

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA BOILER
SKALA MODEL TEKANAN UAP 5 Kg/Cm²
DAN KAPASITAS 23 Kg/Jam**

SKRIPSI

OLEH:

**JODY PRASETYA
16.813.0049**



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2020**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

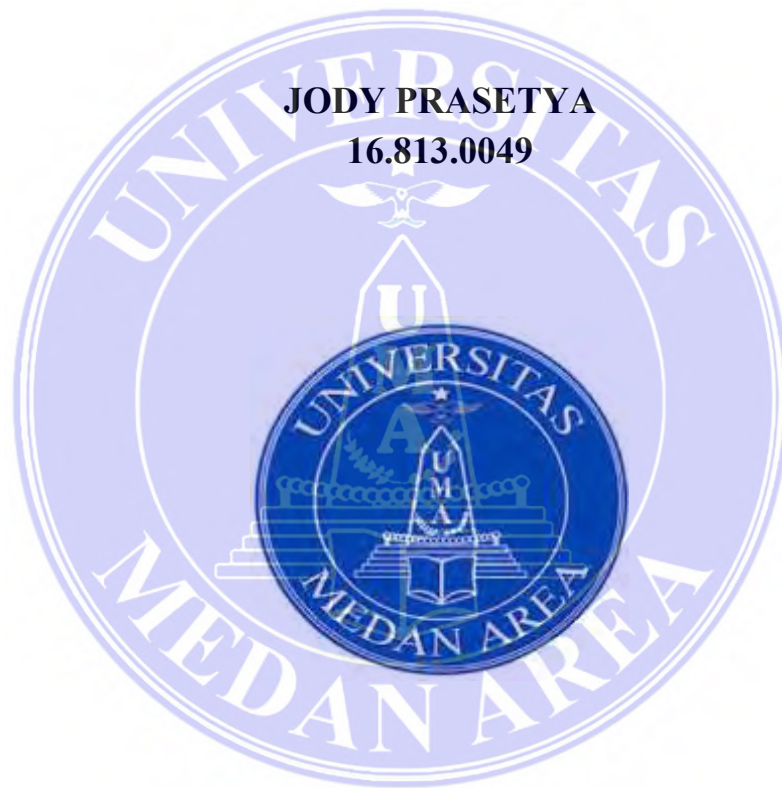
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

**ANALISIS PERPINDAHAN PANAS PADA BOILER
SKALA MODEL TEKANAN UAP 5 Kg/Cm²
DAN KAPASITAS 23 Kg/Jam**

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Teknik Universitas Medan Area Guna
Memenuhi Sebagian Syarat-Syarat Untuk Mendapatkan Gelar
Sarjana Teknik



**JODY PRASETYA
16.813.0049**

**PROGRAM STUDI TEKNIK
MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2020**

HALAMAN PENGESAHAN BUKU SKRIPSI

Judul Skripsi : Analisis Perpindahan Panas Pada Boiler Skala Model
Tekanan Uap 5 Kg/Cm² Dan Kapasitas 23 Kg/Jam

Nama : Jody Prasetya

NPM : 168130049

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh Komisi Pembimbing

Pembimbing II

Pembimbing I

(Ir. Husin Ibrahim, M.T.)
NIP/NIDN : 0025125606

(Ir. H. Amirsyams Nst, M.T.)
NIP/NIDN : 0018106107

Dekan

Program Studi Teknik Mesin

(Dr. Ir. Dina Maizana, M.T.)
NIP/NIDN : 0112096601

(Muhammad Idris, S.T., M.T.)
NIP/NIDN : 0106058104

Tanggal Lulus : 16 September 2020

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 16 September 2020

Hormat Saya



(Jody Prasetya)
168130049

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR/SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Jody Prasetya
NIM : 168130049
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Mesin
JenisKarya : Tugas Akhir/Skripsi

Demi pengembangan Ilmu Pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Perpindahan Panas Pada Boiler Skala Model. Dengan Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih mediakan/formatkan, mengelola dalam bentuk perangkat data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Medan, 16 September 2020

Hormat Saya



(Jody Prasetya)

ABSTRAK

Penggunaan listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting pada kehidupan manusia sekarang ini. Sebuah pembangkit listrik seperti PLTU merupakan hal utama yang harus ditunjang dengan berbagai peralatan utama seperti boiler ,turbin dan generator untuk menghasilkan listrik.pada bagian pembangkit bagian paling penting yaitu boiler.ketika pada terjadi masalah pada boiler maka seluruh sistem kerja pembangkit PLTU akan terganggu. Dimana memiliki tujuan menganalisis laju perpindahan panas pada boiler skala model dengan tekanan 5 Kg/cm² dan kapasitas 23 Kg/jam dan menganalisis kalor yang dibutuhkan air untuk menjadi uap. Pada penelitian ini menggunakan metode merancang boiler skala model dan melakukan eksperimen pada boiler skala model Dimana pada penelitian ini menggunakan boiler skala model dimana pada boiler sering terjadi permasalahan perambatan panas pada ruang bakar boiler ke boiler itu sendiri. Dimana memiliki tujuan menganalisis laju perpindahan panas pada boiler skala model dengan tekanan 5 Kg/cm² dan kapasitas 23 Kg/jam dan menganalisis kalor yang dibutuhkan air untuk menjadi uap. Pada penelitian ini menggunakan metode merancang boiler skala model dan melakukan eksperimen pada boiler skala model . Pada boiler skala model menggunakan bahan bakar jenis kayu bakar .setelah melakukan penelitian maka hasil yang di dapat dari hasil penelitian adalah pada awal tekanan yaitu 1 Kg/cm² mengalami perpindahan panas sebanyak 658,03 watt mengalami kenaikan perpindahan panas pada tekanan uap berikut nya sampai pada tekanan 5 Kg/cm² dengan terjadi perpindahan panas sebesar 2503,38 watt , panas yang masuk dari bahan bakar sebesar 527.000 watt dan besar kalor yang di gunakan air untuk menjadi uap sebesar 1.727,7 watt.

Kata kunci: Boiler, perpindahan panas dan tekanan

ABSTRACT

The use of electricity is a very important requirement in human life today. A power plant such as a power plant is the main thing that must be supported by a variety of main equipment such as boilers, turbines and generators to produce electricity. The most important part of the power plant is the boiler. Where has the aim of analyzing the rate of heat transfer on a model scale boiler with a pressure of 5 kg / cm² and a capacity of 23 kg / hour and analyzing the heat needed for water to become steam. In this study using the method of designing model scale boilers and conducting experiments on model scale boilers Where in this study using model scale boilers where in the boiler often the problem of propagation of heat in the boiler combustion chamber to the boiler itself. Where has the aim of analyzing the rate of heat transfer on a model scale boiler with a pressure of 5 kg / cm² and a capacity of 23 kg / hour and analyzing the heat needed for water to become steam. In this study using the method of designing model scale boilers and conducting experiments on model scale boilers. The model scale boilers use fuel wood type fuel. After conducting research, the results obtained from the results of the study are at the beginning of the pressure of 1 kg / cm² experiencing heat transfer as much as 658.03 watts experiencing an increase in heat transfer at the next steam pressure up to pressure of 5 kg / cm² with a heat transfer of 2503.38 watts, heat entering from the fuel of 527,000 watts and the amount of heat used for water to steam amounted to 1,727.7 watts.

