

TUGAS AKHIR
PERANCANGAN KETEL PADA ALAT PENYULING
DAUN NILAM MENJADI MINYAK ATSIRI KAPASITAS 5 Kg
BAHAN BAKU

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

Disusun Oleh:

BAYU SETIAWAN
1607230115



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal Penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Bayu Setiawan

NPM : 1607230115

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Perancangan Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak
Atsiri Kapasitas 5 Kg Bahan Baku

Bidang ilmu : Konversi Energi

Medan, Agustus 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Penguji - I



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

Dosen Penguji - II



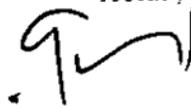
Sudirman Lubis, S.T., M.T

Dosen Penguji - III



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

Program Studi Teknik Mesin
Ketua,



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Bayu Setiawan
Tempat / Tanggal Lahir : Cinta Rakyat / 14 Juni 1997
NPM : 1607230115
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin

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

“Perancangan Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kg Bahan Baku”

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 ketidak sesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

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

Medan, September 2023

Saya yang menyatakan,



Bayu Setiawan

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 kedalam 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 tekanannya. 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

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

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

Dengan pengetahuan dan pengalaman yang terbatas akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul : **“Perancangan Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kg Bahan Baku”**.

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

1. Allah Subhanahu wa Ta'ala yang senantiasa memberikan rahmat dan hidayah serta kesehatan kepada penulis.
2. Bapak H. Muharnif, S.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Riadini Wanty Lubis, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Chandra A Siregar, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II sekaligus ketua Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T, MT selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu keteknik mesin kepada penulis.
7. Orang tua penulis : Alm. Bapak Sujiman dan Ibu Leginah, yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.

8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Sahabat-sahabat penulis yang selalu memberikan support serta dukungan dan masukan dan lainnya yang tidak mungkin namanya saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam 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 dunia konstruksi Teknik Mesin.

Aamiin ya Rabbal'alamin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, September 2023

Bayu Setiawan
1607230115

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABLE	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
BAB 1 PEDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Definisi Boiler	4
2.2 Prinsip Kerja Boiler	4
2.3 Klasifikasi Ketel Uap	5
2.3.1 Ketel pipa api (<i>fire tube boiler</i>)	5
2.3.2 Ketel pipa air (<i>water tube boiler</i>)	6
2.3.3 Kombinasi boiler pipa api dengan pipa air firebox	7
2.4 Bagian – Bagian Pada Ketel Uap	7
2.5 Komponen Ketel Uap	9
2.6 Instrumen Penunjang Rancangan Ketel Uap	11
2.7 Prinsip Kerja <i>Water Tube Boiler</i>	13
2.8 Bahan Bakar	14
2.9 Perpindahan Panas	15
2.9.1 Konduksi	15
2.9.2 Konveksi	16

2.9.3 Radiasi	17
2.10 Metode perhitungan dalam perancangan ketel	18
2.11 Efisiensi Ketel	20
BAB 3 METODE PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu	21
3.1.1 Tempat	21
3.1.2 Waktu	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.3 Diagram Alir Perancangan <i>Boiler</i> / Ketel Uap	22
3.4 Rancangan Alat Penelitian	23
3.5 Prosedur Penelitian.	24
BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN	34
4.1 Desain Ketel Uap	34
4.2 Perhitungan Analisa Data Bahan Baku Daun Nilam 3 Kg	35
4.2.1 Perhitungan Kalor <i>Boiler</i>	38
4.2.2 Perhitungan Bahan Bakar <i>Boiler</i>	38
4.2.3 Kapasitas Produksi Ketel	40
4.2.4 Menghitung Volume Air	41
4.2.5 Menentukan Volume Daun Nilam	41
4.2.6 Perhitungan Massa Air	42
4.2.7 Perhitungn Massa Nilam	42
4.3 Perhitungan Tekanan Air	42
BAB 5 KESIMPILAN DAN SARAN	42
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	
LAMPIRAN 1	
LAMPIRAN 2	
LEMBAR ASISTENSI	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABLE

Tabel 2.1	Standar mutu minyak nilam Indonesia	21
Tabel 3.1	Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian	22
Tabel 4.1	Kebutuhan bahan bakar	35
Tabel 4.2	Kebutuhan massa air	35
Tabel 4.3	Karakteristik minyak nilam berdasarkan SNI	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 Bagian - bagian boiler	7
Gambar 2. 4 Boiler / Ketel uap	9
Gambar 2. 5 Drum / Tabung ketel	9
Gambar 2. 6 Pipa - pipa air / pipa spiral	10
Gambar 2. 7 Separator	10
Gambar 2. 8 Manometer / Pressure gauge	11
Gambar 2. 9 Selang indikator air	11
Gambar 2. 10 Safety valve	12
Gambar 2. 11 Blowdown valve	12
Gambar 2. 12 Main steam valve	13
Gambar 2. 13 Perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi	15
Gambar 2. 14 Pertumbuhan lapisan batas pada perpindahan panas konveksi	16
Gambar 2. 15 Pertukaran radiasi antara permukaan dengan sekelilingnya	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan Boiler / Ketel Uap	22
Gambar 3. 2 Drawing Ketel	23
Gambar 3. 3 Bagian – Bagin Ketel	23
Gambar 3. 4 Proses penyincangan daun nilam	24
Gambar 3. 5 Penjemuran daun nilam	24
Gambar 3. 6 Pengisian air pada ketel	25
Gambar 3. 7 Pengisian air kondensor	25
Gambar 3. 8 Memasang saringan	26
Gambar 3. 9 Proses pengisian daun nilam kedalam ketel	26
Gambar 3. 10 Memasang tutup ketel	27
Gambar 3. 11 Pengisian air pada bak pendingin	27
Gambar 3. 12 Perhitungan waktu	28
Gambar 3. 13 Pemasangan 4 titik thermocouple	28
Gambar 3. 14 Pengukuran suhu minyak nilam menggunakan thermocouple	29
Gambar 4. 1 Alat penyulingan daun nilam skala <i>home industry</i>	34

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

PEDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi sekarang ini perubahan terjadi di berbagai bidang antara lain bidang politik, ekonomi, sosial, budaya, transportasi, telekomunikasi termasuk ilmu pengetahuan dan teknologi. Di dalam dunia teknologi sekarang ini, khususnya teknologi pembangkit listrik tenaga uap terdapat sistem alat pembangkit yang sangat penting yaitu boiler. Boiler merupakan suatu alat untuk menghasilkan uap pada tekanan dan temperature tinggi. Perubahan dari fase cair menjadi uap dilakukan dengan memanfaatkan energy panas yang didapatkan dari fase cair menjadi uap yang didapatkan dari pembakaran bahan bakar (ASME Section IV : Heating Boilers).

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 diindustri (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 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).

Boiler menghasilkan uap air yang memiliki tekanan tinggi. Jika terjadi kebocoran akan dapat melukai orang disekitarnya atau bahkan bisa meledak dan akan merusak lingkungan disekitarnya. Oleh karena itu perlu adanya perancangan boiler yang sesuai. Jenis boiler yang dirancang yaitu water tube boiler. Boiler jenis ini banyak dipakai untuk kebutuhan uap skala besar. Prinsip kerja dari boiler pipa air berkebalikan dengan pipa api, gas pembakaran dari furnace dilewatkan ke pipa-pipa yang berisi air yang akan diuapkan (Effendy, Dwi A. 2013).

Petani nilam di Binjai Kabupaten Langkat kurang memperhatikan kondisi operasi seperti perlakuan terhadap bahan baku, proporsi batang dengan daun, cara penyulingan, jenis bahan alat suling yang dipakai dan penambahan air umpan ketel, serta sirkulasi pendinginan yang kurang memadai. Umumnya petani masih menggunakan alat yang biasanya terbuat dari drum-drum bekas sehingga minyak nilam yang dihasilkan mengandung banyak unsur besi dalam rendemen dan sebagai akibatnya warna minyak nilam juga berwarna gelap.

Berdasarkan hasil observasi diatas maka peneliti akan melakukan “Perancangan Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri Kapasitas 5 Kg Bahan Baku.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat rumusan masalah dari penelitian ini adalah “Bagaimana hasil produksi uap dan konsumsi bahanbakar terhadap kapasitas air pada *ketel* mini dengan 5 kg bahan baku?”

1.3 Ruang Lingkup

Proses desain alat destilasi minyak atsiri ini dilakukan dengan batasan masalah berdasarkan pada kondisi sebagai berikut :

1. Drum mini *ketel* berbahan *Stainless Steel*
2. Ketel berskala home industri
3. Volume yang divariasikan 30 liter dan 35 liter
4. Menggunakan bahan bakar gas LPG 3 Kg
5. Tekanan 1,5 Bar

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari rancang bangun alat destilasi minyak atsiri adalah :

1. Merancang alat destilasi minyak atsiri skala home industri yang dapat menjadi acuan pembuatan alat destilasi minyak atsiri yang lebih besar.
2. Merancang alat destilasi yang dapat terjangkau oleh masyarakat.

