BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pengertian *Boiler*

Boiler adalah bejana tertutup yang panas pembakarannya dialirkan ke dalam air hingga terbentuk air panas atau steam. Panas kemudian ditransfer ke proses menggunakan air panas atau uap di bawah tekanan. Sistem boiler terdiri dari: steam air umpan, sistem steam dan sistem bahan bakar. Massa air uap secara otomatis memasok ketel dengan air sesuai kebutuhan uap. Sistem uap mengumpulkan dan mengontrol produksi uap di boiler. Sepanjang sistem, tekanan uap diatur oleh katup dan dipantau oleh pemantau tekanan; sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk memasok bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan untuk sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dalam sistem.. (Sihol Albert Sihaloho. 2023)

Gambar 2.1 *Boiler* Mini

2.1.2 Prinsip Kerja *Boiler*

Boiler memiliki kapasitas yang lebih besar. Dalam tabung ketel, air diubah menjadi uap. Panas diserap oleh air dan uap di boiler produksi berkelanjutan. Air yang disuplai ke boiler untuk diubah menjadi uap disebut air umpan. suplai air ke *boiler* untuk mengisi kembali air yang hilang di boiler yang telah diubah menjadi

steam. bahan baku yang digunakan dalam pembuatan *steam* adalah air baku yang diolah dalam water treatment dan dialirkan ke *feedwater* tank yang berfungsi sebagai *feedwater storage tank* sebelum dipompa ke *demister*. Air umpan dalam tangki air umpan mengalir ke aerator melalui pompa, dan fungsi *aerator* adalah hapus kandungan O2 dan gas terlarut dalam air umpan. Air dari *aerator* dipompa ke *boiler* dengan pompa *flow-through* tujuan dari *economizer* adalah memanfaatkan panas gas buang pembakaran *boiler* untuk menaikkan suhu air, yang dapat peningkatan efisiensi *boiler* lebih tinggi. (Jhon Kevin Simanjuntak, D. A. 2022)

2.2 Klasifikasi *Boiler*

*Boiler/*ketel uap pada dasarnya terdiri dari tabung (*drum*) yang tertutup dan dalam perkembangannya dilengkapi yaitu: (Alvin Singarimbun, R. 2021)

1. Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*),
2. Ketel Pipa Air (*Water Tube* Boiler)
3. Kombinasi *Boiler* Pipa-Api dengan Pipa-*AIR Firebox.*

2.2.1 Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*)

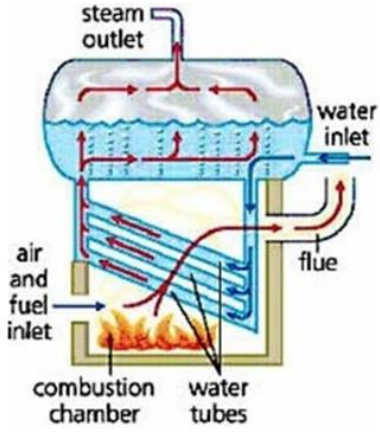
Pada ketel tabung air memiliki air umpan ketel yang mengalir melalui tabung ke dalam drum. Gas pembakaran memanaskan air yang bersirkulasi, menyebabkan uap terbentuk di area uap drum. Ketel ini dipilih jika kebutuhan uap dan tekanan uap sangat tinggi, misalnya pada ketel listrik sentral, tidak lazim untuk merancang paket ketel tabung air menggunakan bahan bakar padat. (Aqli Mursadin dan, I. 2019)

- Keuntungan dari ketel pipa air adalah :

1. Sanggup bekerja dengan tekanan tinggi.
2. Berat dari *boiler* itu sendiri relatif ringan.
3. Kapasitas yang besar.
4. Dapat digunakan dengan cepat, jadi dalam waktu beberapa menit/jam dapat memproduksi uap.

- Kelemahan dari ketel pipa air adalah :

1. Konstruksi *boiler* sudah tidak sederhana lagi, sehingga melakukan perawatan lebih sulit dilakukan.
2. Untuk melakukan pengisian air harus bersih, agar tidak terjadinya pembentukan batu ketel.
3. Perencanaan lebih sulit sehingga harga sedikit mahal.