Keywords: *Boilers, heat transfer and pressure*

RIWAYAT HIDUP PENULIS



Penulis bernama Jody Prasetya dilahirkan di Riau pada tanggal 02 November 1998. Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara, pasangan dari Alm.Surianto Purwono ,Elvi rahmadani. Penulis menyelesaikan pendidikan di SD Negeri 007 Kabun , Riau dan Tamat pada tahun 2010. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama Smp Negeri 2 Sunggal dan Tamat pada Tahun 2013. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Kejuruan Putra Anda Binjai Jurusan Teknik Pemesinan dan Tamat pada tahun 2016. Pada tahun yang sama, Pada tahun yang sama penulis terdaftar menjadi mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan selesai pada tahun 2020.

KATA PENGANTAR

Assalaamu'alaikum Warahmatullaahi Wabarakaatuh

Alhamdulillah, Puji dan syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hidayah Nya maka penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Yang mana sudah menjadi kewajiban yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Adapun judul tugas akhir ini ialah : **“Analisis Perpindahan Panas Pada Boiler Skala Model Tekanan 5 Kg/Cm² Dan Kapasitas 23 Kg/Jam”**

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis sudah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan penyusunan dengan sebaik-baiknya. Namun penulis menyadari bahwa keterbatasan pengetahuan dan pengalaman masih banyak kekurangan yang terdapat di dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan petunjuk dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun untuk menyempurnakan skripsi ini.

Selama perkuliahan sampai dengan seterusnya skripsi ini penulis telah banyak menerima bantuan moral maupun material yang tidak dapat dinilai harganya. Untuk itu melalui tulisan ini, penulis mengucapkan banyak terima kasih yang setulusnya kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng., M.Sc., selaku Rektor Universitas Medan Area.
2. Ibu Dr. Ir. Dina Maizana, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

3. Bapak Ir. H. Amirsyam Nst, M.T., dan Ir. Husin Ibrahim, M.T., selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan saran kepada penulis dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Muhammad Idris , S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin dan Bapak M.Yusuf Rahmansyah Siahaan, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area yang telah banyak membantu dalam pengurusan administrasi.
5. Segenap Dosen Program Studi Teknik Mesin Universitas Medan Area dan Birokrasi Administrasi Fakultas Teknik.
6. Alm. Surianto Purwono dan Elvi Rahmadani .S selaku orang tua yang sangat saya sayangi dan cintai, dimana telah banyak memberikan perhatian, Motivasi, nasihat, doa, dukungan moral dan materil sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
7. Dio Alief Pratama, Audina Chairunisa, Azrina Syahfitri selaku Saudara Kandung yang memberikan dorongan semangat dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
8. Sahabat ku dalam membuat alat Mhd. Ferdinansyah Ujung dan Irfan Hadi, Rahmad Bobby Hasibuan yang telah memberikan bantuan materil, semangat, dan motivasi dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
9. Abang Zulhusni, Abang Anggi dan Pimpinan CV.Surya Engineering yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini .
10. Rekan-rekan Seperjuangan Mahasiswa Teknik Mesin Stambuk 2016 dari kampus UMA, Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu

yang sudah banyak memberikan motivasi, masukan, dan bantuan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat, terutama bagi penulis dan semua pembaca.

Aamiin Ya Robbal Aalamiin.

Medan, 16 September 2020

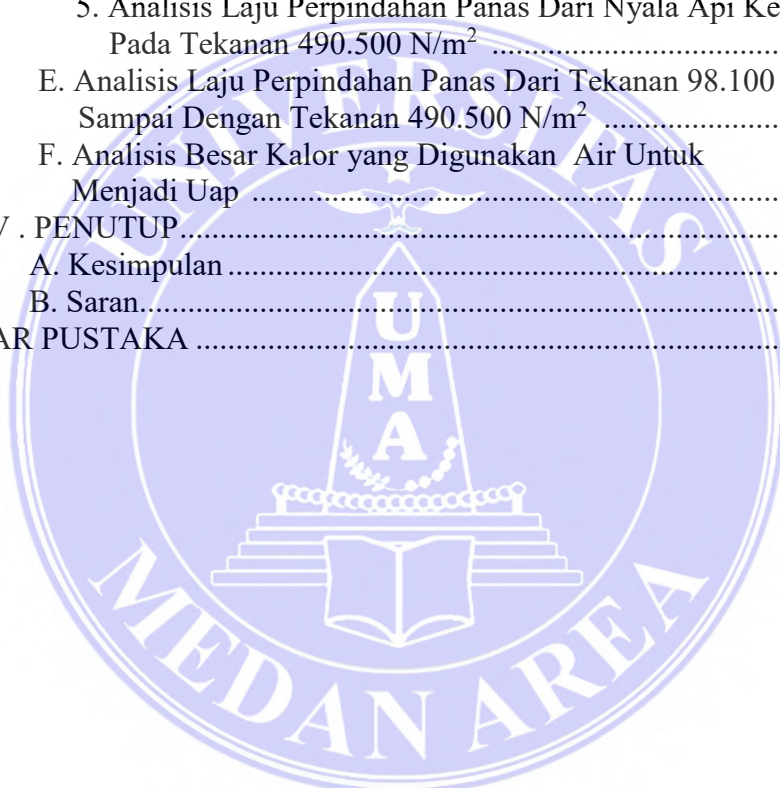


Jody Prasetya
168130049

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
RIWAYAT HIDUP PENULIS	viii
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
DAFTAR TABEL	xv
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
A. Pengertian Boiler	4
B. Jenis-Jenis Ketel Uap	5
1. Ketel Uap Pipa Air	5
2. Ketel Uap Pipa Api	5
3. Ketel Uap Jenis Drum / Tangki	6
4. Berdasarkan Pemakaiannya	7
5. Berdasarkan Letak Dapur (Furnace Position)	8
6. Berdasarkan Jumlah Lorong (Boiler Tube)	9
7. Berdasarkan Pada Porosnya Tutup Trum (Shell)	9
C. Susunan Umum Ketel	10
D. Perpindahan Panas Dalam Instalasi Uap	11
1. Perpindahan Kalor Secara Konveksi	11
2. Perpindahan Kalor secara Konduksi	13
3. Konduktivitas Termal	15
4. Bidang Silinder	15
5. Perpindahan Kalor Menyeluruh	17
E. Proses Pembentukan Uap	18
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	25
A. Waktu dan Tempat	25
1. Waktu	25
2. Tempat	25
B. Alat dan Bahan	25
1. Alat	25
2. Bahan	27
C. Set-Up Alat	28
D. Metode Penelitian	29
E. Diagram Alir	30

