* akan tetap konstan selama proses perubahan fase jika temperatur juga dijaga konstan. Pada proses ini volume fluida didalam silinder meningkat karena perubahan fase yang terjadi, volume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



Gambar 2.17 Campuran Air dan Uap (*Liquid Vapor Mixture*) (Cengel & Boles, 2009)

2.9.4 Uap Jenuh (*Saturated Vapor*)

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

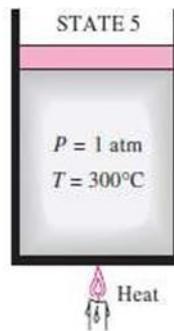


Gambar 2.18 Uap Jenuh (*Saturated Vapor*) (Cengel & Boles, 2009)

2.9.5 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. 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.



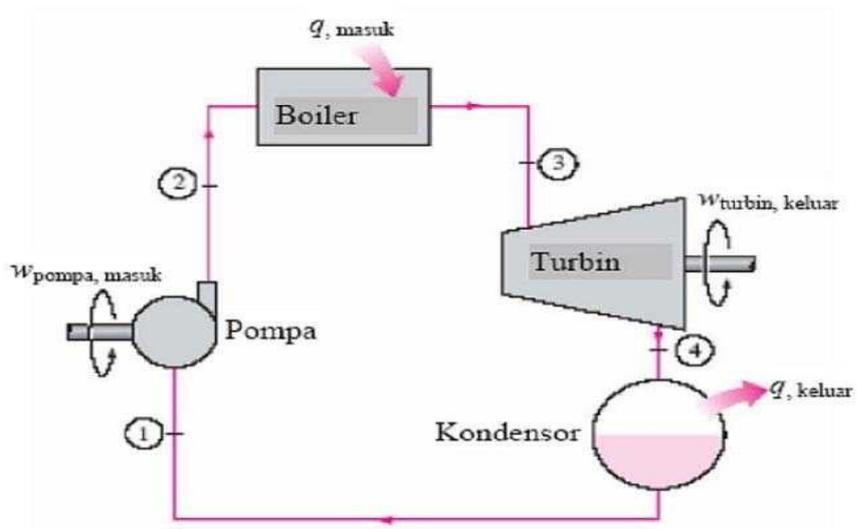
Gambar 2.19 Uap Panas Lanjut (*Superheated Vapor*) (Cengel & Boles, 2009)

2.10 Siklus Rankine

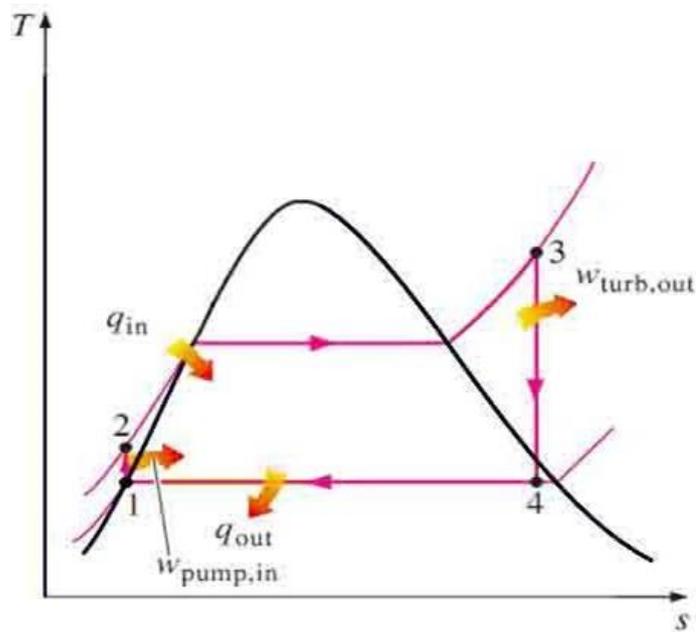
Siklus Rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus Rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi, oleh karena itu fluida kerja untuk siklus Rankine 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.

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 2.20 Bagan alir siklus rankine sederhana



Gambar 2.21 Diagram T-s Siklus Rankine Sederhana

2.11 Proses Pembentukan Uap

Pada umumnya air (H_2O) digunakan untuk fluida kerja di ketel uap, karena bersifat ekonomis, mudah di peroleh, jumlah yang tersedia banyak, dan

mempunyai kandungan entalpi yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida yang lain.

Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan menjadi uap. apabila air di panaskan maka suhu air akan naik, niaknya 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).