Gambar 2.2 Ketel Pipa Air (*Water Tube Boiler*)
(Aqli Mursadin dan, I. 2019)

2.2.2 Ketel Pipa Api (*Fire Tube Boiler*)

Fire tube merupakan pengembangan lebih lanjut dari fire tunnel boiler, dengan penambahan instalasi fire tube dimana gas panas dialirkan dari ruang bakar sehingga memanaskan dan menguapkan air di sekitar fire tube. Tabung api direndam atau direndam dalam air untuk menguap. Jumlah air kira-kira ¾ dari tangki ketel. Jumlah saluran ketel tergantung pada jumlah saluran pembakaran vertikal antara perapian dan pipa api. Langkah bahan bakar di tungku dianggap sebagai langkah pertama dari boiler jenis ini, yang banyak digunakan di industri pengolahan kecil dan menengah. (Aqli Mursadin dan, I. 2019)

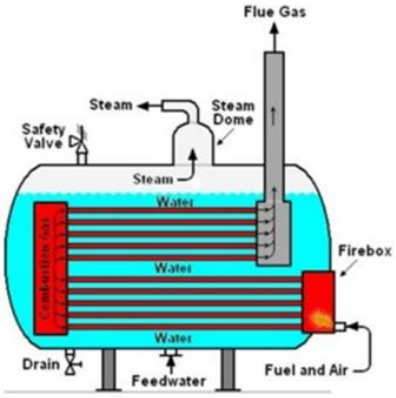
- Keuntungan dari ketel pipa api adalah :

1. Tidak harus membutuhkan air yang bersih dengan kualitas tinggi pada saat pengoprasiaan.

2. Konstruksi sederhana dan perawatan akan lebih mudah.
3. Endapan pada kotoran akan lebih mudah dibersihkan.

- Kelemahan dari ketel pipa api adalah :

1. Pemanasan pada saat pengoprasian membutuhkan waktu yang lama.
2. Tekanan uap yang dihasilkan pada *boiler* akan rendah.
3. Kapasitas uap yang kecil.



Gambar 2.3 Ketel Pipa Api (*fire Tube Boiler*)
(Aqli Mursadin dan, I. 2019)

2.3 Komponen *Mini Boiler*

Koomponen *boiler* terdiri dari komponen utama dan komponen bantu yang memiliki fungsinya masing-masing. (Efendi, A. 2014).

1. *Ignition Knop*/Pematik Api

   Berfungsi untuk menyalakan *burner* pada mesin

Gambar 2.4 Pematik Api

2. *Nipple Burner* dan Gas LPG

   Berfungsi sebagai penyambung ke regulator gas dan dihubungkan ke tabung LPG

Gambar 2.5 *Nipple burner* dan gas LPG

3. Kran Pembuangan

   Berguna untuk untuk menguras sisa air *boiler* yang telah digunakan.

Gambar 2.6 Kran Pembuangan

4. Level *Indicator*

   Berfungsi untuk melihat ketinggian air pada *boiler*.

Gambar 2.7 Level *Indicator*

5. *Pressure Gauge*.

   Berguna untuk mengetahui kapan uap mulai dikeluarkan. Yaitu *pressure* meter menunjuk pada 3 BAR atau 30 PSI

Gambar 2.8 *Pressure Gauge* PSI

6. *Nipple Output Steam.*

   Adalah saluran keluarnya uap panas yang digunakan pada proses penguapan ke mesin pengering

Gambar 2.9 *Nipple Output Steam*

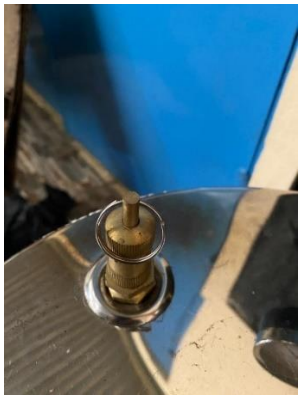
7. Corong Pengisian

   Saluran pengisian pada *boiler*

Gambar 2.10 Corong Pengisian

8. *Over Pressure Nipple.*

   Adalah *nipple* pengaman yang mencegah terjadinya *over pressure*, yang akan bekerja jika tekanan pada *boiler* sudah berlebihan



Gambar 2.11 *Over pressure nipple*

9. *Drum*

   Drum yang berisi air ini berfungsi sebagai tempat terjadinya penguapan yaitu merubah air menjadi uap, drum ini berkapasitar air 20 liter.