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
A. Proses Terbentuk nya Uap Pada Uji Coba Boiler Mini.....	33
B. Hasil Uji Coba Boiler Mini.....	34
C. Analisis Panas Yang Masuk Dari Bahan Bakar.....	35
D. Laju Perpindahan Panas Dari Nyala Api Ke Air.....	35
1. Analisis Laju Perpindahan Panas Dari Nyala Api Ke Air Pada Tekanan 98.100 N/m ²	35
2. Analisis Laju Perpindahan Panas Dari Nyala Api Ke Air Pada Tekanan 196.000 N/m ²	38
3. Analisis Laju Perpindahan Panas Dari Nyala Api Ke Air Pada Tekanan 294.300 N/m ²	40
4. Analisis Laju Perpindahan Panas Dari Nyala Api Ke Air Pada Tekanan 392.400 N/m ²	42
5. Analisis Laju Perpindahan Panas Dari Nyala Api Ke Air Pada Tekanan 490.500 N/m ²	44
E. Analisis Laju Perpindahan Panas Dari Tekanan 98.100 N/m ² Sampai Dengan Tekanan 490.500 N/m ²	47
F. Analisis Besar Kalor yang Digunakan Air Untuk Menjadi Uap	48
BAB V . PENUTUP.....	55
A. Kesimpulan	55
B. Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA	56



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ketel Uap Pipa Air	5
Gambar 2.2. Ketel Uap Pipa Api	6
Gambar 2.4. Ketel Uap Jenis Drum	7
Gambar 2.5. Ketel Tetap	8
Gambar 2.6. Ketel Mobil	9
Gambar 2.7. Ketel Dengan Pembakaran Di Dalam	9
Gambar 2.8. Ketel Dengan Pembakaran Diluar	10
Gambar 2.9. Ketel Dengan Lorong Tunggal.....	10
Gambar 2.10. Ketel Lorong Ganda	11
Gambar 2.11. Ketel Tegak (Vertikal Steam Boiler)	11
Gambar 2.12. Ketel Mendatar	12
Gambar 2.13. Air Yang Tidak Bersirkulasi	13
Gambar 2.15. Perpindahan Kalor Konveksi Dari Suatu Plat.....	14
Gambar 2.16. Volume Unsur Untuk Analisis Konduksi Kalor Satu Dimensi	16
Gambar 2.17. Aliran Kalor Satu Dimensi Melalui Silinder Bolong Dan Analogi Listriknya.....	19
Gambar 2.18. Perpindahan Kalor Menyeluruh Melalui Dinding Datar.....	21
Gambar 2.19. Grafik Proses Pembentukan Uap.....	22
Gambar 3.1. Pressure Gauge	25
Gambar 3.2. Thermometer	26
Gambar 3.3. Sight Glass	26
Gambar 3.4. Safety Valve	27
Gambar 3.3. Plat Besi.....	27
Gambar 3.4. Besi Beton	28
Gambar 3.5. Pipa ASTM.....	28
Gambar 3.6. Pembangkit Tenaga Uap	29
Gambar 3.6. Diagram Alir	31

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.5. Laju Perpindahan Panas Dari Tekanan 1 kg/cm ² Sampai 5 kg/cm ²	51
---	----



DAFTAR TABEL

Tabel 3.4. Tabel Jadwal Penelitian	30
Tabel 4.2. Hasil Uji Coba Boiler Mini	32
Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Perpindahan Panas 1 kg/cm ² Sampai Dengan 5 kg/cm ²	49



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting pada kehidupan manusia sekarang ini. Sebuah pembangkit listrik seperti PLTU merupakan hal utama yang harus ditunjang dengan berbagai peralatan utama seperti boiler ,turbin dan generator untuk menghasilkan listrik .

Penelitian ini akan membahas salah satu peralatan pada PLTU yaitu boiler. Boiler yang digunakan di PLTU pada dasarnya memiliki struktur dan komponen penunjang . Hal ini dikarenakan penggunaan boiler disesuaikan dengan beban yang dihasilkan dan jumlah karbon bahan bakar yang digunakan sebagai bahan bakar utama pada proses pembakaran .

Pengoperasian yang terus menerus yang dilakukan oleh sebuah unit boiler ini mengakibatkan berbagai permasalahan yang kompleks terjadi pada boiler itu sendiri maupun berbagai peralatan penunjang pada pengoperasian boiler, salah satunya tidak optimalnya pengoperasian suatu peralatan utama maupun penunjang (perpindahan panas yang terjadi pada furnance boiler tidak terjadi dengan sempurna) yang ditimbulkan karena muncul nya berbagai pengerakan di pipa boiler dan juga tidak optimalnya penyerapan panas pada boiler mini. [1]

Prinsip – prinsip perpindahan panas pada ketel uap merupakan prinsip utama dalam perancangan dan pengembangan ketel uap dan juga ketel uap merupakan sebagai alat penukar kalor , karena ketel uap berfungsi mengubah fase uap jenuh dan fase uap super jenuh , dari perubahan fase ini perlu energi untuk

merubah enthalpy zat cair yang menghasilkan temperatur dan tekanan semua bisa di hasilkan melalu proses perpindahan panas . [2]

Penelitian dilakukan pada sebuah boiler skala model dengan kapasitas uap 23 Kg /jam jenis boiler skala model adalah boiler pipa air model vertikal dimana terjadi perpindahan panas pada boiler skala model dari ruang bakar ke boiler skala model dengan cara konveksi dan konduksi .

Berdasarkan uraian diatas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang “ Analisis Perpindahan Panas Pada Boiler Skala Model Tekanan uap 5 Kg/cm² Dan Kapasitas 23 Kg/jam “

B. Rumusan Masalah

Melihat latar belakang, maka dapat penulis ambil beberapa rumusan masalah yang di hadapi yaitu :

1. Bagaimana proses perpindahan panas yang terjadi pada boiler.
2. Berapa energi kalor perpindahan panas konveksi dan konduksi yang di hasilkan dalam proses pemanasan air dan perambatan panas .
3. Berapa energi kalor yang diterima oleh air.

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah dalam penelitian ini, penulis mempunyai maksud dan tujuan , yaitu :

1. Menganalisis laju perpindahan panas pada boiler skala model tekanan 5 Kg/cm² dan kapasitas uap 23 Kg/jam .
2. Menganalisis kalor yang dibutuhkan air untuk menjadi uap .

D. Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini, dikemukakan beberapa manfaat yaitu untuk mengetahui pengaplikasian ilmu perpindahan panas (kalor) dalam permasalahan yang nyata yang terjadi pada suatu boiler skala model. dan menerapkan ilmu yang telah dipelajari di bangku kuliah dan mengetahui kebutuhan bahan bakar, dengan menerapkan dengan dunia kerja. dan dapat membantu perusahaan dalam menyelesaikan masalah yang terjadi pada boiler, dan sebagai bahan pembelajaran bagi mahasiswa.

E. Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk menghindari pembahasan/pengkajian yang tidak terarah dan agar dalam pemecahan permasalahan dapat dengan mudah dilaksanakan, adapun batasan masalah dalam penyelesaian tugas akhir ini yaitu :

1. Proses perpindahan panas dari suhu awal sampai suhu akhir sehingga menghasilkan tekanan uap 5 kg/cm^2 dan kapasitas uap 23 kg/jam .
2. Analisis laju perpindahan panas konveksi, konduksi dan Radiasi pada boiler.
3. Analisis kalor yang diterima oleh air.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pengertian Boiler

Boiler adalah salah satu peralatan utama dari PLTU yang berfungsi untuk merubah air menjadi uap *superheat* yang bertemperatur dan bertekanan tinggi .proses memproduksi uap ini disebut pembuat uap (*steam raising*).unit atau alat yang digunakan untuk membuat uap disebut boiler atau lebih tepat pembangkit uap (*steam generator*).