1.5 Manfaat

1. Bagi penulis, yaitu sebagai bahan untuk menyusun skripsi yang merupakan syarat untuk menyelesaikan pendidikan di Program Studi Keteknikan Fakultas Teknik Pogram Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bagi mahasiswa, sebagai informasi pendukung untuk melakukan penelitian lebih lanjut mengenai alat penyuling minyak atsiri.
3. Bagi petani minyak nilam, sebagai acuan mereka dalam meningkatkan produksinya dengan menggunakan cara yang lebih *moderen* dan *efesien*.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Boiler

Ketel uap (boiler) adalah suatu bejana tertutup yang terbuat dari baja yang digunakan untuk menghasilkan uap panas. Didalam dapur (furnace), energi kimia dari bahan bakar dirubah menjadi panas melalui proses pembakaran dan panas yang dihasilkan sebagian besar diberikan kepada air yang berada didalam ketel sehingga, pengaruh dari proses pemanasan air tersebut berubah menjadi uap. Uap yang dihasilkan dari sebuah ketel dapat digunakan sebagai fluida kerja maupun media pemanas untuk berbagai macam keperluan - keperluan rumah tangga sampai dengan keperluan industry (Effendy, Dwi A. 2013).

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*, *preassure gauge*, dan *thermometer*.

2.2 Prinsip Kerja Boiler

Prinsip kerja *boiler* atau ketel ini yaitu pengubahan dan pemindahan energi yang dikandung bahan bakar menjadi energi yang dikandung uap air. Proses pelepasan energi bahan bakar dilakukan dengan cara mereaksikan bahan bakar dengan oksigen yang diambil dari udara. Pencampuran antara unsur-unsur yang dapat terbakar pada bahan bakar dengan oksigen akan menyebabkan terlepasnya energi yang dikandung bahan bakar. Energi tersebut akan menaikkan tingkat energi gas asap sehingga temperatur gas tersebut naik. Kenaikan temperatur gas yang tinggi menyebabkan terjadinya perpindahan energi panas, baik radiasi maupun konveksi dari gas asap ke dinding air. Energi tersebut diperlukan untuk menaikkan temperatur air menjadi uap. Gas asap yang telah melepaskan energi mengalami penurunan temperatur. Air yang telah diolah di Water Treatment Plant (WTP) yang memiliki konduktifitas nol dan kandungan SiO₂ rendah, biasanya disebut Demineralisasi (Water Luo Chao, Luo Ke, and Gong Yulie. 2017)

Boiler yang dirancang ini adalah *boiler* sederhana yang berjenis *boiler* tabung air, *boiler* ini dibuat dari *Stainless Steel* dan menggunakan bahan bakar gas lpg 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*.

Demineralisasi Water masuk ke dalam Deaerator untuk menghilangkan gas O₂ yang dapat menimbulkan pengkaratan. Di dalam deaerator, air dijatuhkan dari atas dan uap dialirkan ke atas agar pemanasan berlangsung dengan efektif. Air yang telah dipanaskan dialirkan ke dalam boiler untuk dinaikkan temperaturnya dan dijadikan uap. Udara yang diperlukan untuk pembakaran diambil dari ruangan sekitar oleh blower. Udara tersebut kemudian dialirkan ke masing - masing burner dan dicampur dengan bahan bakar dengan komposisi tertentu. Boiler atau ketel uap merupakan suatu bejana tertutup yang terbuat dari baja. Boiler berfungsi untuk mentransfer panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar ke air yang menjadi uap atau steam yang berguna. Uap ini digunakan untuk proses - proses industri, penggerak, pemanas, dan lain - lain. Pencampuran bahan bakar dengan udara pembakaran terjadi di alat pembakar/burner.

2.3 Klasifikasi Ketel Uap

Secara umum ketel dibedakan dalam dua golongan utama yaitu ketel pipa api (*Fire Tube Boiler*) dan ketel pipa air (*Water Tube Boiler*). Untuk membedakan secara terperinci, ketel dapat digolongkan menurut peninjauan dari berbagai segi terhadap ketel tersebut yakni :

2.3.1 Ketel pipa api (*fire tube boiler*)

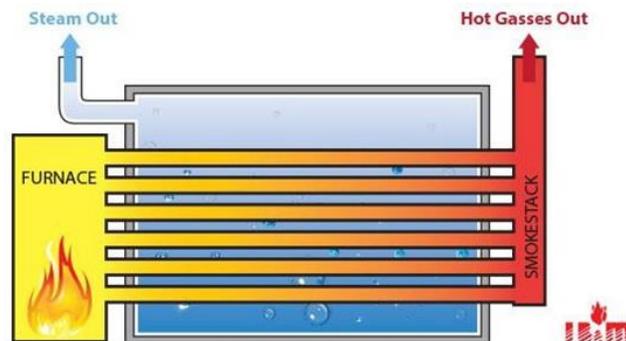
Pada ketel jenis ini api dan gas panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar mengalir melalui pipa - pipa yang dikelilingi oleh air yang berfungsi sebagai penyerap panas. Panas dihantarkan melalui dinding - dinding pipa dari gas - gas panas ke air disekelilingnya. Boiler pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak, gas, dan bahan bakar padat (Muin, Syamsir A. 1988).

Boiler pipa api memiliki keuntungan sebagai berikut:

1. Konstruksi yang relatif lebih kuat.
2. Biaya perawatan murah.
3. Pengoperasian dan perawatan mudah.
4. Flexibilitas dalam pengaturan dan perubahan beban pada saat pengoperasiannya.

Akan tetapi, terdapat juga beberapa hal yang tidak menguntungkan, diantaranya:

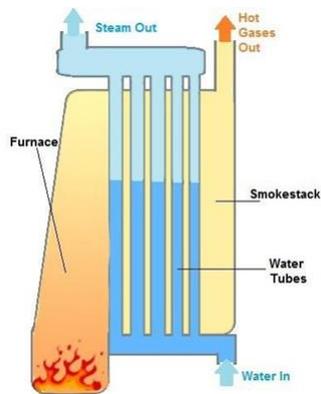
1. Kapasitas kecil
2. Efisiensi termal rendah
3. Lambat mencapai tekanan kerja maksimum



Gambar 2. 1 Ketel pipa api (*fire tube boiler*)

2.3.2 Ketel pipa air (*water tube boiler*)

Ketel pipa air ini adalah ketel yang peredaran airnya terjadi didalam pipa – pipa yang dikelilingi oleh nyala api dan gas panas dari luar susunan pipa. Kontruksi pipa – pipa yang dipasang didalam ketel dapat berbentuk lurus (*Straight Tube*) dan juga dapat berbentuk pengkolan (*Bend Tube*) tergantung dari jenis ketelnya. Pipa – pipa yang lurus dipasang secara paralel didalam ketel dihubungkan dengan *Header*, kemudian *Header* tersebut dihubungkan dengan bejana uap yang dipasang secara *horizontal* diatas susunan pipa, lihat gambar (2.3). Susunan pipa diantara kedua *Header* mempunyai kecondongan tertentu (sekitar 15° dari garis datar) hal ini dimaksudkan agar dapat menimbulkan peredaran air dalam ketel. Contoh ketel yang termasuk kedalam golongan ini adalah *Ketel Benson*, *Ketel Babcock and Wilcox*, *Ketel Lamont*, *Ketel Yarrow*, dan *Ketel Loeffler* (Purna Irawan, Agustinus. 2009).



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 Bagian – Bagian Pada Ketel Uap

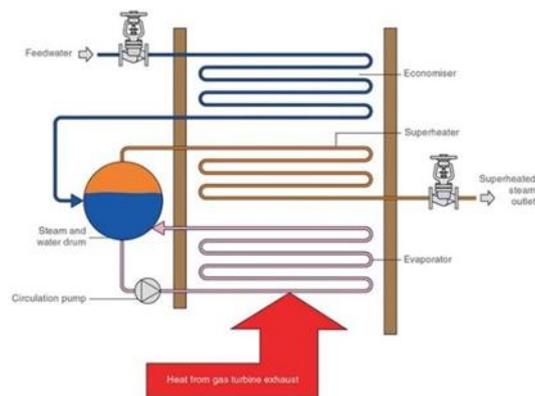


Fig. 3.3.9 A forced circulation water-tube boiler as used on CHP plant

Gambar 2. 3 Bagian - bagian boiler

a). Pemanas Lanjut Uap (*Superheater*)

Pemanas Lanjut Uap (*Superheater*) ialah alat untuk memanaskan uap kenyang menjadi uap yang dipanaskan lanjut. Uap yang dipanaskan lanjut digunakan untuk melakukan kerja dengan jalan ekspansi didalam turbin atau mesin uap tidak akan segera mengembun, sehingga mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya yang disebabkan timbulnya pukulan balik (*Back Stroke*) yang diakibatkan mengembungnya uap belum pada waktunya sehingga menimbulkan vakum ditempat yang tidak semestinya didaerah ekspansi.

b). Ekonomiser

Gas asap setelah meninggalkan *superheater* temperaturnya masih sangat tinggi sekitar 500°C hingga 800°C, sehingga akan menimbulkan kerugian panas yang besar apabila gas asap tersebut langsung dibuang melalui cerobong. Gas asap yang masih panas ini dapat dimanfaatkan untuk memanasi air terlebih dahulu sebelum dimasukan kedalam drum ketel, sehingga air telah dalam keadaan panas, sekitar 30 hingga 50°C dibawah temperatur mendidihnya. Air yang telah dalam keadaan panas pada saat masuk kedalam drum ketel membawa keuntungan karena ditempat air masuk kedalam drum, dinding tidak mengerut sehingga drum ketel dapat lebih awet dengan demikian biaya perawatannya akan menjadi lebih murah.