Gambar 2.12 *Drum Boiler*

2.4 Uap (*Steam*)

Uap air adalah sejenis cairan yang merupakan fase gas dari air yang dipanaskan hingga titik didihnya pada tekanan tertentu. Uap airnya tidak berwarna dan bahkan tidak terasa kering bersih. *James Watt*, yang terkenal dengan penemuan mesin uap bolak-balik, menggunakan uap sebagai fluida kerja pertama. Uap air tidak mengikuti hukum gas sempurna sampai benar-benar kering (kandungan uap 100%). Jika uap air kering dipanaskan lebih lanjut menjadi uap air panas (*superheated*) dan kemudian dianggap sempurna. (Daffa Taupiqurrahman. 2022)

2.5 Proses Pembentukan Uap

Air biasanya digunakan sebagai fluida kerja pada boiler karena ekonomis, tersedia dalam jumlah banyak, dan kandungan entalpinya cukup tinggi dibandingkan fluida lainnya. Penguapan adalah proses di mana, ketika air dipanaskan, fase berubah dari cair menjadi uap, suhu air meningkat, peningkatan suhu air menyebabkan peningkatan kecepatan gerak molekul air. Jika terus dipanaskan perlahan, laju aliran air juga meningkat dan molekul air secara bertahap meninggalkan lingkungannya (100C) dengan tekanan 1[kg/cm2]. mengubah fase menjadi uap. (Daffa Taupiqurrahman. 2022)

2.6 Perpindahan Panas Pada Ketel Uap

Panas yang dihasilkan karena pembakaran bahan bakar dan udara, yang berupa Api (yang menyala) dan Gas Asap (yang tidak menyala) dipindahkan kepada air, uap ataupun udara, melalui bidang yang dipanaskan atau *Heating Surface*, pada suatu instalasi ketel uap, dengan tig acara : (M. J. Djokosetyardjo. 2006)

a. Dengan cara Pancaran atau *Radiasi*,
b. Dengan cara Aliran atau *Konveksi*,
c. Dengan cara Perambatan atau *Konduksi*

2.6.1 Perpindahan Panas Secara Pancaran Atau Radiasi

Perpindahan panas antara suatu benda ke-benda yang lain, dengan jalan melalui gelombang-gelombang elektro-magnetis tanpa tergantung kepada ada atau tidaknya media atau zat diantara benda yang menerima pancaran panas tersebut.

Pemindahan panas secara Pancaran yang dibayangkan berlangsung melalui media berupa *aether* yaitu sejenis materi bayangan tanpa bobot, yang mengisi seluruh sela-sela ruangan diantara molekul-molekul dari suatu zat tertentu, ataupun didalam ruang yang hampa sekalipun.

Adapun banyaknya panas yang diterima secara pancaran atau Q_p berdasarkan rumus dari *Stephen-boltzmann* adalah sebesar: (M. J. Djokosetyardjo. 2014)

2.6.2 Perpindahan Panas Secara Aliran Atau Konveksi

Perpindahan Panas Secara aliran atau konveksi adalah perpindahan panas yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu *fluida* (cair ataupun gas). Molekul-molekul *fluida* tersebut dalam gerakannya melayang-layang kesana ke mari membawa sejumlah panas masing-masing q Joule. Pada saat molekul *fluida* tersebut menyentuh dinding ketel maka panasnya dibagikan Sebagian, yaitu q_1 Joule kepada dinding ketel, selebihnya yaitu $q_2 = q - q_1$ Joule dibawanya pergi. (M. J. Djokosetyardjo. 2014)

Rumus jumlah panas yang diserahkan secara konveksi = Q_k =

$Q_1 = \alpha .F. (T_{api} - T_{dinding})$ kJ/jam (Persamaan 2.1)

Dimana :

α = Angka peralihan panas dari api ke dinding ketel, dinyatakan dalam (Kilojoule/jam. K)

F = Luas dinding ketel yang dilewati panas dinyatakan dalam (m^2)..