Fungsi dari ketel pada umumnya untuk mengubah air menjadi uap, dimana uap ini diperoleh dengan memberikan sejumlah kalor terhadap air yang merupakan bahan bakarnya dengan perkataan lain merupakan pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi listrik dari energi panas (uap) yang selanjutnya dapat digunakan untuk kepentingan pada proses industri (dapat digunakan sebagai pembangkit listrik melalui turbin dan dapat dimanfaatkan untuk proses pengolahan pada suatu pabrik industri).

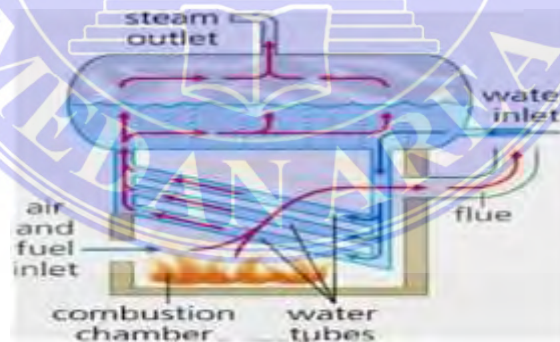
Ketel bertenaga listrik pada dasarnya terdiri dari suatu bejana bertekanan dimana didalamnya terdapat .Energi kalor yang dibangkitkan dalam sistem boiler memiliki nilai tekanan, temperatur, dan laju aliran yang menentukan pemanfaatan steam yang akan digunakan, berdasarkan ketiga hal tersebut sistem boiler mengenal keadaan tekanan-temperatur rendah (low pressure/LP), dan tekanan-temperatur tinggi (high pressure/HP), dengan perbedaan itu pemanfaatan steam yang keluar dari sistem boiler dimanfaatkan dalam suatu proses untuk dan Memanaskan cairan dan menjalankan suatu mesin (commercial and industrial)

atau membangkitkan energi listrik dengan merubah energi kalor menjadi energi mekanik kemudian memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik (power boilers). [3]

B. Jenis-Jenis ketel uap

1. Ketel uap pipa air

Pada ketel pipa air, air diumpankan boiler melalui pipa-pipa masuk kedalam drum. Air yang tersirkulasi dipanaskan oleh gas pembakaran membentuk steam pad daerah uapdalam drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan steam dan tekanan steam sangat tinggi seperti pada kasus ketel untuk pembangkit tenaga. Ketel yang modern dirancang dengan kapasitas steam antar 4.500 – 12.000 ton/jam, dengan tekanan sangat tinggi. Banyak ketel pipa air yang dikonstruksikan secara paket jika digunakan bahan bakar minyak bakar dan gas. Untuk ketel pipa air yang menggunakan bahan bakar padat, tidak umum dirancang secara paket.

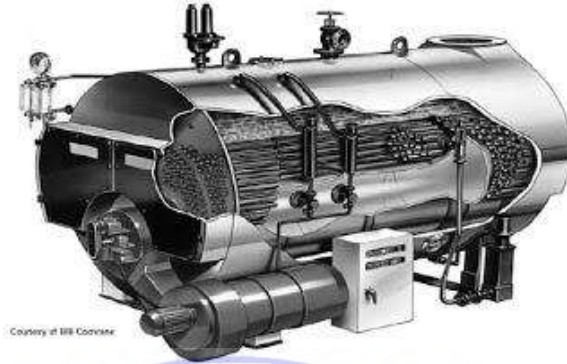


Gambar 2.1. Ketel uap pipa air

2. Ketel uap pipa api

Pada ketel pipa api, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan ketel ada di dalam shell untuk dirubah menjadi steam. Ketel pipa api biasanya digunakan untuk kapasitas steam sampai 14.000 kg/jam dengan tekanan 18 kg/cm². Ketel pipa api dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam

operasinya. Untuk alasan ekonomis, sebagian besar ketel pipa api dikonstruksi sebagai “paket” boiler (dirakit pabrik) untuk semua bahan bakar.



Gambar 2.2. Ketel uap pipa api

3. Ketel uap jenis drum / tangki

Ketel ini adalah merupakan salah satu jenis dari pada ketel yang ditinjau dari sumber panas (*Heat Source*) untuk pembuatan uap dengan menggunakan elemen pemanas.



Gambar 2.3. Ketel uap jenis drum

Fungsi dari ketel pada umumnya untuk mengubah air menjadi uap, dimana uap ini diperoleh dengan memberikan sejumlah kalor terhadap air yang diperoleh dari elemen pemanas dengan perkataan lain merupakan pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi listrik dari elemen pemanas

menjadi energi panas (uap) yang selanjutnya dapat digunakan untuk kepentingan pada proses industri (dapat digunakan sebagai pembangkit listrik melalui turbin dan dapat dimanfaatkan untuk proses pengolahan pada suatu pabrik industri).

Ketel bertenaga listrik pada dasarnya terdiri dari suatu bejana bertekanan dimana didalamnya terdapat rangkaian elemen-elemen pemanas yang dialiri oleh arus listrik. Ketel bertenaga listrik ini merupakan pembangkit tenaga uap yang sangat sederhana sekali, dan terbatas hanya untuk tekanan uap yang relatif rendah.

4. Berdasarkan pemakaiannya

a. Ketel stasioner (stationary boiler) atau ketel tetap

Ketel stasioner adalah ketel-ketel yang didudukkan pada suatu pondasi yang tetap, seperti ketel untuk pembangkitan tenaga, untuk industri dll.



Gambar 2.4. Ketel tetap

b. Ketel mobil (mobile boiler) atau ketel pindah / portable boiler

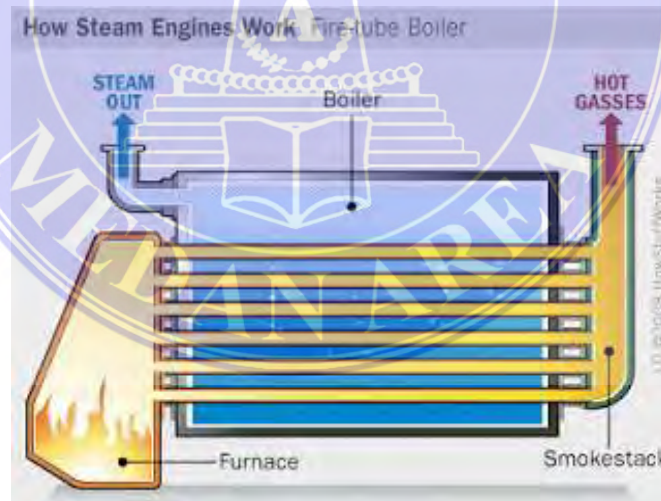
ketel mobil adalah ketel yang dipasang pada pondasi yang berpindah-pindah (mobil), seperti boiler lokomotif, loko mobile dan ketel panjang serta lain yang sepertinya termasuk ketel kapal (marine boiler).