Keuntungan yang kedua adalah dengan memanfaatkan gas asap yang masih mempunyai temperatur yang tinggi tersebut untuk memanasi air sebelum masuk kedalam drum ketel, berarti akan memperbesar efisiensi dari ketel uap, karena dapat memperkecil kerugian panas yang diderita oleh ketel.

c). Ruang Bakar

Ruang bakar berfungsi sebagai tempat pembakaran bahan bakar. Bahan bakar dan udara dimasukkan kedalam ruang bakar sehingga terjadi pembakaran. Dari pembakaran bahan bakar dihasilkan sejumlah panas dan nyala api/gas asap yang berguna untuk memanasi air ketel.

Dinding ruang bakar umumnya dilapisi dengan pipa-pipa yang berisi air ketel (*waterwall*). Air dalam pipa-pipa ini senantiasa bersirkulasi untuk mendinginkan dinding pipa dan sekaligus berfungsi sebagai pipa penguap. Dari drum atas air turun melalui pipa *downcomer* atau pipa-pipa konveksi dan pada pipa-pipa *waterwall* air naik kembali menuju drum atas. Semakin cepat laju peredaran air, pendinginan dinding pipa bertambah baik dan kapasitas uap yang dihasilkan bertambah besar.

2.5 Komponen Ketel Uap

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



Gambar 2. 4 Boiler / Ketel uap

Sumber : <https://fjb.kaskus.co.id/product/536f930380cf17033a000368/penyulingan-minyak-nilam>

Komponen utama *Boiler* / ketel uap terdiri dari

a. Drum / Tabung Ketel

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. 5 Drum / Tabung ketel

Sumber : <https://www.rumahmesin.com/product/mesin-kondensor-destilasi-minyak-atsirik100/>

b. Pipa spiral

Pipa yang digunakan sebagai suatu sarana untuk berjalannya sistem penyulingan dimana pipa ini menjadi tempat jalannya uap air yang di pasang secara melingkar pada sisi dalam tabung kondensasi guna merubah uap air menjadi air. Hasil pengembunan ini berupa campuran air dan minyak.



Gambar 2. 6 Pipa - pipa air / pipa spiral

Sumber : <https://www.tokopedia.com/find/kondensor-destilasi/c/jawa-barat>

c. Separator

Fungsi dari separator adalah untuk menampung yang keluar dari kondensor dan memisahkan menjadi fraksi minyak dan fraksi air. Cara pemisahan menggunakan antara perbedaan bobot jenis air dan minyak. Maka minyak lebih berat bobot nya dari air akan berada di atas sedangkan air akan berada di bawah.



Gambar 2. 7 Separator

Sumber : <https://elsafta.files.wordpress.com/2010/03/separator.jpg>

2.6 Instrumen Penunjang Rancangan Ketel Uap

a). Manometer / pressure gauge

Manometer adalah alat yang berfungsi mengukur tekanan uap dalam ruang ketel. Pemasangan manometer pada dinding ketel uap ini menggunakan pipa angsa (symphon pipe) yang berfungsi untuk menghindari kesalahan pengukuran, karena temperatur tinggi yang langsung dihubungkan dengan manometer.



Gambar 2. 8 Manometer / Pressure gauge

(Sumber : Fathurohman, 2015)

b). Water level gauge

Water level gauge merupakan alat yang digunakan untuk pengukur ketinggian air (water level gauge). Ketinggian air harus dijaga agar tetap berada pada standart ketinggian air yang ditetapkan. Untuk menjaga agar ketinggian air tetap berada pada ketentuannya, maka dipasang water level gauge dengan berbahan glass sehingga ketinggian air dapat dibaca dari tabung kacanya.



Gambar 2. 9 Selang indikator air

(Sumber : Fathurohman, 2015)

c). Safety valve

Safety valve merupakan alat pengaman yang bekerja bila terdapat tekanan lebih dari ketel uap atau tekanan pada ketel uap melebihi batas tekanan yang diijinkan.



Gambar 2. 10 Safety valve

(Sumber : Fathurohman, 2015)

d). Blowdown valve

Blowdown valve berfungsi membuang air yang ada didalam ketel uap sewaktu-waktu jika ingin melakukan pengurasan. Katup ini juga digunakan untuk memasukan air pengisian.



Gambar 2. 11 Blowdown valve

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

e). Main steam valve

Katub ini berfungsi sebagai pembuka dan penutup jalur utama steam (uap) yang akan digunakan untuk proses merebus/produksi.



Gambar 2. 12 Main steam valve

(Sumber : Fathurohman, 2015)

2.7 Prinsip Kerja *Water Tube Boiler*

Water tube boiler adalah boiler dimana flue gas hasil pembakaran berada diluar pipa dan air berada di dalam pipa, sehingga uap yang dihasilkan berada didalam pipa. Prinsip kerja dari water tube boiler yang ada pada steam engine plant ini, yaitu :

1. Water treatment dari water tank masuk kedalam water tube bagian atas boiler melalui feedwater pump.
2. Air yang ada di *water tube* bagian atas terus mengalir menuju *water tube* yang berada dibagian bawa dari steam drum, air akan mengalir memenuhi seluruh bagian pipa hingga masuk kedalam steam drum dan memenuhi batas set point level yaitu 2,5 liter. Sedangkan *flue gas* yang berasal dari *furnace* akan membakar *water tube*. Karena adanya *flue gas* yang mengalir diluar water tube dan didalam dinding *water tube* terdapat air, maka panas yang yang berada didalam boiler sebagian besar diberikan kepada air yang berada didalam pipa. Sehingga, pengaruh dari proses pemanasan air tersebut berubah menjadi uap.
3. Setelah terjadinya perubahan fasa dari air ke uap di dalam boiler, maka uap jenuh tersebut keluar boiler melalu pipa distribusi. Sedangkan sisa flue gas yang telah melewati pipa – pipa yang berada didalam boiler diteruskan menuju keatas badan boiler dan kemudian dibuang melalui cerobong.

2.8 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

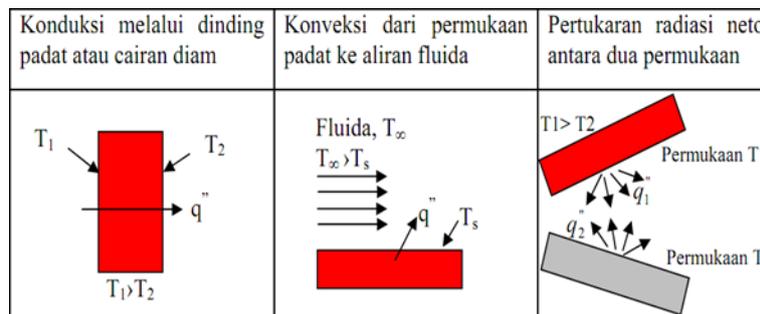
Bahan bakar cair berasal dari minyak bumi. Minyak bumi didapat dari dalam tanah dengan jalan pengeborannya pada ladang- ladang minyak, dan memompanya sampai ke atas permukaan bumi, untuk selanjutnya diolah lebih lanjut menjadi berbagai jenis minyak bakar.

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.

2.9 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi panas/kalor sebagai akibat adanya perbedaan temperatur. Jadi berdasarkan definisi tersebut jika ada perbedaan temperatur antara dua media, perpindahan panas pasti terjadi. Gambar 2.15 memperlihatkan perbedaan cara perpindahan panas tersebut disebut modes of heat transfer, jika ada gradient temperature pada media yang diam, baik pada benda padat ataupun liquid perpindahan panas yang terjadi disebut konduksi. Jika ada gradient temperatur antara benda padat dengan liquid yang mengalir disekitarnya perpindahan panas yang terjadi disebut konveksi.



Gambar 2. 13 Perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi

Semua permukaan yang memiliki temperatur memancarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik, sehingga ada atau tidak ada media perantara perpindahan panas pasti terjadi antara dua permukaan yang berbeda temperaturnya. Perpindahan panas yang demikian ini disebut radiasi.

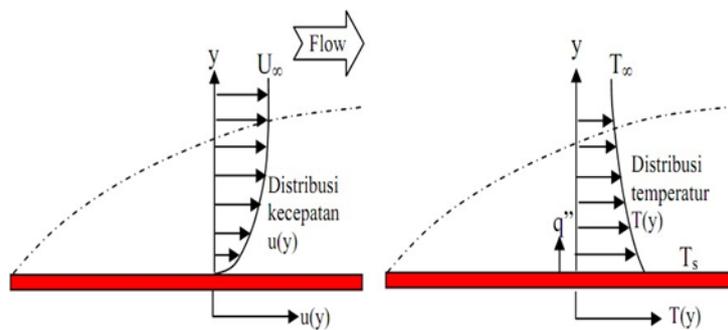
2.9.1 Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas yang bergantung pada aktivitas pada level atom dan molekuler. Konduksi digambarkan sebagai perpindahan panas yang terjadi dari partikel yang berenergi lebih tinggi ke partikel yang berenergi lebih rendah dari suatu media sebagai akibat dari interaksi antar partikel tersebut. Gambar 2.16 memperlihatkan mekanisme tersebut. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa partikel-partikel bergerak secara acak sehingga memungkinkan satu partikel bersinggungan dengan partikel yang lain. Sehingga apabila yang bersinggungan tersebut partikel yang berbeda tingkat energinya maka perpindahan panas pasti terjadi. Jika T_1

> T_2 maka akan terjadi perpindahan panas ke arah sumbu x positif. Karena perpindahan panas konduksi terjadi akibat gerakan acak partikel maka juga disebut difusi energi.