2.12 Metode Perhitungan

2.12.1 Laju massa bahan bakar

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

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

2.12.2 Laju aliran massa uap

$$m_{airyangmejadiuap} = m_{awal} - m_{akhir}$$

$$\dot{m}_{steam} = \frac{m_{airyangmejadiuap}}{t}$$

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 Brayon Darat 1, Kec. Medan Timur, Kota Medan

3.1.2 Waktu penelitian

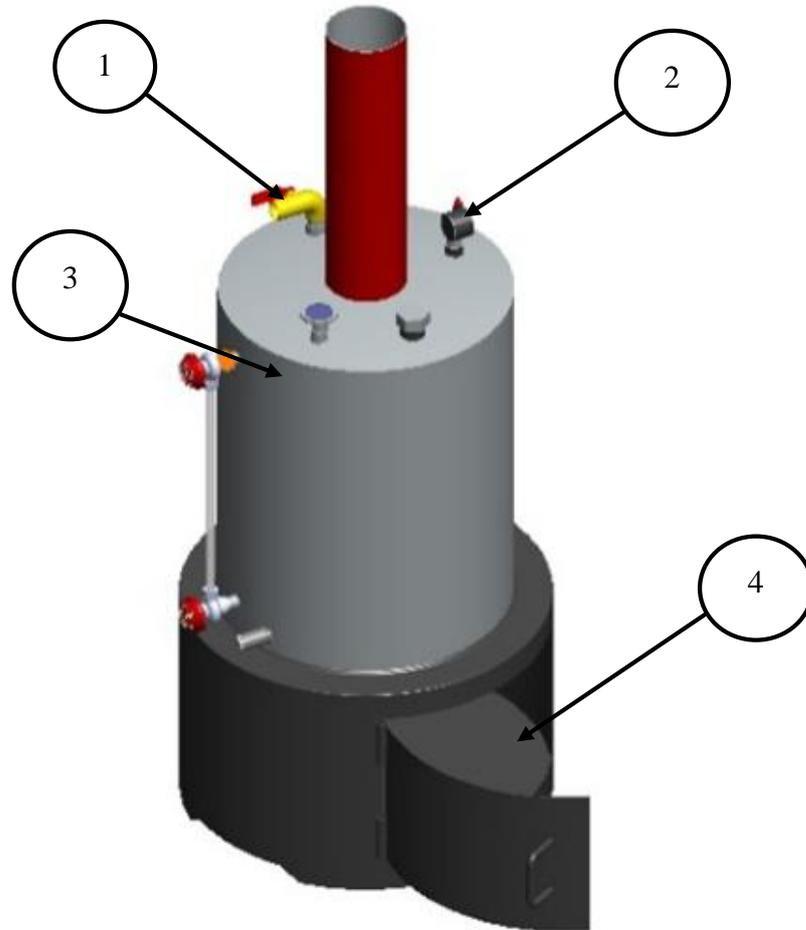
Waktu pelaksanaan penelitian dan kegiatan pengujian dilakukan dilakukan sejak tanggal usulan oleh Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara seperti yang tertera pada tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3.1 jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Study Literatur Dan Desain						
2	Pembuatan Alat Dan Pengujian						
3	Seminar Proposal						
4	Pengambilan Data						
5	Analisa Data						
6	Seminar Hasil						
7	Sidang Sarjana						

3.2 Alat dan Bahan

Pada eksperimen ini yang akan dicari adalah produksi uap dan konsumsi bahan bakar 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. Dimana ditunjukkan alat ukur yang akan digunakan dalam penelitian ini. Berikut alat ukur yang digunakan pada gambar 3.1.

1. Katup uap
2. *Pressure Gauge*
3. *Thermometer*
4. Ruang bakar

3.2.1 Alat

Adapun alat yang digunakan sebagai berikut:

A. *Thermometer*

Digunakan untuk mengukur suhu uap pada *boiler*.

Spesifikasi : maksimal pengukuran suhu 200⁰c dan 400⁰f



Gambar 3.2 *Thermometer*

B. *Pressure Gauge*

Digunakan untuk mengukur tekanan uap di dalam mini *boiler*

Spesifikasi : maksimal pengukuran 2,5 bar



Gambar 3.3 *Pressure Gauge*

C. Ember

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



Gambar 3.4 Ember

D. *Stopwatch*

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



Gambar 3.5 *Stopwatch*

E. Kunci Inggris

Kunci inggris yang digunakan 12 inci berfungsi untuk membuka dan Menutup tutup air masuk dan air keluar



Gambar 3.6 Kunci Inggris

F. Timbangan

Timbangan berkapasitas 150 kg di gunakan untuk menimbang berapa berat bahan bakar dan air yang akan digunakan untuk memanaskan *boiler*.



Gambar 3.7 Timbangan

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah data yang diperoleh dari observasi. Adapun bahan yang digunakan yaitu:

1. Air

Air berfungsi sebagai bahan baku yang akan di panaskan sehingga menghasilkan uap dari air tersebut.