Gambar 2.5. Ketel mobil

5. Berdasarkan letak dapur (furnace position)
- a. Ketel dengan pembakaran di dalam (internally fired steam boiler)

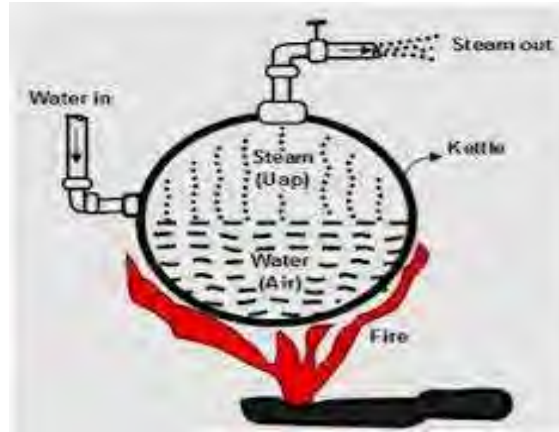
Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) di bagian dalam ketel kebanyakan ketel pipa api memakai system ini agar panas tetap terjaga pada suhu pada ruang bakar boiler.



Gambar 2.6. Ketel dengan pembakaran di dalam

- b. Ketel dengan pembakaran di luar (externally fired steam boiler)

Dalam hal ini dapur berada (pembakaran terjadi) di bagian dalam ketel kebanyakan ketel pipa air memakai system ini.



Gambar 2.7. Ketel dengan pembakaran diluar

6. Berdasarkan pada porosnya tutup drum (shell)

a. Ketel tegak (vertikal steam boiler), seperti ketel cocham, ketel clarkson dll.



Gambar 2.8. Ketel tegak (vertikal steam boiler)

b. Ketel mendatar (horizontal steam boiler) seperti ketel cornish, lancashire, scotch dll.

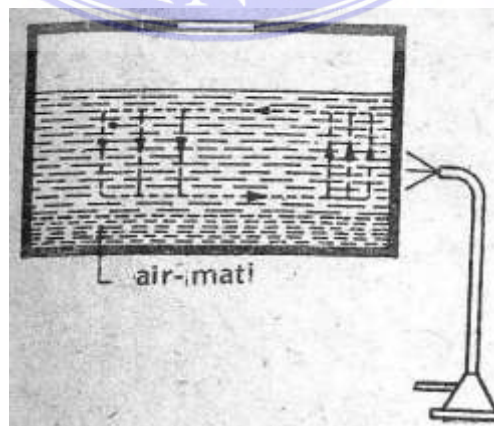


Gambar 2.9. Ketel mendatar

C. Susunan Umum Ketel

Supaya konstruksi dari ketel dapat dipahami betul-betul, haruslah diketahui sifat-sifat dari uap dan peristiwa pembentukan pada uap, dalam bentuknya yang sederhana, dapat dimisalkan ketel uap sebagai tong logam yang sebahagian berisi dengan air. Air merupakan fluida yang sukar untuk merambat panas, sehingga dengan demikian perpindahan panas didalam air yang ada didalam ketel uap hampir berlangsung secara konveksi.

Bila didalam sebuah tempat terdapat air dingin didalamnya, yang kemudian dipanasi pada bagian bawahnya maka air akan menjadi panas. Air menjadi panas karena berat jenisnya menjadi berkurang, maka akan naik keatas. Dibekas tempatnya akan digantikan oleh air dingin dibagian atas, yang berat jenisnya lebih besar dibandingkan dengan air panas tersebut. Air yang tidak turut beredar dalam ketel dinamai air yang tidak bersirkulasi, jadi temperatur air ini tidak secepat air yang beredar naiknya. Ini dapat membahayakan bagi ketel karena dinding ketel juga tidak akan rata panas. Pemuain ketel tidak sama dan karena ini mungkin terjadi tekanan-tekanan yang besar dalam pelat-pelat ketel ataupun pada sambungan-sambungannya.



Gambar 2.10. Air yang tidak bersirkulasi

Gambar 2.11. memperlihatkan bagai mana pengaruh letak pemanas pada peredaran air. Ketika seluruh temperatur air $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, gelembung-gelembung uap yang dibentuk dalam seluruh zat cair, sampai pada permukaan dan lepas dari zat cair, karena tong ini terbuka, uap yang terbentuk lepas keluar melalui bahagian yang terbuka. Dikatakan sekarang air mendidih. Jadi mendidih adalah suatu peristiwa dimana pembentukan uap terjadi didalam seluruh massa zat-cair.

Titik didih dari suatu zat cair tergantung kepada tekanan yang dilakukan pada permukaan zat cair. Pada tong yang terbuka, tekanan udara luar yang dilakukan pada permukaan air, besarnya 1 atmosfer ($1,0332\text{ kg/cm}^2$) pada tekanan ini air mendidih pada $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, kalau tekanan lebih besar dari 1 atm umpamanya 5 kg/cm^2 , air akan mendidih pada temperatur $151,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bila tekanan rendah dari 1 atm, umpamanya $0,12575\text{ kg/cm}^2$ air mendidih pada temperatur $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

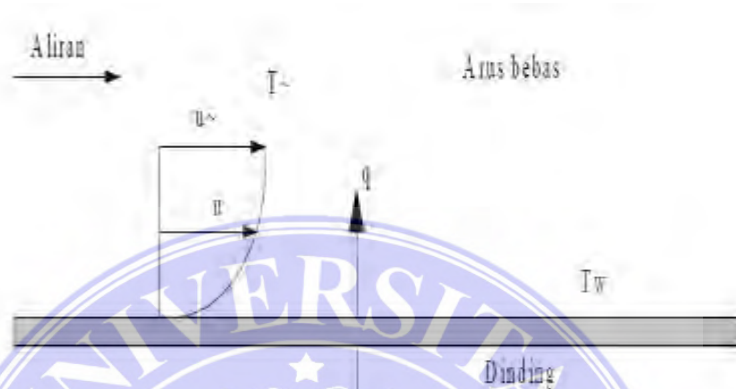
D. Perpindahan Panas Dalam Instalasi Uap

Didalam ketel terdapat perpindahan kalor dari sumber panas terhadap bidang pemanas, dari bidang pemanas dihantarkan lagi ke air secara konveksi. Pindahan kalor secara konduksi dari sebahagian panas diabaikan.

1. Perpindahan Kalor Secara Konveksi

Sebuah pelat logam panas akan cepat menjadi dingin apabila ditempatkan didepan sebuah kipas angin dibandingkan jika hanya dibiarkan di udara diam. Kita sebut bahwa kalor di konveksi keluar dan kita sebut prosesnya *perpindahan kalor konveksi*. Misalkan sebuah pelat dipanaskan seperti gambar 2.14. Suhu pelat adalah T_w dan suhu fluida T_{∞} , kecepatan aliran terlihat pada gambar. Kecepatan aliran berkurang sampai nol pada pelat karena efek gaya viskos. Karena kecepatan lapisan fluida pada dinding nol, kalor hanya ditransfer dengan cara konduksi pada

titik ini. Karena itu kita bisa menggunakan persamaan (2.1) dengan konduktivitas termal fluida dan gradien temperature fluida pada dinding. Namun kita tetap menyebutnya konveksi karena gradient temperatur bergantung atas laju fluida dalam mengambil kalor.