2.9.2 Konveksi

Perpindahan panas konveksi didukung oleh gerakan acak molekuler dan gerakan makroskopik dari fluida diantara permukaan dan lapisan batas. Kontribusi dari gerak acak molekuler (difusi) biasanya lebih dominan di daerah dekat dengan permukaan padat dimana pada daerah tersebut kecepatan aliran makroskopiknya nol. Jadi pada daerah tersebut ($y = 0$) panas dipindahkan melalui mekanisme gerak acak molekuler. Kontribusi dari gerakan makroskopik fluida, dimulai pada daerah dimana sudah terjadi pertumbuhan lapisan batas, yang artinya kecepatan aliran fluida (ke arah sumbu x) meningkat sedikit lebih besar dari nol.



Gambar 2. 14 Pertumbuhan lapisan batas pada perpindahan panas konveksi

Perpindahan panas konveksi juga dikategorikan berdasarkan penyebab terjadinya aliran fluida. Jika aliran fluida yang terjadi disebabkan oleh faktor eksternal seperti: pompa, fan/blower atau juga angin pada udara atmosfer maka perpindahan panas konveksi yang terjadi disebut konveksi paksa. (*forced convection*). Jika aliran fluida dihasilkan oleh tarikan gaya buoyancy yang dihasilkan oleh adanya variasi massa jenis fluida, (variasi massa jenis dihasilkan oleh adanya perbedaan temperatur antara satu lokasi dengan lokasi yang lain dalam satu wadah) maka disebut konveksi bebas atau konveksi alam.

Untuk menghitung fluks panas konveksi dapat menggunakan sebuah persamaan yang dikenal dengan nama NEWTON'S LAW OF COOLING yaitu:

$$q'' = h (T_s - T_\infty) \text{ (W/m}^2\text{)} \dots \dots \dots (2.1)$$

$$q = hA (T_s - T_\infty) \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

q'' : fluks panas konveksi (W/m^2)

T_s : temperatur permukaan padat (K)

T : temperatur rata - rata fluida (K)

h : koefisien perpindahan panas konveksi (disebut juga konduktansi film/lapisan fluida [W/m^2K])

Koefisien perpindahan panas konveksi tersebut tergantung pada kondisi lapisan batas yang tergantung juga pada geometri permukaan, penyebab terjadinya aliran fluida, dan sifat-sifat termodinamika dari fluida. Untuk menyelesaikan beberapa persoalan perpindahan panas konveksi koefisien h tersebut harus diketahui.

2.9.3 Radiasi

Radiasi termal adalah emisi (pancaran) energi dari suatu material yang memiliki temperatur tertentu. Radiasi dapat dipancarkan baik oleh material padat, cair maupun gas. Mekanisme perpindahan panas secara radiasi ini dihubungkan dengan adanya perubahan konfigurasi elektron dari atom atau molekul material yang bersangkutan. Lebih lanjut medan energi radiasi ini dipancarkan sebagai gelombang elektromagnetik. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media seperti perpindahan panas konduksi dan konveksi. Perpindahan panas radiasi akan lebih efektif jika terjadi pada ruang vacuum (Rusnoto, 2008).

Fluks pancaran panas radiasi maksimum dari suatu permukaan dihitung berdasarkan hukum STEFAN - BOLTZMANN yaitu:

$$q''_s = \sigma T^4 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

q'' : fluks pancaran panas radiasi (W/m^2)

σ : konstanta Stefan - Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$)

T_s : temperatur permukaan (K)

2. Perhitungan kapasitas air pada ketel

$$V_{air} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h_{air} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

V_{air} = Volume tabung ketel

d = Diameter tabung ketel

h_{air} = Tinggi air pengisian pada tabung ketel

3. Perhitungan kebutuhan kalor boiler / ketel uap

Analisis untuk mencari kalor yang dibutuhkan oleh boiler, diperlukan beberapa data yang dapat diperoleh dari table Mooran :

Dari temperatur air yang masuk pada boiler 30°C maka, didapatkan harga entalpi sebesar :

$$h_{in\ boiler} = 125,77 \frac{kJ}{Kg} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dari temperature uap 100°C dan Tekanan 1 bar yang keluar boiler maka, didapatkan harga entalpi sebesar :

$$h_{out\ boiler} = 2768,8 \frac{kJ}{Kg} \dots \dots \dots (2.8)$$

4. Untuk nilai Q_{in} diperoleh dari energi panas yang dihasilkan bahan bakar LPG dengan menggunakan rumus :

$$Q_{in} = m_{bb} \times LHV \dots \dots \dots (2.9)$$

Energi yang digunakan untuk memanaskan bahan baku(daun nilam) dapat diketahui dengan cara mengukur suhu awal bahan baku tersebut hingga mendidih atau bergelembung.suhu titik didih dikurangi suhu awal setelah dapat hasilnya lalu dikalikan dengan massa bahan baku dan kalor jenis uap :

$$Q_p = m \times c_p \times \Delta t \dots \dots \dots (2.10)$$

Untuk mengetahui kebutuhan bahan bakar gas pada ketel uap ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$m_{bb} = \frac{\dot{m}_u (h_u - h_a)}{\eta_B \times LHV} \dots\dots\dots (2.11)$$

Rumus diatas digunakan untuk mencari kalor yang dibutuhkan oleh boiler guna menentukan banyaknya massa aliran bahan bakar yang digunakan. Setelah kebutuhan kalor bahan bakar didapatkan melewati perhitungan maka langkah selanjutnya adalah mencari *m_{flue gas}* yang dibutuhkan oleh boiler untuk dapat menghasilkan steam, rumus yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\dot{m}_{flue\ gas} = \frac{Q_{flue\ gas}}{C_p \Delta T} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

- $\dot{m}_{flue\ gas}$: Massa gas yang di butuhkan oleh boiler
- $Q_{flue\ gas}$: Kalor yang dihasilkan oleh flue gas
- C_p : Panas jenis pada tekanan tetap

2.11 Efisiensi Ketel

Efisiensi adalah suatu tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat. Sedangkan efisiensi pada boiler adalah prestasi kerja atau tingkat unjuk kerja boiler atau ketel uap yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja didalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar. Untuk tingkat efisiensi pada boiler atau ketel uap tingkat efisiensinya berkisar antara 70% hingga 90%. Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler :

- a. Metode Langsung : energi yang didapat dari fluida kerja (air dan steam) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar boiler.
- b. Metode Tidak Langsung : efisiensi merupakan perbedaan antara kehilangan dan energi yang masuk.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Tempat di laksanakan nya kegiatan penelitian ini yaitu di Jl. Alwasyiah No. 5 A Kelurahan Simpang Tiga Pekan Kecamatan Perbaungan, Kabupaten Serdang Begadai.

3.1.2 Waktu

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

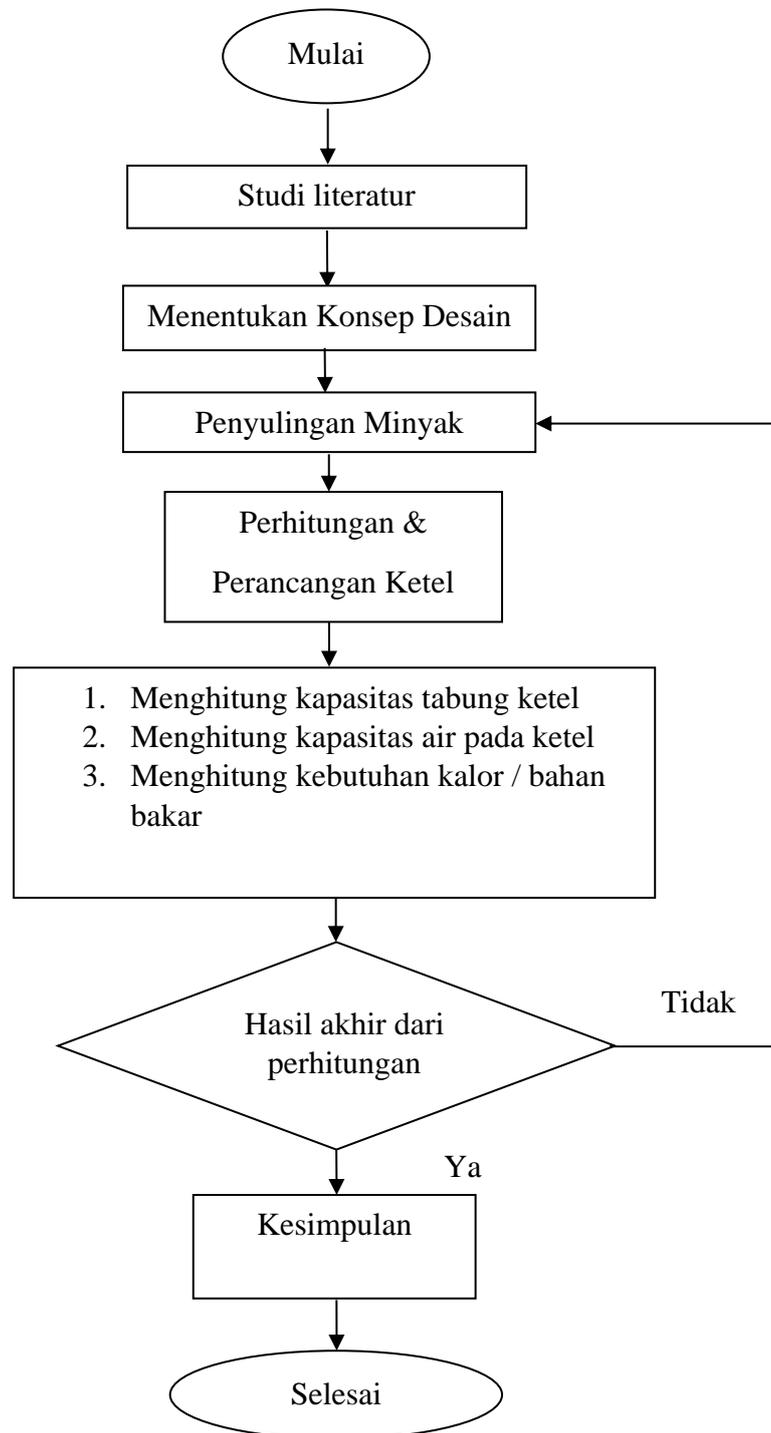
Tabel 3.1 Jadwal dan kegiatan saat melakukan penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi 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