Gambar 3.8 Air

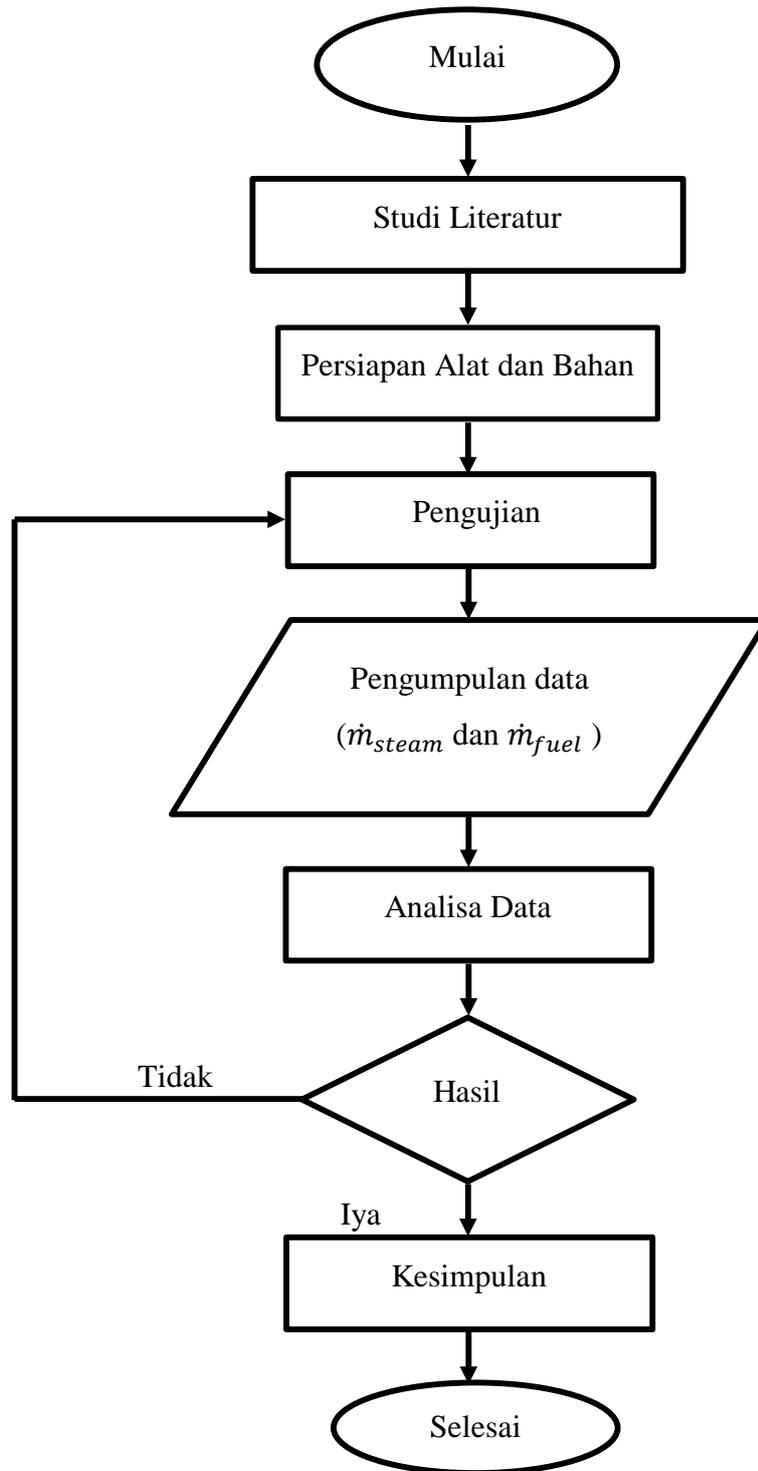
2. Cangkang Sawit

Cangkang sawit berfungsi sebagai bahan bakar untuk mengoperasikan mini *boiler*



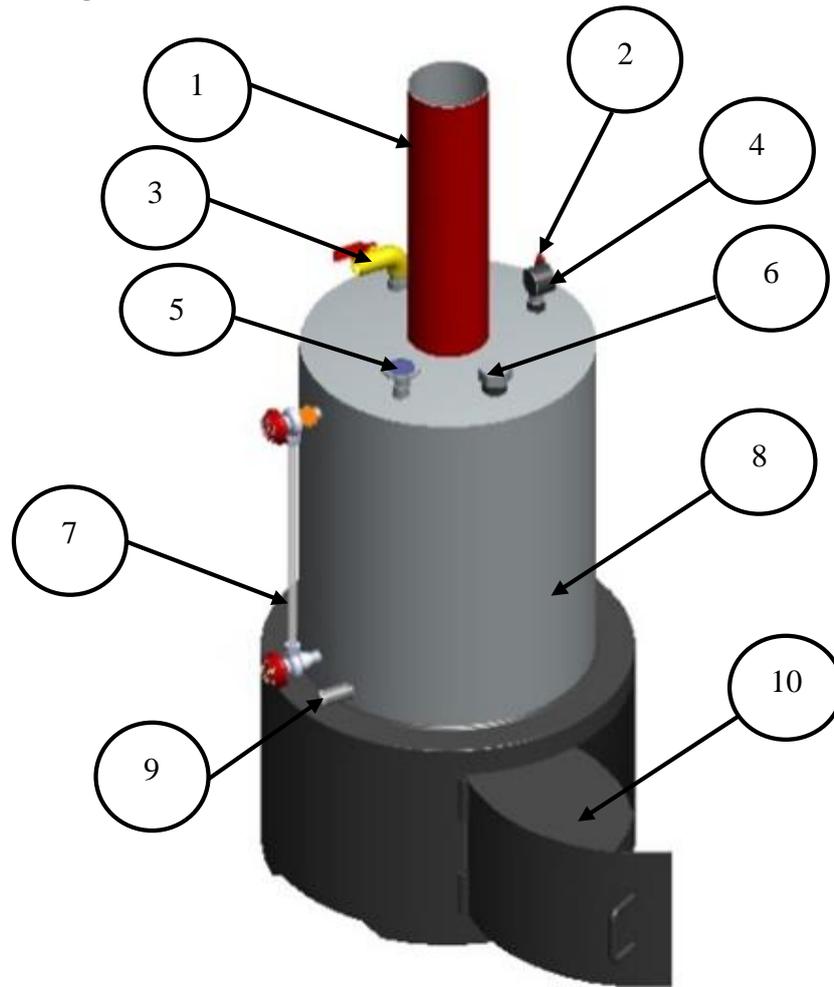
Gambar 3.9 Cangkang Sawit

3.3 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.10 Bagan Alir Penelitian

3.4 Rancangan Alat Penelitian



Gambar 3.11 Rancangan Mini boiler

Keterangan :

1. Cerobong Asap
2. *Safety valve*
3. Katup Uap
4. *Pressure Gauge*
5. *Thermometer*
6. Air Masuk
7. Gelas Penduga atau level Air
8. *Drum Stainless Steel*
9. 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 skunder. Data primer yang dikumpulkan adalah data pengujian *steamwater* dan bahan bakar.

Data pengujian *steamwater* mencakup kapasitas produksi uap (kg/jam) yang dihasilkan, bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar biomassa yaitu cangkang sawit.

Kapasitas mini *boiler* dianalisis berdasarkan hasil dari air yang menjadi uap persatuan waktu, (kg/jam).

Prosedur setup alat dan pengambilan data pengujian mini *boiler* yaitu :

1. Menimbang air 30 liter dan 36 liter yang akan di masukkan kedalam drum mini *boiler*.



Gambar 3.12 menimbang air

2. Menimbang massa bahan bakar yang akan di gunakan.



Gambar 3.13 Menimbang massa bahan bakar

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



Gambar 3.14 Memasukan air

- Setelah itu siapkan setup alat untuk pengambilan data seperti *pressure gauge*, *thermometer*, *Stopwatch*, dan alat tulis untuk mencatat data.



Gambar 3.15 Setup Alat

- 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 1,5 bar.



Gambar 3.16 Memasukan bahan bakar

6. Hidupkan *Stopwatch* pada awal nyala api untuk menghitung laju konsumsi bahan bakar.



Gambar 3.17 Menghidupkan *Stopwatch*

7. Setelah tekanan uap mencapai 1,5 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 3.18 Membuka katup uap