Gambar 2.11. Perpindahan kalor konveksi dari suatu plat

Efek keseluruhan konveksi, dirumuskan dengan Hukum Newton tentang pendinginan:

$$q = hA (T_w - T_\infty) \dots \dots \dots (2.1)$$

keterangan :

- Q = Laju Perpindahan Panas (kj/det atau W)
- H = Koefisien perpindahan Panas Konveksi (W / m².°C)
- A = Luas Bidang Permukaan Perpindahan Panas (ft² , m²)
- Tw = Temperature Dinding (°C , K)
- T∞ = Temperature Sekeliling (°C , K)

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

Pada persamaan ini, laju perpindahan kalor dikaitkan dengan perbedaan temperatur menyeluruh antara dinding dan fluida dan luas permukaan. Besaran *h*

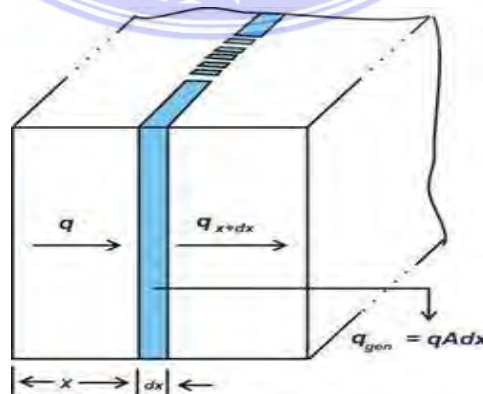
disebut *koefisien perpindahan kalor konveksi*. Untuk kondisi kompleks, harga h ditentukan secara eksperimen. Koefisien perpindahan kalor kadang-kadang disebut juga *konduktansi film*.

Satuan h adalah watt per meter kwadrat per derajat Celsius, jika aliran kalor dalam watt. Dari pembahasan diatas, dapatlah diharapkan bahwa perpindahan kalor konveksi bergantung pada viskositas fluida.

Jika suatu plat panas dibiarkan berada diudara sekitar tanpa ada sumber gesekan dari luar, maka udara itu akan bergerak sebagai akibat terjadinya gradien densitas didekat plat itu. Peristiwa ini dinamakan *Konveksi alamiah* untuk membedakannya dengan *konveksi paksa* yang terjadi apabila udara itu dihembuskan diatas plat itu dengan blower.

2. Perpindahan Kalor secara Konduksi

Jika pada suatu benda terdapat gradient suhu (*temperature gradient*), maka menurut pengalaman akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Kita katakan bahwa energy berpindah secara konduksi (*conduction*) atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradient suhu normal.



Gambar 2.12. Volume unsur untuk analisis konduksi kalor satu dimensi

Kita katakan bahwa energi berpindah dengan cara konduksi (*conduction*)

atau hantaran dan bahwa laju perpindahan kalor itu berbanding dengan gradien suhu normal :

$$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dX} \dots\dots\dots(2.2)$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas (proportionality constant) atau tetapan sebandingan, maka :

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(2.3)$$

keterangan :

q = Laju Perpindahan Panas (kj / det, W)

k = Konduktifitas Termal (W/m. °C)

A = Luas Penampang (m²)

dT = Perbedaan Temperatur (°C, °F)

dX = Perbedaan Jarak (m / det)

dT/dX = Gradient temperatur kearah perpindahan kalor. konstanta positif "k" disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda itu, sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ketempat yang lebih rendah dalam skala temperatur.

Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan gradient yang terdapat pada permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan hukum fourier. Dalam penerapan Hukum Fourier (persamaan 2.2) pada suatu dinding datar, jika persamaan tersebut diintegrasikan maka akan didapatkan :

$$q = - \frac{kA}{\Delta X} (T_2 - T_1) \dots\dots\dots(2.4)$$

Bilamana konduktivitas termal (thermal conductivity) dianggap tetap.

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

$$q = - \frac{k_0 A}{\Delta x} [(T_2 - T_1) + \frac{\beta}{2}(T_2^2 - T_1^2)] \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana :

- q = Perpindahan kalor (watt)
- $k_0 A$ = Koefisien luas penampang (W/m.K)
- $T_2 - T_1$ = Perbedaan temperatur (°C)
- Δx = Perubahan dalam gerakan

3. Konduktivitas Termal

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

4. Bidang Silinder

Perhatikan suatu silinder panjang dengan jari-jari dalam r_i , jari-jari luar r_o , dan panjang L , seperti pada gambar 2.17. Silinder mengalami beda suhu $T_i - T_o$. Untuk silinder yang panjangnya sangat besar dibandingkan dengan diameternya, dapat diandaikan bahwa aliran kalor berlangsung menurut arah radial, sehingga koordinat ruang yang diperlukan untuk menentukan sistem ini adalah r . Hukum Fourier digunakan lagi dengan menyisipkan rumus luas yang sesuai. Luas bidang aliran kalor dalam sistem silinder adalah

$$A_r = 2\pi rL \dots\dots\dots(2.6)$$

sehingga hukum Fourier menjadi :

$$q_r = -kA_r \frac{dT}{dr} \dots\dots\dots(2.7)$$



Gambar 2.17. Aliran kalor satu dimensi melalui silinder bolong dan analogi listriknya

$$q_r = -2\pi krL \frac{dt}{dr} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan kondisi batas

$$T = T_i \text{ pada } r = r_i$$

$$T = T_o \text{ pada } r = r_o$$

Penyelesaian persamaan 2.8 adalah

$$q = \frac{2\pi kL (T_1 - T_o)}{\ln(r_o/r_1)} \dots\dots\dots(2.9)$$

dimana :

q = Laju perpindahan kalor (W)

k = Konduktivitas termal benda (W/m. °C)

L = Panjang benda (m)

- $(T_1 - T_0)$ = Beda temperature dalam silinder dengan luar silinder ($^{\circ}\text{C}$)
- r_0 = Jari – jari luar silinder (m)
- r_1 = Jari – jari dalam silinder (m)
- dt/dr = Gradient temperatur kearah perpindahan kalor (K.m^{-1})

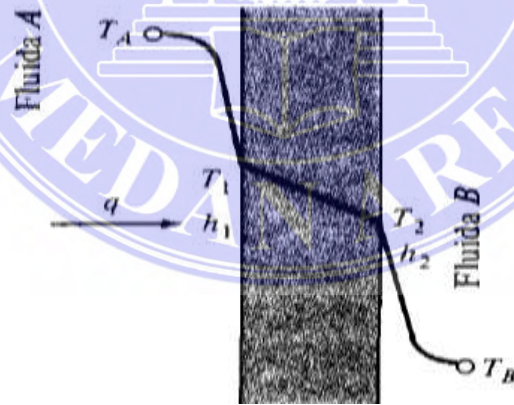
5. Perpindahan Kalor Menyeluruh

Perhatikan dinding datar seperti pada gambar ,dimana pada satu sisinya terdapat fluida panas A,dan pada sisi lainnya fluida B yang lebih dingin .perpindahan kalor di nyatakan oleh .

$$q = h_1A(T_A - T_1) = \frac{kA}{\Delta x} (T_1 - T_2) = h_2A (T_2 - T_b) \dots\dots\dots (2.10)$$

proses perpindahan kalor dapat digambarkan dengan jaringan tahanan seperti pada gambar 2.18. perpindahan kalor menyeluruh dihitung dengan jalan membagi beda pada suhu menyeluruh dengan jumlah tahanan termal :

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_1A} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_2A}} \dots\dots\dots (2.11)$$



Gambar 2.18. Perpindahan kalor menyeluruh melalui dinding datar

Bahwa nilai $1/ hA$ digunakan disini untuk menunjukkan tahanan konveksi aliran kalor menyeluruh sebagai hasil gabungan proses konduksi dan konveksi bisa dinyatakan dengan koefisien perpindahan kalor menyeluruh U, yang dirumuskan dalam hubungan.

$$q = U A \Delta T \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana A ialah luas bidang aliran kalor .koefisien perpindahan kalor menyeluruh ialah :

$$q = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + 1/h_2} \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

- q = Laju Perpindahan kalor (watt)
- U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (W/m².K)
- A = Luas perpindahan panas (m²)
- k = Konduktifitas Termal (W/m.K)
- Δx/Δt = Perbedaan tebal dinding (m)
- h₁/h₂ = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m².K)

Untuk silinder bolong yang terkena lingkungan konveksi dipermukaan bagian dalam dan luarnya ,analogi tahanan listriknya dimana disini pun T_A dan T_B ialah suhu kedua fluida .