T = Temperatur di dalam Kelvin.

2.6.3 Perpindahan Panas Secara Perambatan Atau Konduksi

Perpindahan panas secara perambatan atau konduksi adalah perpindahan panas dari satu bagian benda padat ke bagian dari benda padat yang sama, atau dari benda padat yang sama, atau dari benda padat yang sat uke benda padat yang lain karena terjadinya persinggungan fisik (kontak fisik atau menempel), tanpa terjadinya perpindahan molekul-molekul dari benda padat itu sendiri.

Jumlah panas yang dirambatkan adalah = Q_R melalui dinding ketel adalah sebesar rumusnya: (M. J. Djokosetyardjo. 2014)

$Q_2 = \frac{\lambda}{s} . F. (T_{d1} - T_{d2})$ kJ/jam (Persamaan 2.2)

λ = Angka perambatan panas dalam dinding ketel (kJ/jam).

s = Tebal dinding dalam (mm).

F = Luas dinding ketel yang dilewati panas dinyatakan dalam (m^2).

T_{d1}= Temperatur dinding ketel sebelah kiri perbatasan langsung dengan api dinyatakan dalam (Kelvin).

T_{d2} = Temperatur dinding ketel yang perbatasan langsung dengan air, uap atau udara dinyatakan dalam (Kelvin).

2.6.4 Temperatur Dinyatakan Didalam Kelvin

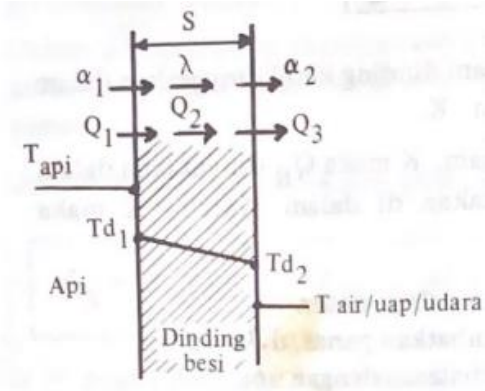
Untuk selanjutnya, panas yang dibawa merambat oleh dinding ketel tersebut akan diterima oleh molekul-molekul air, uap ataupun udara dengan cara Konveksi pula yaitu penyerahan Sebagian panas dari molekul-molekul air, uap ataupun udara. Molekul-molekul air, uap ataupun udara tersebut dalam keadaan mengalir/bergerak, bukan kondisi diam. (M. J. Djokosetyardjo. 2014)

Dengan demikian penyerahan panas secara Konveksi dan Konduksi Bersama-sama melalui proses-proses sebagai berikut :

a. Panas dialihkan dari *fluida* (api atau gas asap) kepada benda padat (dinding ketel).
b. Panas yang dirambatkan di dalam benda padat (dinding ketel) atau didalam benda padat berlapis-lapis (jelaga – dinding ketel – kerak ketel)
c. Panas dialihkan dari benda padat (dinding Ketel atau kerak ketel kepada *fluida* (air, uap ataupun udara).

2.7 Perpindahan Panas Melalui Dinding yang Bersih

Didalam gambar berikut ini, memisalkan api ada disebelah kiri dari dinding ketel, sedangkan air uap ataupun udara, ada disebelah kanan dari dinding ketel. (M. J. Djokosetyardjo. 2014)



Gambar 2.13 Perpindahan Panas Melalui Dinding Yang Bersih
(M. J. Djokosetyardjo. 2014)

Dimana :

F = Luas dinding ketel yang dilewati panas dinyatakan dalam (m^2)

s = Tebal dinding dalam (mm)

λ = Angka perambatan panas dalam dinding ketel (kJ/jam)

α_1 = Angka peralihan panas dari api ke dinding ketel, dinyatakan dalam (Kilojoule/jam. K)

α_2 = Angka peralihan panas dari dinding ketel kepada air, uap ataupun udara, dinyatakan dalam (Kj/jam. K)

Q_1 = Panas yang diserahkan oleh api kepada dinding ketel. (Konveksi)

Q_2 = Panas yang dirambatkan didalam dinding ketel. (Konduksi)

Q_3 = Panas yang diserahkan oleh dinding ketel kepada air dan uap. (Dinding Ketel)

$Q_3 = \alpha_2 .F. (T_{d2} - T_{uap})$ (Persamaan 2.3)

T_{d1} = Temperatur dinding ketel sebelah kiri dalam (Kelvin).