8. Total bahan bakar yang digunakan diukur dengan menimbang sisa bahan bakar yang tersisa, dan jumlah uap yang dihasilkan diukur dari jumlah air yang berkurang.



Gambar 3.19 Menimbang Sisa Bahan Bakar

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengujian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen (*experimental study*). Ketika tekanan yang ingin tercapai yaitu 1,5 bar . katup pengeluaran dibuka, dan setiap 5 menit tekanan dan temperature dicatat sampai total pengukuran selama 60 menit.

4.2 Perhitungan laju Aliran Massa Bahan Bakar

4.2.1 Perhitungan Bahan Bakar Pada Air 30 Liter

1 Perhitungan berdasarkan percobaan 1

Diketahui :

$$m_{total} = 15kg$$

$$m_{sisa} = 7,55kg$$

$$t = 96menit = 1,6 jam$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

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

Laju kebutuhan bahan bakar :

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

2 Perhitungan Berdasarkan Percobaan 2

Diketahui :

$$m_{total} = 15kg$$

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

$$t = 98menit = 1,63333 jam$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$\begin{aligned}m_{\text{terpakai}} &= m_{\text{total}} - m_{\text{sisa}} \\ &= 15 - 7,5 \\ &= 7,5\text{kg}\end{aligned}$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{fuel}} &= \frac{m_{\text{terpakai}}}{t} \\ &= \frac{7,5}{1,63333} \\ &= 4,59\text{kg} / \text{jam}\end{aligned}$$

3. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 3

Diketahui :

$$\begin{aligned}m_{\text{total}} &= 15\text{kg} \\ m_{\text{sisa}} &= 7,4\text{kg} \\ t &= 95\text{menit} = 1,58333\text{ jam}\end{aligned}$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

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

Laju kebutuhan bahan bakar :