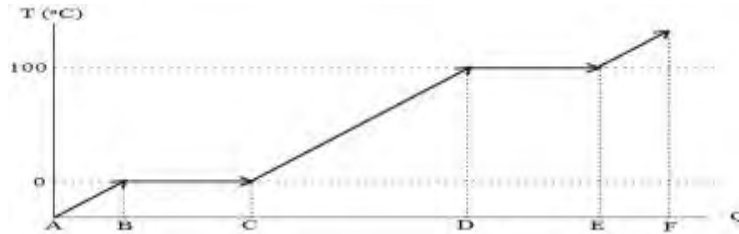
E. Proses Pembentukan Uap

Untuk energi panas menjadi energi mekanis diperlukan suatu media kerja, dalam hal ini media kerja yang digunakan adalah uap, uap dalam ketel yang dimaksud adalah uap air yaitu gas yang timbul akibat perubahan fase air menjadi uap melalui proses pemanasan.

Keuntungan penggunaan uap sebagai media kerja adalah :

1. Mempunyai kemampuan untuk menerima kalor dalam jumlah yang besar.
2. Dapat bekerja pada tekanan tinggi.
3. Cepat menghantarkan panas.

Proses pembentukan uap dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2.13. Grafik proses pembentukan uap

AB = Tambahan kalor menaikkan suhu es sampai 0 °C

BC = Tambahan kalor mencairkan es menjadi air

CD = Tambahan kalor menaikkan suhu air dari 0 °C sampai 100 °C di bawah pemanasan hingga (100 °C di bawah tekanan 1 atm = 1,003 kg/cm) dimana proses ini terjadi pada sensible heat.

DE = Tambahan kalor menguapkan air, panas yang diberikan merubah fase dari 100⁰C air menjadi 100⁰C uap jenuh (pada later heat).

EF = Tambahan kalor menaikkan suhu uap, panas yang diberikan menaikkan suhu 100⁰C uap jenuh menjadi uap kering (pemanas uap lanjut) pada proses sensible heat.

Pada tekanan 1 atm dan 100⁰C air akan berubah menjadi uap dan apabila dipanaskan terus-menerus maka seluruhnya akan berubah menjadi uap, pada pemanasan air dari temperature 0⁰C menjadi 100⁰C dibutuhkan kalor (Q), maka kalor yang dibutuhkan adalah :

$$Q_1 = m_a \cdot C_p \cdot \Delta t_1 \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

m_a = Massa air (kg/satuan waktu)

C_p = Panas spesifik air (kkal/kg)

Q_1 = Panas laten (penguapan) (kkal/kg°C)

Bila pemanasan terus dilanjutkan, maka volume uap bertambah sampai seluruh air berubah menjadi uap dan temperature air tidak naik, maka tekanannya juga tetap, kalor yang dibutuhkan untuk perubahan fase ini adalah :

$$Q_2 = m_v \cdot Q_1 \dots\dots\dots (2.14)$$

dimana :

- m_v = Massa uap (kg)
- Q_1 = Panas laten (penguapan) (kkal/kg⁰C)
- Q_2 = Panas Saturasi (kkal/kg⁰C)

Selanjutnya bila uap air terus dipanaskan maka temperature uap akan naik dan kenaikan temperaturnya sebanding dengan kalor yang diterima yaitu :

$$Q_3 = m_v \cdot C_{pv} \cdot \Delta t_2 \dots\dots\dots (2.15)$$

maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta t_2 = (t_1 - 100^\circ\text{C}) \dots\dots\dots (2.16)$$

dimana :

- m_v = Massa uap (kg)
- C_{pv} = Panas spesifik uap (kkal/kg⁰C)
- Q_3 = Panas lanjut (kkal/kg⁰C)
- Δt_2 = Perbedaan Temperatur (⁰C)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

1. Waktu

Penelitian ini dilakukan mulai 1 Desember – 20 Desember 2019 pengambilan data dan uji alat di lakukan pada setiap hari minggu .

2. Tempat

Tempat penulis melakukan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Universitas Medan Area.

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian

Jadwal	Desember				Februari				Mei				Juni			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Persiapan alat																
Pengambilan judul																
Seminar proposal																
Pengambilan Data																
Analisis Data																
Seminar Hasil																
Sidang Sarjana																

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Adapun alat yang digunakan dalam proses Analisis Perpindahan Panas Pada Boiler Skala Model Tekanan uap 5 Kg/cm² dan Kapasitas 23 kg/jam .

a. Pressure Gauge , digunakan sebagai alat ukur tekanan pada boiler skala model.



Gambar 3.1. Pressure Gauge

b. Thermometer digunakan untuk mengukur suhu air dan uap pada boiler skala model.



Gambar 3.2 Thermometer

- c. Sight Glass, digunakan untuk melihat air yang terdapat di dalam boiler skala model sehingga memudahkan mengetahui air di dalam masih tersedia atau sudah habis.



Gambar 3.3 Sight Glass

- d. Safety Valve , digunakan sebagai pengaman pada boiler dimana berfungsi membuang uap apabila tekanan yang terjadi pada boiler skala model melebihi dari kapasitas yang telah di tentukan pada boiler skala model .



Gambar 3.4 Safety Valve

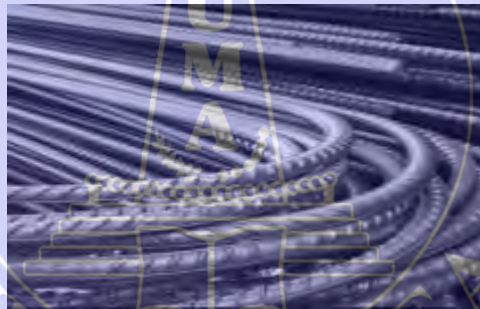
2. Bahan

- a. Plat besi digunakan pada boiler skala model sebagai body pada boiler dan plat yang digunakan berukuran 8 mm.



Gambar 3.5. Plat Besi

- b. Besi beton digunakan pada ruang bakar sebagai letak nya bahan bakar pada ruang bakar.



Gambar 3.6. Besi Beton

- c. Pipa ASTM digunakan pada body boiler karena pipa astm tahan akan terhadap panas . dan pada boiler menggunakan berbagai ukuran .