T_{d2} = Temperatur dinding kanan dinyatakan dalam (Kelvin).

2.8 Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan semua jenis yang dapat dibakar. Pembakaran bahan bakar menimbulkan panas (panas). Pembakaran adalah proses kimia antara bahan bakar, udara dan panas. Proses pembakaran berlangsung di dalam ruang bakar (furnace) yang tujuannya adalah mengubah air menjadi uap. (Aldi, F. 2022)

2.8.1 Pengertian Gas LPG (*Liquid Petroleum Gas*)

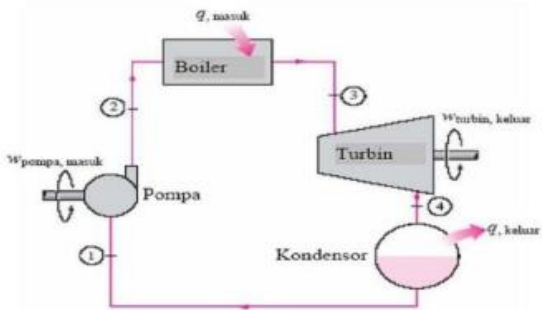
Elpiji, atau LPG dalam singkatan bahasa Inggris, adalah Liquefied Petroleum Gas. Elpiji adalah campuran berbagai elemen hidrokarbon yang diekstraksi dari gas alam. Dengan meningkatkan tekanan dan menurunkan suhu, gas menjadi cair. Komponennya terutama propana (C3H8) dan butana (C4H10). Elpiji juga mengandung sejumlah kecil hidrokarbon ringan lainnya seperti etana (C2H6) dan pentana (C5H12). Dalam kondisi atmosfer, LPG akan ada sebagai gas. Untuk berat yang sama, volume LPG cair lebih kecil dari LPG gas. Oleh karena itu, LPG dijual dalam bentuk cair dalam tabung logam bertekanan. Untuk memungkinkan pemuaian termal cairan yang dikandungnya, tabung LPG tidak terisi penuh, hanya

sekitar 80-85% dari kapasitasnya. Perbandingan volume gas yang diuapkan dengan volume gas cair bervariasi menurut komposisi, tekanan dan temperatur, tetapi biasanya sekitar 250:1. Tekanan di mana LPG dalam bentuk cair, atau tekanan uap, bervariasi tergantung pada komposisinya dan suhu. Misalnya, butana murni membutuhkan tekanan sekitar 220 kPa (2,2 bar) pada 20°C. (68 °F) untuk peleburan dan sekitar 2,2 MPa (22 bar) untuk propana murni pada 55 °C (131 °F). Di samping menurut spesifikasi LPG dibagi menjadi tiga jenis yaitu campuran LPG, propana LPG dan butana LPG. Elpij memiliki beberapa sifat yang meliputi: (Yudisworo, W. D. 2014)

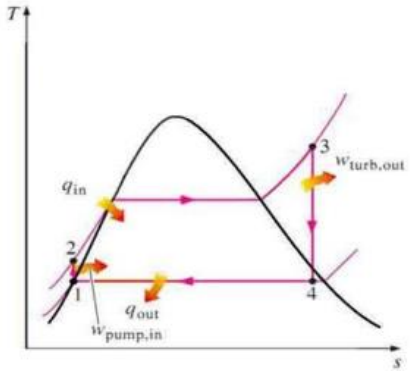
1. Cairan dan gas sangat mudah terbakar.
2. Gas tidak beracun, tidak berwarna dan biasanya berbau tajam akibat penambahan zat untuk mencium.
3. Cairan dapat menguap setelah dilepaskan dan menyebar dengan cepat.