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

4.2.2 Perhitungan Bahan Bakar Pada Air 36 Liter

1. Berdasarkan perhitungan percobaan 1

Diketahui :

$$m_{total} = 16,5kg$$

$$m_{sisa} = 3,6kg$$

$$t = 116menit = 1,93333 jam$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$\begin{aligned} m_{terpakai} &= m_{total} - m_{sisa} \\ &= 16,5 - 3,8 \\ &= 12,7kg \end{aligned}$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\begin{aligned} \bullet \quad m_{fuel} &= \frac{m_{terpakai}}{t} \\ &= \frac{12,7}{1,93333} \\ &= 6,56kg / jam \end{aligned}$$

2. Berdasarkan perhitungan percobaan 2

Diketahui :

$$m_{total} = 16,5kg$$

$$m_{sisa} = 3,5kg$$

$$t = 118menit = 1,96667 jam$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$\begin{aligned} m_{terpakai} &= m_{total} - m_{sisa} \\ &= 16,5 - 3,5 \\ &= 13kg \end{aligned}$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\begin{aligned} \bullet \quad m_{fuel} &= \frac{m_{terpakai}}{t} \\ &= \frac{13}{1,96667} \\ &= 6,61kg / jam \end{aligned}$$

3. Berdasarkan perhitungan percobaan 3

Diketahui :

$$\begin{aligned} m_{total} &= 16kg \\ m_{sisa} &= 3,5kg \\ t &= 115menit = 1,91667 jam \end{aligned}$$

Massa bahan bakar yang terpakai :

$$\begin{aligned} m_{terpakai} &= m_{total} - m_{sisa} \\ &= 16,5 - 3,5 \\ &= 13kg \end{aligned}$$

Laju kebutuhan bahan bakar :

$$\begin{aligned} \bullet \quad m_{fuel} &= \frac{m_{terpakai}}{t} \\ &= \frac{13}{1,91667} \\ &= 6,78kg / jam \end{aligned}$$

4.3 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.

4.3.1 Perhitungan Pada Air 30 liter

1. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 1

Diketahui :

$$\begin{aligned}m_{awal} &= 30kg \\m_{akhir} &= 25,25kg \\t &= 60menit = 1jam\end{aligned}$$

Massa air yang menjadi uap :

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

Laju aliran massa uap :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{steam} &= \frac{m_{airyangmenjadiuap}}{t} \\&= \frac{4,75}{1} \\&= 4,75kg / jam\end{aligned}$$

2. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 2

Diketahui :

$$\begin{aligned}m_{awal} &= 30kg \\m_{akhir} &= 25,1kg \\t &= 60menit = 1jam\end{aligned}$$

Massa air yang menjadi uap

$$\begin{aligned}m_{airyangmenjadiuap} &= m_{awal} - m_{akhir} \\&= 30 - 25,1 \\&= 4,9kg\end{aligned}$$

Laju aliran massa uap :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{steam} &= \frac{m_{airyangmejadiuap}}{t} \\ &= \frac{4,9}{1} \\ &= 4,9kg / jam\end{aligned}$$

3. Perhitungan Berdasarkan Percobaan 3

Diketahui :

$$\begin{aligned}m_{awal} &= 30kg \\ m_{akhir} &= 25kg \\ t &= 60menit = 1jam\end{aligned}$$

Massa air yang menjadi uap :

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

Laju aliran massa uap :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{steam} &= \frac{m_{airyangmejadiuap}}{t} \\ &= \frac{5,25}{1} \\ &= 5kg / jam\end{aligned}$$

4.3.2 Perhitungan Pada air 36 liter

1. Perhitungan berdasarkan percobaan 1

Diketahui :

$$\begin{aligned}m_{awal} &= 36kg \\ m_{akhir} &= 30,5kg \\ t &= 60menit = 1jam\end{aligned}$$

Massa air yang menjadi uap :

$$\begin{aligned}m_{\text{air yang menjadi uap}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}} \\ &= 36 - 30,5 \\ &= 5,5 \text{ kg}\end{aligned}$$

Laju aliran massa uap :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{steam}} &= \frac{m_{\text{air yang menjadi uap}}}{t} \\ &= \frac{5,5}{1} \\ &= 5,5 \text{ kg / jam}\end{aligned}$$

2. Perhitungan berdasarkan percobaan 2

Diketahui :

$$\begin{aligned}m_{\text{awal}} &= 36 \text{ kg} \\ m_{\text{akhir}} &= 30,3 \text{ kg} \\ t &= 60 \text{ menit} = 1 \text{ jam}\end{aligned}$$

Massa air yang menjadi uap :

$$\begin{aligned}m_{\text{air yang menjadi uap}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}} \\ &= 36 - 30,3 \\ &= 5,7 \text{ kg}\end{aligned}$$

Laju aliran massa uap :

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{steam}} &= \frac{m_{\text{air yang menjadi uap}}}{t} \\ &= \frac{5,7}{1} \\ &= 5,7 \text{ kg / jam}\end{aligned}$$