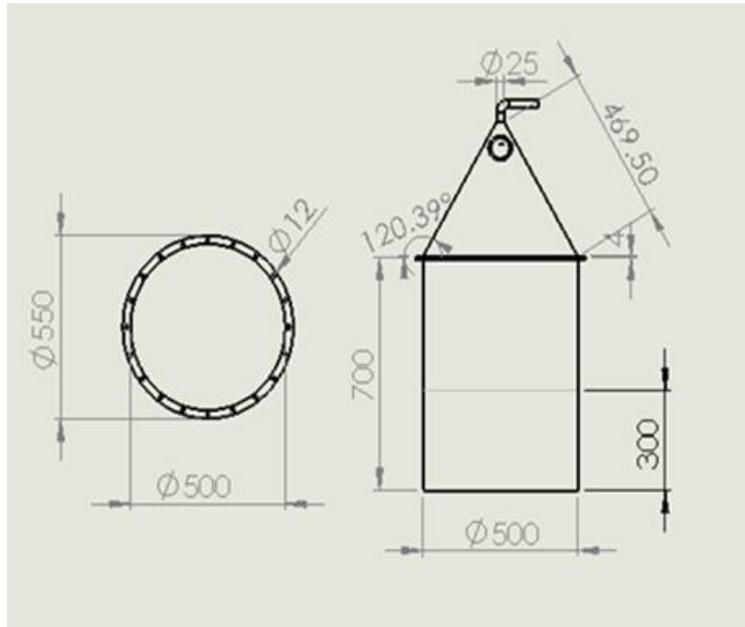
- a. Laptop
- b. Kalkulator
- c. *Software Solidwork 2016*

3.3 Diagram Alir Perancangan *Boiler* / Ketel Uap

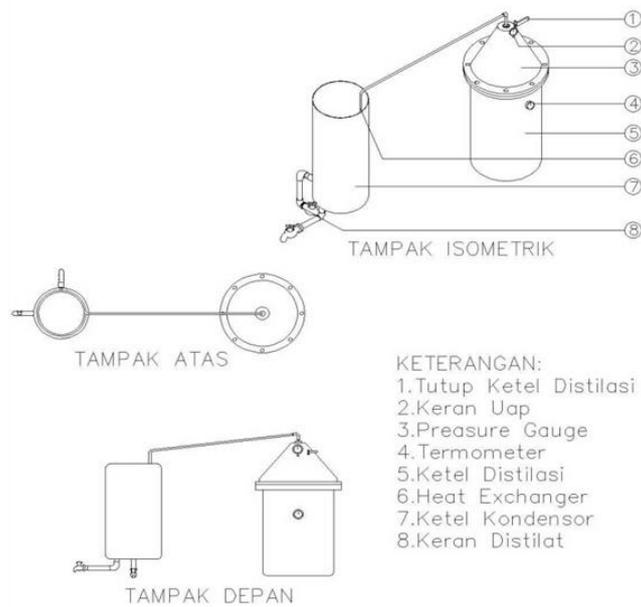


Gambar 3. 1 Diagram Alir Perancangan *Boiler* / Ketel Uap

3.4 Rancangan Alat Penelitian



Gambar 3. 2 Drawing Ketel



Gambar 3. 3 Bagian – Bagin Ketel

3.5 Prosedur Penelitian.

Berikut adalah prosedur penelitian dilakukan dengan prosedur sebagai berikut :

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



Gambar 3. 4 Proses penyincangan daun nilam

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



Gambar 3. 5 Penjemuran daun nilam

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



Gambar 3. 6 Pengisian air pada ketel



Gambar 3. 7 Pengisian air kondensor

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



Gambar 3. 8 Memasang saringan

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



Gambar 3. 9 Proses pengisian daun nilam kedalam ketel

6. Memasang penutup ketel setelah tabung ketel di isi air dan daun nilam



Gambar 3. 10 Memasang tutup ketel

7. Mengisi air di bak pendingin agar suhu dari kondensor tetap terjaga karena air di bak kondensor bersirkulasi sehingga dapat menormalkan suhu dari tabung dan pipa kondensor



Gambar 3. 11 Pengisian air pada bak pendingin

8. Kemudian stopwatch diamati berapa waktu yang dibutuhkan mesin dalam proses penyulingan minyak nilam dari awal minyak nilam menetes sampai tetesan akhir membutuhkan waktu hingga 4 Jam



Gambar 3. 12 Perhitungan waktu

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



Gambar 3. 13 Pemasangan 4 titik thermocouple

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

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

10. Mengukur suhu minyak nilam dengan thermokopel



Gambar 3. 14 Pengukuran suhu minyak nilam menggunakan thermocouple

Keterangan tujuan pengukuran suhu minyak nilam :

Untuk mengetahui suhu minyak yang keluar pada saat proses penyulingan.

BAB 4 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain Ketel Uap



Gambar 4. 1 Alat penyulingan daun nilam skala *home industry*

Desain *boiler* / ketel uap yang telah didapat berikut ini adalah merupakan hasil dari pengumpulan data dari literatur, survei lapangan dan perhitungan - perhitungan yang telah dilakukan. Spesifikasi perancangan boiler didapatkan data sebagai berikut :

Peralatan	: Ketel Pipa Air Mini
Kapasitas uap	: 25 kg / jam
Tekanan uap	: 1,5 - 2 Bar (Jenuh Saturasi)
Temperature suplai air	: 28°C (Normal)
Efisiensi ketel uap	: 70 % (Diasumsikan)
Bahan bakar	: Gas LPG
Nilai Kalor LPG, LHV	: 11254,61 kkal/kg (47111 kJ/kg) (Pertamina, 2011)

4.2 Perhitungan Analisa Data Bahan Baku Daun Nilam 3 Kg

Dari hasil eksperimental pada tekanan 2 bar diperoleh data

Tabel 4.1 Kebutuhan Bahan Bakar

Kegiatan Percobaan	Kebutuhan Bahan Bakar (Kg)
1	5,5
2	3,6

dengan nilai LHV LPG = 47111 j/kg, jadi untuk menghitung energi bahan bakar digunakan rumus:

1. Percobaan Pertama (Waktu 2jam 30menit)

$$Q_1 = m_{lpg} \times LHV_{lpg}$$

$$Q_1 = 5,5 \text{ kg} \times 47111,8 \text{ j/kg}$$

$$Q_1 = 259.114,9 \text{ j}$$

2. Percobaan kedua (Waktu 2jam 30menit)

$$Q_2 = m_{lpg} \times LHV_{lpg}$$

$$Q_2 = 3,6 \text{ kg} \times 47111,8 \text{ j/kg}$$

$$Q_2 = 169.602,48 \text{ j}$$

Perhitungan Massa Air Menjadi Uap

Dari hasil eksperimental pada tekanan 2 bar diperoleh data

Tabel 4.2 Massa Air

Kegiatan Percobaan	Massa Awal(Kg)	Massa Akhir(Kg)
1	30	27
2	30	28,5

dengan data yang didapat maka untuk menghitung massa air menjadi uap menggunakan rumus :

1. Percobaan Pertama

$$m_{\text{airyangmenjadiuap}} = m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}$$

$$m_{\text{airyangmenjadiuap}} = 30\text{kg} - 27\text{kg}$$

$$m_{\text{airyangmenjadiuap}} = 3\text{kg}$$

2. Percobaan Kedua

$$m_{\text{airyangmenjadiuap}} = m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}$$

$$m_{\text{airyangmenjadiuap}} = 30\text{kg} - 28,5\text{kg}$$

$$m_{\text{airyangmenjadiuap}} = 1,5\text{kg}$$

Perhitungan Analisa Data Bahan Baku Daun Nilam 5 Kg

Dari hasil eksperimental pada tekanan 2 bar diperoleh data

Tabel 4.3 Kebutuhan Bahan Bakar

Kegiatan Percobaan	Kebutuhan Bahan Bakar (Kg)
1	6
2	5,5

dengan nilai LHV LPG = 47111 j/kg, jadi untuk menghitung energi

bahan bakar digunakan rumus:

1. Percobaan Pertama (Waktu 4jam)

$$Q_1 = m_{\text{lpg}} \times LHV_{\text{lpg}}$$

$$Q_1 = 6\text{ kg} \times 47111,8\text{ j/kg}$$

$$Q_1 = 282.670,8\text{ j}$$

2. Percobaan kedua (Waktu 4jam)

$$Q_2 = m_{\text{lpg}} \times LHV_{\text{lpg}}$$

$$Q_2 = 5,5\text{ kg} \times 47111,8\text{ j/kg}$$

$$Q_2 = 259.114,9\text{ j}$$

Perhitungan Massa Air Menjadi Uap

Dari hasil eksperimental pada tekanan 2 bar diperoleh data

Tabel 4.4 Massa Air

Kegiatan Percobaan	Massa Awal(Kg)	Massa Akhir(Kg)
1	30	28,5
2	30	28,3

dengan data yang didapat maka untuk menghitung massa air menjadi uap menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} 1. \text{ Percobaan Pertama } m_{\text{air yang menjadi uap}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}} \\ m_{\text{air yang menjadi uap}} &= 30 \text{ kg} - 28,5 \text{ kg} \\ m_{\text{air yang menjadi uap}} &= 1,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Percobaan Kedua } m_{\text{air yang menjadi uap}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}} \\ m_{\text{air yang menjadi uap}} &= 30 \text{ kg} - 28,3 \text{ kg} \\ m_{\text{air yang menjadi uap}} &= 1,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