2.9 Siklus Rankine

Siklus rankine adalah siklus teoritis yang mendasari siklus kerja dari suatu pembangkit daya uap. Siklus rankine berbeda dengan siklus-siklus udara ditinjau dari fluida kerjanya yang mengalami perubahan fase selama siklus pada saat evaporasi dan kondensasi, oleh karena itu fluida kerja untuk siklus rankine harus merupakan uap. Siklus rankine ideal tidak melibatkan beberapa masalah irreversibilitas internal. Irreversibilitas internal dihasilkan dari gesekan *fluida*, *throttling* dan pencampuran, yang paling penting adalah irreversibilitas dalam turbin dan pompoa dan kerugian-kerugian tekanan dalam penukar-penukar panas, pipa-pipa, bengkokan-bengkokan dan katup. (Daffa Taupiqurrahman. 2022)



Gambar 2.14 Bagian alir siklus rankine sederhana
(Daffa Taupiqurrahman. 2022)



Gambar 2.15 Diagram T -s Siklus *Rankine* Sederhana
(Daffa Taupiqurrahman. 2022)

2.10 Kajian Pustaka

(Muslih Nasution & Suhardi) pada tahun 2021 melakukan penelitian mengenai aplikasi *boiler* sebagai pembangkit uap dalam menentukan efisiensi. Penelitian ini melakukan mempengaruhi besaran efisien yaitu nilai kalor bahan bakar yang dipakai untuk *boiler* kapasitas 7 ton/jam menggunakan cangkang sawit dengan rata-rata nilai kalornya 21773,797 kJ/kg. Panas yang diserap oleh *boiler* rugi-rugi yang dihasilkan pada saat proses pembakaran, seperti kandungan air dalam bahan bakar, kandungan air dalam bahan bakar, kandungan hydrogen, dan masih ada beberapa unsur bahan bakar yang belum habis terbakar. Produksi uap harian yang dihasilkan suolai uap harian yang dipresentasikan sebagai laju aliran massa uap merupakan kebutuhan uap pada bagian produksi juga berfluktuasi terhadap waktu. Efisiensi *boiler* tertinggi pada hari 6 dengan efisiensi 65,61% dan terendah efisiensi 63,49% dihari kedua. Penurunan nilai efisiensi *boiler* dikarenakan kandungan karbon, hydrogen, belerang dalam bahan bakar yang tidak terbakar sempurna. Untuk menaikkan nilai dari efisiensi *boiler* bisa dilakukan dengan perbaikan kinerja *boiler* dengan memasang peralatan seperti *economizer* dan air *preheater*.

(Ayuni lestari) pada tahun 2021 melalukan penelitian mengenai Analisa efisiensi termal *water tube boiler* berdasarkan rasio udara bahan bakar lpg untuk memproduksi *saturated* dan *superheated steam.* Melakukan penelitian tentang rasio udara bahan bakar atau disebut *Air Fuel Ratio* (AFR) merupakan rasio massa udara

terhadap bahan bakar padat, cair atau gas yang ada dalam proses pembakaran. Efisiensi termal yang didapatkan pada *saturated steam* sebesar 63% sedangkan *superheated steam* sebesar 67% yang didapat pada rasio ke-4 dengan jumlah rasio udara bahan bakar 16,23.

(Rispi Andra Harahap) pada tahun 2021 melakukan penelitian mengenai Performansi ketel uap pipa air mini kapasitas 20 kg/jam dan tekanan 3 BAR. Melakukan penelitian *mini boiler* ini dapat dimanfaatkan untuk keperluan operasional rumah sakit pada bagian sterilisasi dan *laundry*. Uap aktul yang dihasilkan dari *mini boiler* ini sebesar 14,3 kg/jam. Bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan uap sebanyak 14,3 kg/jam dengan tekanan rata-rata 3,01 bar dan temperatur rata-rata gas buang 251,94°C adalah sebesar 1,17 kg dibutuhkan jumlah udara pembakaran (untuk stoikiometrik teoritis) sebesar 24,89 kg. Nilai kalor bawah (*Low Heating Value*) LPG adalah sebesar 47046 kJ/kg. Jumlah energi panas yang masuk ke ketel uap dari hasil pembakaran bahan bakar (Qin) adalah 55043,82 kJ/kg/jam sedangkan jumlah energi berguna diserap air umpan sampai terbentuknya uap dalam ketel uap (Qout) adalah sebesar 37476,725 kJ/kg/jam. Efisiensi ketel uap sebesar 68,08%. Berdasarkan *range* efisiensi *boiler* 60% - 80% secara umum, maka miniature *boiler water tube* yang telah dirancang dapat dikategorikan sebagai *boiler* yang efisien atau optimal.