3. Perhitungan berdasarkan percobaan 3

Diketahui :

$$m_{awal} = 36kg$$

$$m_{akhir} = 30kg$$

$$t = 60menit = 1jam$$

Massa air yang menjadi uap :

$$m_{airyangmejadiuap} = m_{awal} - m_{akhir}$$

$$= 36 - 30$$

$$= 6kg$$

Laju aliran massa uap :

$$\dot{m}_{steam} = \frac{m_{airyangmejadiuap}}{t}$$

$$= \frac{6}{1}$$

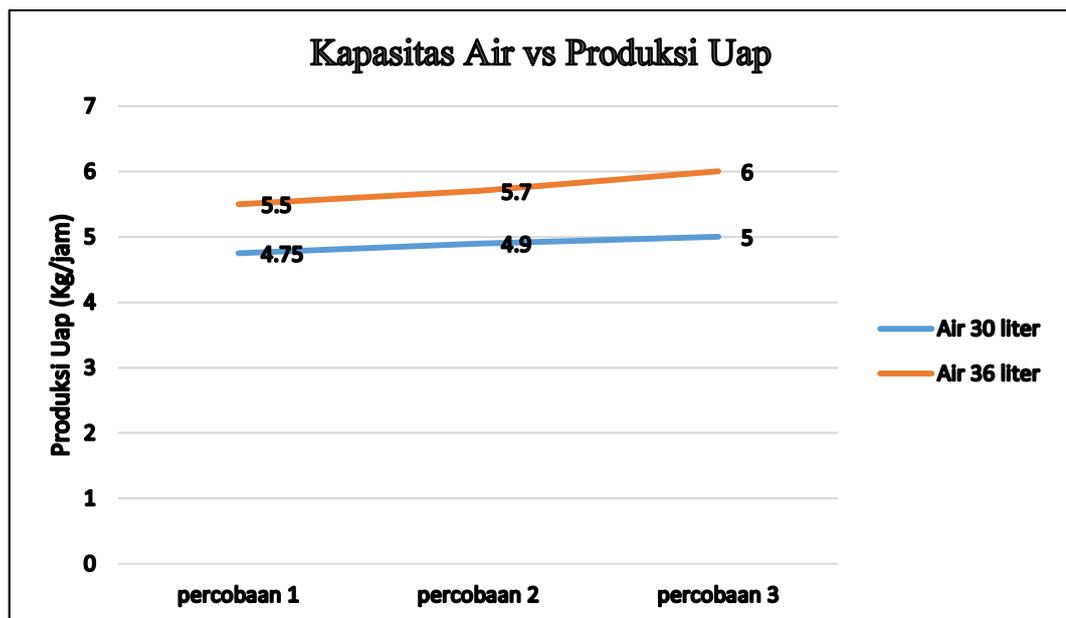
$$= 6kg / jam$$

4.4 Grafik Hasil Penelitian

4.4.1 Grafik produksi uap dengan kapasitas air

Tabel 4.1 Hasil analisa data Pada laju aliran massa uap

Volume (Liter)	\dot{m}_{steam} (kg/jam)
30	4,75
	4,9
	5
36	5,5
	5,7
	6



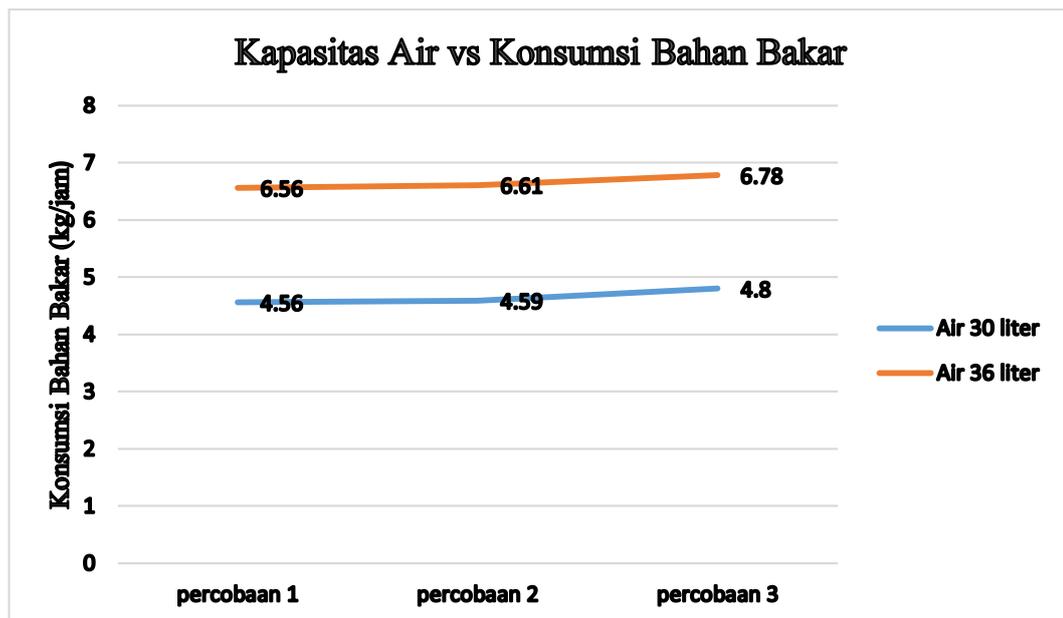
Gambar 4.1 Grafik Hubungan kapasitas Air dengan Produksi Uap

Berdasarkan gambar 4.1 diatas, dapat disimpulkan bahwa kapasitas air dengan jumlah uap yang dihasilkan konstan naik karena semakin besar jumlah Air maka semakin besar uap yang dihasilkan.