Tekanan uap yang diproduksi ketel uap air mini adalah tekanan absolut, $p = 1,5$ bar abs ($p = 2$ bar). Entalpi spesifik pada tekanan 2 bar abs dan kondisi saturasi (*steady state*) atau kondisi teoritis ideal yaitu $h_a = h_f = 2739$ kJ/kg. Temperatur suplai air umpan ketel atau ketel ada temperatur normal pada 30°C , maka diperoleh entalpi spesifiknya yaitu :

$$h_a = h_f = 117,3 \text{ kJ/kg.}$$

Kapasitas uap yang dihasilkan ketel uap adalah

$$Q_{\text{uap}} = \frac{25}{3600 \text{ detik} \times 6} = 0,001157 \text{ kg/dtk}$$

Maka kebutuhan bahan bakar dapat dihitung yaitu :

$$m_{bb} = \frac{25 (2739 - 117,3)}{0,7 \times 47111,8} = 0,000551 \text{ kg/dtk} = 1,98385 \text{ kg/jam}$$

4.2.1 Perhitungan Kalor *Boiler*

Analisis untuk mencari kalor yang dibutuhkan oleh boiler, diperlukan beberapa data yang dapat diperoleh dari table Mooran :

Dari temperatur air yang masuk pada boiler 30°C maka, didapatkan harga entalpi sebesar :

$$h_{in\ boiler} = 125,77 \frac{kJ}{Kg}$$

Dari temperature uap 100°C dan Tekanan 1 bar yang keluar *boiler* maka, didapatkan harga entalpi sebesar :

$$h_{out\ boiler} = 2768,8 \frac{kJ}{Kg}$$

4.2.2 Perhitungan Bahan Bakar *Boiler*

Analisis untuk mencari $\dot{m}_{flue\ gas}$ dan temperatur rata – rata yang diserap oleh air (T_{cm}). Semua data di dapat dari tabel A-4 dan tabel A-6 pada buku “*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*” Sevent Edition.

1. Dari tabel A-4 (Udara)

$$T_{hm} = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

$$T_{hm} = \frac{100 + 400}{2} = 275\ ^\circ\text{C} = 550\ ^\circ\text{K}$$

Data diperoleh,

$$C_p = 1040 \frac{J}{Ka \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$\mu = 288,4 \times 10^{-7} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$k = 43,9 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot ^\circ\text{K}}$$

$$\text{Pr} = 0,683$$

2. Dari tabel A-6 (Air)

Asumsi temperature rata - rata (T_{∞}) $\approx 100^{\circ}\text{C} = 373^{\circ}\text{K}$. kemudian diperoleh data dari interpolasi sebagai berikut :

$$C_p = 4127 \frac{J}{Ka \cdot ^{\circ}\text{K}}$$

$$\mu = 279 \times 10^{-6} \frac{N \cdot s}{m^2}$$

$$k = 680 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot ^{\circ}\text{K}}$$

$$\text{Pr} = 1,76$$

Perhitungan kalor yang dibutuhkan dengan persamaan dibawah ini :

Dik : $Q = \text{Kalor yang dibutuhkan (J)}$

$$m = \text{masa air pengisian ketel} = 11,35 \text{ kg} = 11.350 \text{ gram}$$

$$c = \text{Kalor jenis air} = 10.069 \text{ kal/gram } ^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = \text{Perubahan temperatur } 70^{\circ}\text{C}$$

Dit $= Q ?$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$Q = 11.350 \text{ gram} \times 10.069 \text{ kal/gram } ^{\circ}\text{C} \times 70^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 79998205 \text{ kJ}$$

$$Q = \rho_{\text{air}} \cdot V_{\text{air}} \cdot \Delta t$$

$$= 995,1 \times 58.875 \times 10.069 (100 - 30)$$

$$= 4129353,1 \text{ kJ}$$

Selanjutnya untuk mendapatkan waktu pemanasan awal dapat dihitung menggunakan persamaan;

$$Q1 = Q2$$

$$Q1 = \text{kalor ketel} = 7.999.820,5 \text{ kJ}$$

$$Q2 = \text{kalor yang dibutuhkan untuk penguapan} = 4.129.353,1 \text{ kJ}$$

$$Q1 = Q2$$

$$\text{Waktu penguapan awal} = \frac{1}{28,72} \cdot \text{jam} = 2,5 \text{ menit}$$

Jadi, dari perhitungan didapatkan waktu penguapan awal sebesar 2,5 menit. Artinya air mulai menguap pada 2,5 menit dengan bahan bakar maksimal.

4.2.3 Kapasitas produksi ketel

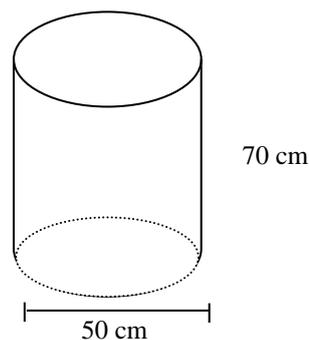
Untuk mendapatkan kapasitas produksi perjam, maka perlu dilakukan perhitungan pada bagian volume tabung ketel dengan memperkirakan jumlah nilam yang bisa ditampung oleh tabung ketel ialah $0,275 \text{ Kg/m}^3$. Kemudian, hasil dari perhitungan mesin tersebut disesuaikan dengan volume air yang bisa diisi oleh ketel tersebut.

Dik : $D = 50 \text{ cm}$
 $t = 70 \text{ cm}$

Dit : $V = ?$

Jawab : $V_{\text{ketel}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot t$
 $= \frac{3,14 \cdot 50^2 \text{ cm}}{4} \cdot 70 \text{ cm} = 137,375 \text{ cm}^3$

$$V_{\text{ketel}} = 137,375 \text{ cm}^3$$
$$= 1,374 \text{ m}^3$$



4.2.4 Menghitung Volume Air

Dik : $D = 50 \text{ cm}$

$h_{\text{air}} = 30 \text{ cm}$

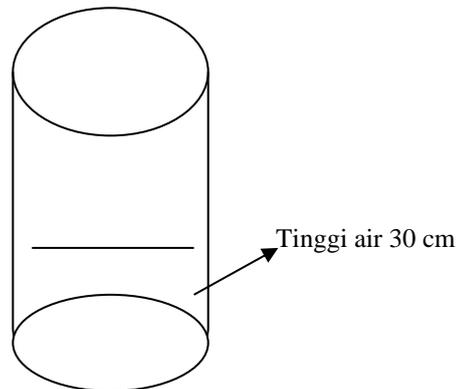
Dit : $V_{\text{air}} = ?$

Jawab : $V_{\text{air}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h_{\text{air}}$

$$= \frac{3,14 \cdot 50^2 \text{ cm}}{4} \cdot 30 \text{ cm} = 58875 \text{ cm}^3$$

$$V_{\text{air}} = 58875 \text{ cm}^3$$

$$= 0,058875 \text{ m}^3$$



4.2.5 Menentukan Volume Daun Nilam

Dik : $D = 50 \text{ cm}$

$h_{\text{nilam}} = 40 \text{ cm}$

Dit : $V_{\text{nilam}} = ?$

Jawab : $V_{\text{nilam}} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times h_{\text{nilam}}$

$$= \frac{3,14}{4} \times 50^2 \times 40$$

$$= 78500 \text{ cm}^3 = 0,0785 \text{ m}^3$$

4.2.6 Perhitungan Massa Air

$$Dik : \quad \rho_{air} = 995,1 \text{ kg/m}^3 \text{ (Pada Suhu } 30^\circ \text{ C)}$$

$$V_{air} = 0,058875 \text{ m}^3$$

$$Dit : \quad M_{air} = ?$$

$$\begin{aligned} Jawab : \quad M_{air} &= \rho_{air} \times V_{air} \\ &= 995,1 \times 0,058875 \\ &= 58,586 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.2.7 Perhitungn Massa Nilam

$$Dik : \quad \rho_{nilam} = 63,6 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{nilam} = 0,0785 \text{ m}^3$$

$$Dit : \quad M_{nilam} = ?$$

$$\begin{aligned} Jawab : \quad M_{nilam} &= \rho_{nilam} \times V_{nilam} \\ &= 63,6 \times 0,0785 \\ &= 5 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.3 Perhitungan Tekanan Air

$$D_b = \text{Diameter badan ketel} = 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m}$$

$$t_b = \text{Tinggi badan ketel} = 70 \text{ cm} = 0,7 \text{ m}$$

$$l_t = \text{Luas dinding pipa ketel} = 94 \text{ cm} = 0,94 \text{ m}$$

$$D_t = \text{Diameter pipa ketel} = 1,27 \text{ cm} = 0,0127 \text{ m}$$

$$t_t = \text{Tinggi pipa ketel} = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$d_b = \text{Diameter dapur} = 49 \text{ cm} = 0,49 \text{ m}$$