Gambar 3.7.Pipa ASTM

B. Set-Up Alat

Set-up alat adalah segala kegiatan yang perlu dilakukan terhadap mesin sampai mesin tersebut bekerja dengan baik. Sebelum melakukan penelitian ini, terlebih dahulu peneliti memasang komponen-komponen yang terpisah. Cara pemasangan komponen sebagai berikut :

- a . Pemasangan turbin mini pada rumah turbin.
- b. Pemasangan pipa untuk saluran uap dari katup keluaran boiler ke nosel.
- c. Pemasangan alat ukur pada boiler.
- d. Pemasangan pipa air ke boiler dan blower pada ruang bakar.

Desain instalasi pembangkit tenaga uap mini yang menjadi objek penelitian penulis seperti ditunjukkan pada gambar 3.6 berikut.



Gambar 3.6. Pembangkit Tenaga Uap

C. Metode Penelitian

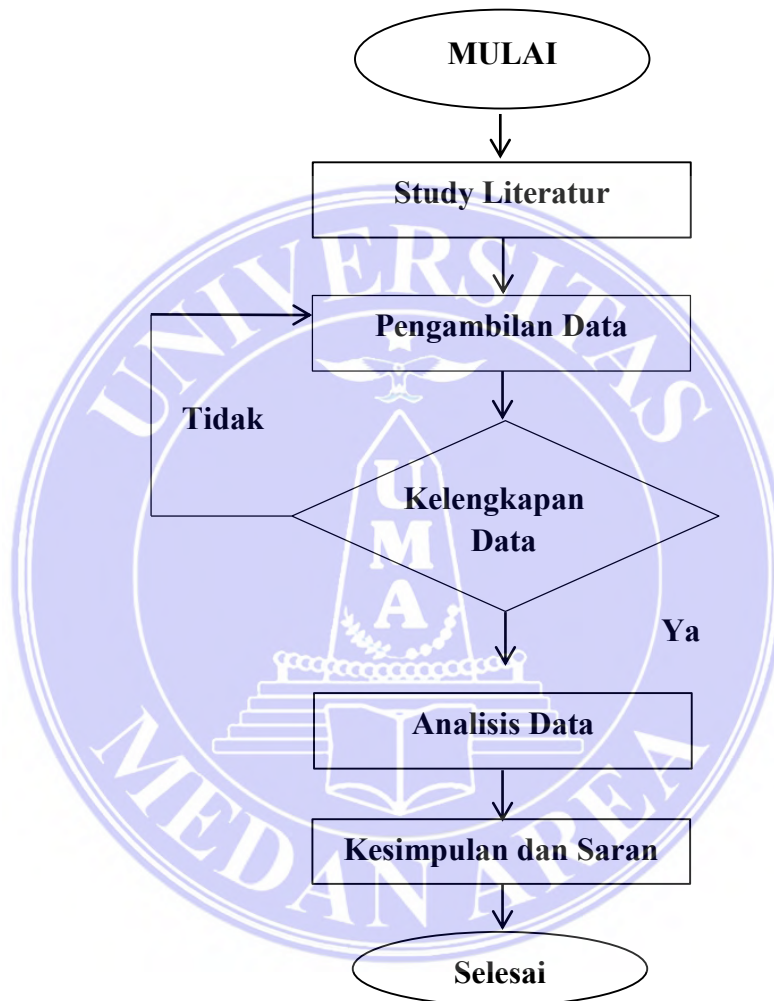
Pada penelitian ini peneliti menggunakan metode merancang boiler skala model dan melakukan eksperimen pada boiler skala model yang telah di rancang oleh peneliti .

Dalam pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Set-Up Alat boiler skala model.
2. Mengisi air ke dalam tabung boiler skala model menggunakan pompa air .
3. Menghidupkan api pada ruang bakar dengan menggunakan bahan bakar kayu.
4. Selama proses pembakaran maka kita harus memastikan api dalam keadaan hidup dan di bantu dengan menggunakan blower pada ruang bakar .
5. Setelah proses pembakaran air akan mendidih dan presure gauge akan mengalami kenaikan tekanan pada tabung .
6. Pengambilan data di lakukan setiap kenaikan tekanan pada presure gauge dan tinggi suhu pada termometer dan proses ini dilakukan sampai mencapai tekanan 5 Kg/Cm².

E. Diagram Alir

Diagram alir dibawah ini menunjukkan langkah – langkah dalam menyelesaikan penelitian ini .



Gambar 3.6. Diagram Ali

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Dari grafik 4.5. maka terlihat bahwa pada laju perpindahan boiler mini ini pada awal tekanan 98.100 N/m² sampai mencapai tekanan 490.500 N/m² terjadi kenaikan laju perpindahan panas dapat dilihat pada grafik 4.5.
2. Dari hasil penelitian ini maka besar kalor yang digunakan untuk menjadi uap bertekanan 490.500 N/m² adalah 1.727,7 Watt
3. Pada penelitian ini panas yang diterima dari bahan bakar sebesar 527.000 Watt

B. Saran

1. Pada penggunaan material pada ruang bakar harus lebih menggunakan bahan plat besi yang tebal .
2. Pada body boiler skala model sebaiknya di lapiasi dengan kain tahan panas atau rokwoll agar pada saat menyentuh body boiler tidak panas .

DAFTAR PUSTAKA

1. M. Saputra, and A. Ferdiansyah , "Analisis perpindahan panas pada heat exchanger di furnance boiler circulating fluidzing bed unit 1 pltu nagan raya 2 x 110 MW," *Journal Mekanova*, p. 13, 2017.
2. L. Hakim, "Analisa teoritis laju aliran kalor pada ketel uap pipa api mini industri tahu di tinjau dari koefisien perpindahan panas menyeluruh," *Journal Surya Teknika*, pp. 50-55, 2016.
3. Z. Ma'sum, M. Arsana , F. Malik and W. Priyono, "Analisis perpindahan panas dengan konveksi bebas dan radiasi pada penukar panas jenis pipa dan kawat," *Journal Teknik Kimia*, p. 7, 2016.
4. J.P. Holman, and E. Jasjeff, *Perpindahan Kalor*, Jakarta: Penerbit Erlangga , 1988.
5. M. Wirawan, and R. Sutanto, "Analisa laju perpindahan panas pada kolektor surya tipe plat datar dengan absorber pasir," p. 2, 2017.
6. H. Combustion, "Wikipedia," May 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_of_combustion. [Accessed senin May 2020].
7. A. Budiman, A. Syarief and H. Isworo, "Analisis perpindahan panas dan efisiensi efektif heater di pltu asam -asam," *Journal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*, p. 2, 2016.
8. M. Idris and U. Novalia Harahap, "Analisis perpindahan kalor kondensor pada proses distilasi bioetanol sebagai biofuel dari campuran limbah buah salak dengan limbah air kelapa," *Journal of Mechanical Engineering ,Manufactures,Materials and Energy*, 2018.
9. I. Muzaki, and A. Mursadin, "analisis efesiensi boiler dengan metode input output di PT.Japfa Comfeed Indonesia tbk. unit banjarmasin," *Journal Sjme Kinematika*, pp. 37-46, 2019.
10. S. Amin, Jamaluddin and M. Rais, "Laju panas dan massa pada proses pengeringan gabah menggunakan alat pengering tipe bak (batch dryer)," *Journal Pendidikan Teknologi*, pp. 87-104, 2018.