(Desi Aratri Damanik) pada tahun 2022 melakukan penelitian mengenai Purwarupa miniatur *water tube boiler* menggunakan gas kapasitas uap 20 kg/jam. Melakukan penelitian tentang kapasitas produksi uao miniature *boiler* dengan kapasitas gas 20 kg/jam dapat memproduksi uap tergantung permukaan bidang perpindahan panas lebih kecil dan perlu penambahan pipa-pipa air. Miniatur *boiler* pipa air terjadi tiga jenis perpindahan panas yaitu, radiasi pada gelombang panas dari hasil pembakaran bahan bakar, konduksi yang terjadi antara pipa air bagian luar dan pipa air bagian dalam dan konveksi yang terjadi pada pipa air bagian dalam dengan fluida kerja yaitu air.. Purwarupa miniature *water tube boiler* berguna untuk meningkatkan wawasan dan pengetahuan tentang *boiler* bagi pembuat *laundry* baju khususnya UMKN yng memberikan manfaat bagii masyarakat.

(Sihol Albert) pada tahun 2023 melakukan penelitian mengenai Analisis Perpindahan panas pada boiler pipa api skala model tekanan uap 7 kg/cm^2. Melakukan penelitian tentang boiler pipa api dengan pengujian perpindahan panas dengan tekanan 7 kg/cm^{2,} penelitian ini yang diterima bahan bakar sebesar 107.830 W. Dari grafik nya pada laju perpindahan menyeluruh mendapatkan tekanan 1,02 kg/cm^2 adalah perpindahan panas yang paling tinggi yaitu 27,44 W, sedangkan pada tekanan 6,118 kg/cm^2 adalah perpindahan menyeluruh yang paling rendah yaitu 6,734 W. Dari hasil penelitian ini maka menjadi besar energi yang digunakan air untuk menjadi uap bertekanan 7,138 kg/cm^2 adalah 6204,61 Wh.

(Jamaaludin) pada tahun 2018 melakukan penelitian mengenai Analisa Efisiensi Economizer Terhadap Boiler (Gas Dan Solar) Di PT. Spindo Iii, Tbk. Melakukan penelitian tentang boiler. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah didapatkan, efisiensi boiler berbahan bakar solar rata-rata efsiensi 40,7% dimana nilai tersebut belum termasukdalam kategori efisiensi yang baik, sedangkan efisiensi rata-rata pada boiler berbahan bakar gas dari perhitungan dan data yang terkumpul mendapatkan nilai sebesar 45,84%. Dari kedua perhitungan masih jauh dari kata efisiensi, sebagai salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi dapat ditambahkan economizer sebagai alat untuk meningkatkan efisiensi. Dari perhitungan yang telahdijelaskan efisiensi dari economizer pada boiler berbahan bakar solar yang semula 40,7% dapat ditingkatkan dengan economizer hingga 85,55%, sedangkan peningkatan efisiensi boiler Jumlah energi panas yang masuk ke boiler dari hasil pembakaran (Qin) adalah sebesar 55043,82 kJ/kg jam dan jumlah energi panas yang diserap air umpan sampai terbentuknya uap dalam boiler (Qout) adalah sebesar 37476,725 kJ/kg jam. Sehingga effisiensi boiler adalah sebesar 68,08 %. Sebagai dasar perancangan adalah sesuai spesifikasi untuk menghasilkan kapasitas 20 kg/jam. Dalam pengujian dapat diperoleh kemampuan atau economizer boiler.