4.4.2 Grafik konsumsi bahan bakar dengan kapasitas air

Tabel 4.4 Hasil analisa data Pada konsumsi bahan bakar

Volume (Liter)	\dot{m}_{fuel} (kg/jam)
30	4,56
	4,59
	4,8
36	6,56
	6,61
	6,78



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Kapasitas Air dengan Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan gambar 4.2 diatas, dapat disimpulkan bahwa kapasitas air dengan konsumsi bahan bakar konstan naik karna semakin besar jumlah Air maka semakin banyak konsumsi bahan bahan bakar .

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Dari perhitungan laju aliran massa bahan bakar dapat disimpulkan bahwa kapasitas air mempengaruhi penggunaan bahan bakar
2. Dari perhitungan laju massa uap dapat disimpulkan semakin besar kapasitas air maka semakin besar uap yang dihasilkan

5.2 Saran

Adapun saran-saran yang bisa di buat peneliti sebagai berikut :

1. Ditambahkan pompa air untuk memasukkan air kedalam *boiler*.
2. Ditambahkan *Blower* hisap untuk panas dari ruang bakar lebih merata melewati pipa api.

DAFTAR PUSTAKA

- Alviani, S., & Amri, Y. (2019). Analisis Kuantitatif Air Boiler di PT . SISIRAU Aceh Tamiang. *Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 1(2), 1–5.
- Batubara, P. (2014). Analisa efisiensi water tube boiler berbahan bakar fiber dan cangkang di Palm Oil Mill dengan kapasitas 45 Ton Tbs/Jam. *Skripsi Ketel Uap*.
- Bindar, Y., & Abdulkadir, M. (2014). *Kriteria Boiler Ramah Lingkungan* (Issue February 2014).
- Cengel, & Boles, M. (2009). Termodinámica, sexta edición, 2009. In *McGraw Hill* (Issue capitulo 6). https://www.academia.edu/34082660/Termodinamica_Yunus_A_Cengel_Michael_A_Boles_Sexta_Edicion
- CMSAdmin. (2019). *JENIS ALAT UKUR SUHU / TEMPERATUR UNTUK INDUSTRI BESERTA FUNGSINYA*. <http://momentous.id/2019/12/06/jenis-alat-ukur-suhu-temperatur-untuk-industri-beserta-fungsinya/>
- Donda, Silalahi, M., & Fransisco, Y. (2019). Pemanfaatan Cangkang Kelapa Sawit sebagai Arang Aktif dalam Adsorpsi Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Regional Development Industry & Health Science, Technology and Art of Life*, 2(1), 74–78.
- Fathurohman, A. (2015). *Cara Membuat Boiler Pipa Api Sederhana*. <http://thermodynamic-amanahfiransilady.blogspot.com/2015/03/cara-membuat-boiler-pipa-api-sederhana.html>
- Hardi, D. (2019). *Safety Valve dan Pressure Safety Valve*. <http://dhevilsmehanic.blogspot.com/2019/07/safety-valve-dan-pressure-safety-valve.html>
- Industri Boiler. (2020). *Cara kerja Blower KeongNo Title*. <https://industriboiler.blogspot.com/2020/07/cara-kerja-blower-keong.html>
- PT. Amanah Nusantara sejahtera. (2016). *BALL VALVE*. <https://valve-ans.com/apa-itu-valve/ball-valve/>
- Purba, J. (2015). Perancangan Boiler Pipa Api Untuk Perebusan Bubur Kedelai Pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 Kg / Jam. *Jurnal Perancangan Boiler Pipa Api Untuk Perebusan Bubur Kedelai Pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 Kg/Jam*, 1–8.
- Saputra, A., Putra, F. P., Tahdid, Manggala, A., & Zurohaina. (2020). *Pengaruh Level Ketinggian Air Terhadap Efisiensi Thermal Pada Cross Section Water Tube Boiler Menggunakan Gas dan Solar Produksi Saturated Steam Proses Kontinyu*. 11(02), 50–54.