$$t_d = \text{Tinggi dapur ketel} = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

a. Luas dinding badan ketel

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L_{dinding \text{ badan ketel}} = \pi \cdot D_b \cdot t_b$$

$$L_{dinding \text{ badan ketel}} = 1,099 \text{ m}^2$$

b. Luas pipa total

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$L_{\text{pipa}} (\text{total}) = l_{\text{pipa air}} \cdot \text{Jumlah pipa air}$$

$$L_{\text{pipa}} (\text{total}) = 2,82 \text{ m}^2$$

c. Total permukaan

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Total}_{\text{permukaan}} = l_{\text{dinding badan ketel}} + l_{\text{pipa}} (\text{total}) + l_{\text{dapur}}$$

$$\text{Total}_{\text{permukaan}} = 4,3806 \text{ m}^2$$

d. Tekanan kerja

Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Tekanan Kerja} = \frac{M_{\text{air}}}{\text{Total Permukaan}}$$

$$\text{Tekanan Kerja} = 4,3806 \text{ m}^2$$

Tabel 4.5 Karakteristik Minyak Nilam Berdasarkan SNI

Karakteristik	SNI-06-2385-1998
Warna	Kuning muda sampai coklat tua
Bobot jenis, 20°C	0,943-0,983
Indeks bias, 25°C (n_D^{25})	1,504-1,514
Bilangan asam	Maks 5,0
Bilangan ester	Maks 10,0
Kelarutan dalam alkohol 90 %	1:1
Minyak kring	Tidak nyata
Minyak lemak	Negatif (-)
Minyak pelikan	Negatif (-)
Putaran optik	(-47°)-(-66°)
Patchouli alkohol (%)	Dicantumkan sesuai hasil uji

Mutu minyak nilam yang memenuhi standar SNI dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain bibit yang baik, teknik budidaya yang tepat, umur panen yang cukup, dan penanganan bahan yang tepat sebelum penyulingan (Hayani, 2005). Minyak nilam juga harus memenuhi standar ISO, standar ini digunakan untuk menentukan baku mutu dari minyak nilam yang dapat diterima oleh dunia.

BAB 5

KESIMPILAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis perancangan yang telah dilakukan, 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
3. Berdasarkan perhitungan desain yang dilakukan dengan alat yang sudah dijalankan, mendapatkan hasil yang sesuai dengan performa. Pressure steam yang dihasilkan pada temperature berkisar 100-150°C, sesuai dengan design yang di tentukan.

5.2 Saran

Pada analisis perhitungan dan perencanaan water tube boiler ini masih banyak hal yang perlu disempurnakan oleh analisis – analisis selanjutnya. Oleh karena itu diberikan saran - saran sebagai berikut :

1. Untuk perancangan selanjutnya disarankan untuk menggunakan kompor high pressure agar panas steam yang dihasilkan akan lebih bagus dan juga pembakaran akan lebih sempurna sehingga tidak akan terjadi losses yang banyak saat pembakaran terjadi.
2. Perlu ditetapkannya timeline dari awal pengerjaan sampai akhir dan kesepakatan dari masing-masing anggota kelompok mengenai timeline tersebut sehingga pengerjaan alat berjalan sesuai dengan timeline. Perencanaan dan perancangan yang lebih matang dengan mengacu pada refrensi – refrensi nasional maupun internasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Reynolds, W.C., & Perkins, H.C. 1983. *Termodinamika Teknik*. Jakarta Pusat: Erlangga.
- ASME Section IV : Heating Boilers
- Luo Chao, Luo Ke, Wang Youngzhen, Ma Zhitong, and Gong Yulie. 2017. "The Effect of Analysis of Thermal Efficiency and Optimal Design for Boiler System."
- Stoecker, W.F., Jerold W. Jones dan Supratman Hara. 1982. "Refrigerasi dan Pengkondisian Udara Edisi Kedua". Jakarta: Erlangga
- Bindar, Y., & Abdulkadir, M. (2014). *Kriteria Boiler Ramah Lingkungan* (Issue February 2014).
- Alviani, S., & Amri, Y. (2019). Analisis Kuantitatif Air Boiler di PT . SISIRAU Aceh Tamiang. *Jurnal Kimia Sains Dan Terapan*, 1(2), 1–5.
- Muin A. Syamsir. 1998. "Pesawat-pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)". Edisi Pertama. Penerbit CV. Rajawali. Jakarta.
- Effendy, Dwi A. 2013 "Rancang Bangun Boiler Untuk Proses Pemanasan Sistem Uap Pada Industri Tahu Dengan Menggunakan Catia V5" Semarang.
- Purna Irawan, Agustinus. "Diktat Elemen Mesin" Universitas Tarumanagara. 2009
- Fathurohman, A. (2015). *Cara Membuat Boiler Pipa Api Sederhana*.
<http://thermodinamic-amanahfiransilady.blogspot.com/2015/03/cara-membuat-boiler-pipa-api-sederhana.html>.
- Sugiharto A, 2006, Tinjauan Teknis Pengoprasian & Pemeliharaan Boiler, Vol 6 No. 2
- Cristin Pakpahan, B. H., 2019, Analisis Performansi Boiler Jenis Pipa Air Merk Takuma Dengan Tekanan Kerja 24 Bar Dan Kapasitas 45 Ton/Jam Di PT Multimas Nabati Asahan, Medan: Politeknik Negeri Medan.
- Djoko Setyardjo MJ. 2014. Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap, Pradya Paramita, Jakarta.
- Maulana, I. (2019). Analisis Efisiensi Bahan Bakar Ketel Uap Berkapasitas 13 Ton/Jam Di PT. Pacific Palmindo Industri (Doctoral dissertation).

- Agustira, R, Muhammad Razi, & Syukran, 2017, Rancang Bangun Boiler Vertikal Fire Tube Berbahan Gas Elpiji Untuk Proses Penyulingan Minyak Nilam, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jurnal Mesin Sains Terapan, 1 (1), dalam <http://ejurnal.pnl.ac.id/index.php/mesinsainsterapan/article/viewFile/386/-341>, di akses pada 11 Januari 2018.
- Prasetyo, V. (2018). Rancang Bangun Mini Ketel Uap Kapasitas 30 Liter/30 Menit Dengan Penggabungan Jenis Pipa Api Dan Jenis Pipa Air. Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Nusantara PGRI Kediri.
- Yohana, Eflita, dan Askhabulyamin, 2012, Perhitungan Efisiensi dan Konversi dari Bahan Bakar Solar ke Gas pada Boiler EBARA HKL 1800 KA, Jurnal Teknik Mesin, 14:7-10.
- Luthfi, M, et al. (2018). Rancang Bangun Boiler dan Tangki Penguapan Minyak Atsiri Pada Mesin Destilator Dengan Metode Uap Berbahan Baku Daun Serai (Cymbopogon Nardus).
- Chandra A Siregar, dkk. 2019. *STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KEMIRINGAN SUDUT TERHADAP ALAT DESTILASI AIR LAUT MEMANFAATKAN ENERGI MATAHARI* . Medan. Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Tabel Thermo Material 1

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids^a

Composition	Melting Point (K)	Properties at 300 K				Properties at Various Temperatures (K)									
		ρ (kg/m^3)	c_p ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)	k ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)	$\alpha \cdot 10^6$ (m^2/s)	100	200	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500
Aluminum Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218					
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	186	146					
Alloy 195-Cast (4.5% Cu)		2790	883	168	68.2	473	787	925	1042						
Beryllium	1550	1850	1825	200	59.2	990	301	161	126	106	90.8	78.7			
Bismuth	545	9780	122	7.86	6.59	203	1114	2191	2604	2823	3018	3227	3519		
Boron	2573	2500	1107	27.0	9.76	112	120	127							
Cadmium	594	8650	231	96.8	48.4	203	99.3	94.7							
Chromium	2118	7160	449	93.7	29.1	159	111	90.9	80.7	71.3	65.4	61.9	57.2	49.4	
Cobalt	1769	8862	421	99.2	26.6	167	122	85.4	67.4	58.2	52.1	49.3	42.5		
Copper Pure	1358	8933	385	401	117	482	413	393	379	366	352	339			
Commercial bronze (90% Cu, 10% Al)	1293	8800	420	52	14	252	356	397	417	433	451	480			
Phosphor gear bronze (89% Cu, 11% Sn)	1104	8780	355	54	17		785	460	545						
Cartridge brass (70% Cu, 30% Zn)	1188	8530	380	110	33.9	75	95	137	149						
Constantan (55% Cu, 45% Ni)	1493	8920	384	23	6.71	17	19	360	395	425					
Germanium	1211	5360	322	59.9	34.7	232	96.8	43.2	27.3	19.8	17.4	17.4			
						190	290	337	348	357	375	395			