United Nations Environment Programme. (2006). *Boiler & Pemanas Termis . Pedoman Efisiensi Untuk Industri di Asia. Fluida.*

Wikipedia bahasa Indonesia, ensiklopedia bebas. (2022). *Pengukuran tekanan.* https://id.wikipedia.org/wiki/Pengukuran_tekanan

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

LAMPIRAN 1
Suhu dan Tekanan Uap

1 Suhu dan tekanan uap pada air 30 liter

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 air 36 liter

Percobaan 1

Waktu t (Menit)	Tekanan P (bar)	Temperature °C T_{uap}
5	0,9	106,5
10	1,22	123
15	1,45	127
20	1,29	124
25	1,2	124
30	1,08	122
35	1,11	122
40	1,2	124
45	1,2	124
50	1,11	122
55	1	119
60	0,95	120

Percobaan 2

Waktu t (Menit)	Tekanan P (bar)	Temperature °C T_{uap}
5	0,8	104
10	1,25	127
15	1,48	126
20	1,27	129
25	1,4	126
30	1,06	125
35	1,1	120
40	1,2	124
45	1,4	122
50	1,12	126
55	1,1	120
60	1	122

Percobaan 3

Waktu t (Menit)	Tekanan P (bar)	Temperature °C T_{uap}
5	1	105
10	1,22	123
15	1,46	125
20	1,30	130
25	1,3	128
30	1,05	123
35	1,12	124
40	1,3	126
45	1,2	124
50	1,14	126
55	1,2	121
60	1	122

LAMPIRAN 2
Gambar Mini Boiler



LEMBAR ASISTENSI

Nama : Fachrul Aldi

NPM : 1707230097

Dosen Pembimbing:

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

No	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1.	Kamis, 9 Des 2021	Asistensi Metode	
2.	Senin, 20 Des 2021	Asistensi Perencanaan	
3.	Selasa, 28 Des 2021	Asistensi Bab 1	
4.	Rabu, 5 Jan 2022	Revisi Prosedur	
5.	Jum'at 21 Jan 2022	Asistensi Analisis Data	
6.	Kamis, 10 Feb 2022	Asistensi Keseluruhan	
7.	Senin, 14 Feb 2022	Acc. Rencana Harian	



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

Bila menjawab surat ini agar disebutkan nomor dan tanggalnya

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

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

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

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

**PENENTUAN TUGAS AKHIR DAN PENGHUJUKAN
DOSEN PEMBIMBING**

Nomor : 733/III.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 : FACHRUL ALDI
Npm : 1707230097
Program Studi : TEKNIK MESIN
Semester : VIII (DELAPAN)
Judul Tugas Akhir : ANALISIS KAPASITAS AIR TERHADAP PRODUKSI UAP DAN KONSUMSI BAHAN BAKAR PADA MINI BOILER TIPE PIPA API VERTIKAL

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

Muhammad Alfansury Siregar, ST., MT
NIDN: 0101017202



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

Peserta seminar

Nama : Fachrul Aldi

NPM : 1707230097

Judul Tugas Akhir : Analisis Kapasitas Uap Air Terhadap Level Ketinggian Air Dan Massa Bahan Bakar Pada Mini Boiler Tipe Pipa Api Vertikal

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing – I : Riadini Wanty Lubis, ST, MT		:.....	
Pembanding – I : Khairul Umurani, ST, MT		:.....	
Pembanding – II : H. Muharnif, ST, M.Sc		:.....	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1707230110	Fauzan Akbar	
2	1707230107	Muhammad Reza	
3	1707230096	Daffa Tanjungrahman	
4	1707230098	Ferdiansyah Sinaga	
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 18 Rajab 1443 H
19 Februari 2022 M



Prodi. T. Mesin

Chandra A Siregar, ST, MT

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

Nama : Fachrul Aldi
NPM : 1707230097
Judul Tugas Akhir : Analisis Kapasitas Uap Air Terhadap Level Ketinggian Dan Massa
Bahan Bakar Pada Mini Boiler Tipe Pipa Api Vertikal

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

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

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan, 18 Rajab 1443 H
19 Februari 2022 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin



.....
Chafira A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- I

.....

Khairul Umurani, ST, MT

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

Nama : Fachrul Aldi
NPM : 1707230097
Judul Tugas Akhir : Analisis Kapasitas Uap Air Terhadap Level Ketinggian Dan Massa Bahan Bakar Pada Mini Boiler Tipe Pipa Api Vertikal

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

.....
Wajib buatkan skripsi.
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Medan 18 Rajab 1443 H
19 Februari 2022 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Mesin


.....
A Siregar, ST, MT

Dosen Pembanding- II


H. Muharnif, ST, M.Sc

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. DATA PRIBADI

Nama	: Fachrul Aldi
Jenis Kelamin	: Laki – Laki
Tempat, Tanggal Lahir	: Medan, 10 Juni 1998
Alamat	: Jl.Alafalah Raya No.9
Agama	: Islam
E-mail	: Fachrulaldi@gmail.com
No- Handphone	: 0853-6109-0098

B. RIWAYAT PENDIDIKAN

1. SD Negeri 060878 Medan Timur	Tahun 2005-2011
2. SMP Swasta Pertiwi Medan	Tahun 2011-2014
3. SMA Negeri 4 Medan	Tahun 2014-2017
4. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Tahun 2017-2022