LAMPIRAN 2

Tabel Thermo Material 2

TABLE A.1 Continued

Composition	Melting Point (K)	Properties at 300 K				Properties at Various Temperatures (K)											
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg·K)	k (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	400	600	800	1000	1200	1500	2000	2500				
Gold	1336	19300	129	317	127	327	323	311	298	284	270	255					
Iridium	2720	22500	130	147	50.3	109	124	131	135	140	145	155					
Iron																	
Pure	1810	7870	447	80.2	23.1	134	94.0	69.5	54.7	43.3	32.8	28.3	32.1				
Armco (99.75% pure)		7870	447	72.7	20.7	216	384	490	574	680	975	609	654				
Carbon steels																	
Plain carbon (Mn \leq 1%, Si \leq 0.1%)		7854	434	60.5	17.7			56.7	48.0	39.2	30.0						
ASTM 1010		7832	434	63.9	18.8			487	559	685	1169						
Carbon/silicon (Mn \leq 1%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		7817	446	51.9	14.9			58.7	48.8	39.2	31.3						
Carbon/manganese/silicon (1% < Mn \leq 1.65%, 0.1% < Si \leq 0.6%)		8131	434	41.0	11.6			487	559	685	1090						
Chromium (low) steels																	
1Cr4Mn4Si (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mn, 0.6% Si)		7822	444	37.7	10.9			38.2	36.7	33.3	26.9						
1Cr4Mn (0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mn, 0.39% Si)		7858	442	42.3	12.2			492	575	688	969						
1Cr4V (0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)		7836	443	48.9	14.1			492	575	688	969						

LAMPIRAN 4

Tabel Steam / Uap 1

TABLE B.1 Saturated Water: Temperature Table

T °C	P kPa, MPa	v_g m ³ /kg	u_g m ³ /kg	h_g kJ/kg	Δh_{fg} kJ/kg	u_g kJ/kg	h_g kJ/kg	Δh_{fg} kJ/kg	f_{h_g} kJ/kg	f_{h_g} kJ/kg	s_g kJ/kg K	Δs_{fg} kJ/kg K
0.01	0.6113	0.001000	206.132	0.00	2375.3	2375.3	2501.3	2501.3	0.00	2501.3	0.0000	9.1562
5	0.8721	0.001000	147.118	20.97	2361.3	2382.2	2489.6	2510.5	20.98	2489.6	0.0761	8.9496
10	1.2276	0.001000	106.377	41.90	2347.2	2390.2	2477.7	2519.7	41.99	2477.7	0.1510	8.7498
15	1.7051	0.001001	77.925	62.98	2333.1	2396.0	2465.9	2528.9	62.98	2465.9	0.2245	8.5569
20	2.3385	0.001002	57.790	83.94	2319.0	2402.9	2454.1	2538.1	83.94	2454.1	0.2966	8.3706
25	3.1691	0.001003	43.359	104.86	2304.9	2409.8	2442.3	2547.2	104.87	2442.3	0.3673	8.1905
30	4.2461	0.001004	32.893	125.77	2290.8	2416.6	2430.5	2556.2	125.77	2430.5	0.4369	8.0164
35	5.6280	0.001006	25.216	146.65	2276.7	2423.4	2418.6	2565.3	146.66	2418.6	0.5052	7.8478
40	7.3837	0.001008	19.523	167.53	2262.6	2430.1	2406.7	2574.3	167.54	2406.7	0.5724	7.6845
45	9.5934	0.001010	15.258	188.41	2248.4	2436.8	2394.8	2583.2	188.42	2394.8	0.6386	7.5261
50	12.350	0.001012	12.032	209.30	2234.2	2443.5	2382.7	2592.1	209.31	2382.7	0.7037	7.3725
55	15.758	0.001015	9.568	230.19	2219.9	2450.1	2370.7	2600.9	230.20	2370.7	0.7679	7.2224
60	19.941	0.001017	7.671	251.00	2205.5	2456.6	2358.5	2609.6	251.11	2358.5	0.8311	7.0784
65	25.033	0.001020	6.197	272.00	2191.1	2463.1	2346.2	2618.2	272.03	2346.2	0.8934	6.9375
70	31.188	0.001023	5.042	292.93	2176.6	2469.5	2333.8	2626.8	292.96	2333.8	0.9548	6.8004
75	38.578	0.001026	4.131	313.87	2162.0	2475.9	2321.4	2635.3	313.91	2321.4	1.0154	6.6670
80	47.390	0.001029	3.407	334.84	2147.4	2482.2	2308.8	2643.7	334.88	2308.8	1.0752	6.5369
85	57.834	0.001032	2.828	355.82	2132.6	2488.4	2296.0	2651.9	355.88	2296.0	1.1342	6.4102
90	70.139	0.001036	2.361	376.82	2117.7	2494.5	2283.2	2660.1	376.90	2283.2	1.1924	6.2966
95	84.554	0.001040	1.982	397.96	2102.7	2500.6	2270.2	2668.1	397.94	2270.2	1.2500	6.1659
100	0.10135	0.001044	1.6729	418.91	2087.6	2506.5	2257.0	2676.0	418.92	2257.0	1.3068	6.0480
105	0.12082	0.001047	1.4194	440.00	2072.3	2512.3	2243.7	2683.8	440.13	2243.7	1.3629	5.9328

LAMPIRAN 5

Tabel Steam / Uap 2

$P = 200 \text{ kPa}$					$P = 300 \text{ kPa}$					$P = 400 \text{ kPa}$				
T	\hat{v}	\hat{u}	\hat{h}	\hat{s}	T	\hat{v}	\hat{u}	\hat{h}	\hat{s}	T	\hat{v}	\hat{u}	\hat{h}	\hat{s}
$^{\circ}\text{C}$	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	$^{\circ}\text{C}$	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg	$\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
sat	0.88573	2539.5	2706.6	7.1271	sat	0.60592	2543.6	2725.3	6.9918	sat	0.46246	2533.6	2738.5	6.9358
150	0.95664	2576.9	2768.8	7.2785	150	0.63398	2570.8	2761.0	7.0778	150	0.47084	2564.5	2752.8	6.9299
200	1.08034	2654.4	2870.5	7.5066	200	0.71629	2650.7	2865.5	7.3115	200	0.53422	2646.8	2880.5	7.1706
250	1.19980	2731.2	2971.0	7.7085	250	0.79636	2728.7	2967.6	7.5165	250	0.58512	2726.1	2964.2	7.3788
300	1.31616	2808.6	3071.8	7.8926	300	0.87529	2806.7	3069.3	7.7022	300	0.65484	2804.8	3066.7	7.5661
400	1.54930	2966.7	3276.5	8.2217	400	1.03151	2965.5	3275.0	8.0329	400	0.77262	2964.4	3273.4	7.8084
500	1.79139	3130.7	3467.0	8.5132	500	1.18669	3130.0	3486.0	8.3250	500	0.89034	3129.2	3484.9	8.1012
600	2.01297	3301.4	3704.0	8.7760	600	1.34126	3300.8	3703.2	8.5892	600	1.00555	3300.2	3702.4	8.4557
700	2.24426	3478.8	3927.7	9.0194	700	1.48573	3478.4	3927.1	8.8319	700	1.12147	3477.9	3926.5	8.6987
800	2.47530	3663.2	4158.3	9.2450	800	1.64094	3662.9	4157.8	9.0575	800	1.23722	3662.5	4157.4	8.9244
900	2.70643	3854.5	4385.8	9.4565	900	1.80406	3854.2	4385.4	9.2991	900	1.35288	3853.9	4385.1	9.1361
1000	2.93740	4052.5	4640.0	9.6563	1000	1.95812	4052.3	4639.7	9.4689	1000	1.46847	4052.0	4639.4	9.3060
1100	3.16834	4257.0	4900.7	9.8458	1100	2.11214	4256.8	4900.4	9.6585	1100	1.58404	4256.5	4900.1	9.5255
1200	3.39927	4467.5	5147.3	10.0262	1200	2.26614	4467.2	5147.1	9.8389	1200	1.69958	4467.0	5146.8	9.7059
1300	3.63018	4683.2	5400.3	10.1982	1300	2.42013	4683.0	5400.0	10.0109	1300	1.81511	4682.8	5400.8	9.8789

LAMPIRAN 6

Tabel Tabel Thermophysical Properties of Gases

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	257	0.719

LAMPIRAN

Gambar Alat Destilasi Penyulingan atau *Boiler* / Ketel Uap



LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Perancangan Ketel Pada Alat Penyulingan Daun Nilam Menjadi Minyak Atsiri
Kapasitas 5 Kg Bahan Baku

Nama : Bayu Setiawan
NPM : 1607230115

Dosen Pembimbing : H. Muharnif, S.T., M.Sc

Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1. Selasa, 8 / maret '23	Asistensi metode penelitian	f
2. Kamis, 23 / maret '23	Asistensi Bab 3	f
3. Jum'at, 25 / maret '23	Asistensi perhitungan	f
4. Rabu, 12 / April '23	Revisi prosedur per- rancangan.	f
5. Kamis, 27 / April '23	Revisi rumus per- hitungan	f
6. Senin, 17 / Juli '23	Asistensi Kesimpulan.	f
7. Rabu, 25 / Juli '23	Acc seminar Hasil	f

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Data Pribadi

Nama Lengkap : Bayu Setiawan
Tempat, Tanggal Lahir : Cinta Rakyat, 14 Juni 1997
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Warga Negara : Indonesia
Alamat : Jl. Diponegoro Dusun II Percut Sei Tuan
Anak Ke : 2 Dari 2 Bersaudara

Data Orang Tua

Ayah : Sujiman
Ibu : Leginah
Alamat : Jl. Diponegoro Dusun II Percut Sei Tuan

Pendidikan Formal

1. SD Negeri 106806
2. MTs. Negeri 2 Medan
3. SMA Negeri 1 Percut Sei Tuan
4. Terdaftar sebagai mahasiswa Fakultas Teknik UMSU Program Studi Teknik Mesin

Demikian daftar riwayat hidup saya perbuat dengan sebenarnya, untk dapat sipergunakan dengan sepenuhnya.

Medan, 29 Agustus 2023
Penulis

Bayu Setiawan

