

**PENGARUH *ECONOMIZER* TERHADAP PENINGKATAN
EFISIENSI BAHAN BAKAR *BOILER* PADA UNIT 3
PLTU PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANA
PEMBANGKITAN BELAWAN**

SKRIPSI

Disusun Oleh:

KASNO NUNUT SIMBOLON

158130024



**FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2019**

**PENGARUH *ECONOMIZER* TERHADAP PENINGKATAN
EFISIENSI BAHAN BAKAR *BOILER* PADA UNIT 3
PLTU PT. PLN (PERSERO) UNIT PELAKASANA
PEMBANGKITAN BELAWAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana di Fakultas Teknik
Universitas Medan Area**

OLEH :

KASNO NUNUT SIMBOLON

158130024



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
MEDAN
2019**

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

Document Accepted 12/16/19

Access From (repository.uma.ac.id)

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan 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 dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah.

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

Medan, Juli 2019



Kasno Nunut Simbolon

158130024

LEMBAR PENGESAHAN

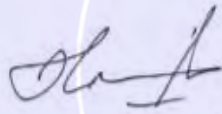
Judul Skripsi : PENGARUH ECONOMIZER TERHADAP PENINGKATAN EFISIENSI BAHAN BAKAR *BOILER* PADA UNIT 3 PLTU PT.PLN (PERSERO) UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN BELAWAN

Nama : KASNO NUNUT SIMBOLON

NPM : 158130024

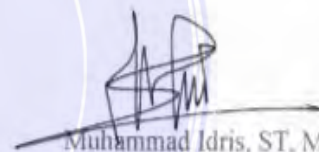
Fakultas : TEKNIK

Disetujui Oleh :



Ir. Husin Ibrahim, MT.

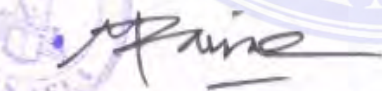
Pembimbing I



Muhammad Idris, ST, MT.

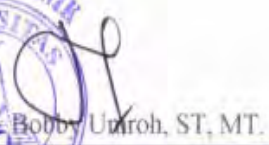
Pembimbing II

Mengetahui :



Dr. Faisal Amri Tanjung, S.ST, MT.

Dekan



Bobby Umroh, ST, MT.

Ketua Program Studi

Tanggal Lulus :

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : KASNO NUNUT SIMBOLON

NPM : 158130024

Program Studi : MESIN

Fakultas : TEKNIK

Jenis Karya : Tugas Akhir/Skripsi/Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Eksklusif (Non-exclusive Royalty-free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: Pengaruh Economizer Terhadap Peningkatan Efisiensi Bahan Bakar *Boiler* Pada Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan. Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas Royalty Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis sayaselama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai hak pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 20 September 2019

Yang menyatakan

Kasno Nunut Simbolon



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

Document Accepted 12/16/19

Access From (repository.uma.ac.id)

ABSTRACT

Kasno Nunut Simbolon, 158130024. “Pengaruh *Economizer* Terhadap Peningkatan Efisiensi Bahan Bakar *Boiler* Pada Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) Generating Unit Belawan”. Supervised by Ir. Husin Ibrahim, M.T., and Muhammad Idris, S.T., M.T.

Permintaan energi listrik terus meningkat seiring dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi di Indonesia, dimana saat ini hampir seluruh peralatan yang digunakan manusia bergantung pada energi listrik. Sistem pembangkit tenaga uap merupakan salah satu dari sistem pembangkit listrik yang umum di gunakan pada industri-industri maupun pembangkit-pembangkit listrik lainnya. Secara umum sistem pembangkit tenaga uap terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: pompa, turbin uap, *boiler*, generator dan kondenser. *Boiler* tersusun dari beberapa komponen seperti cerobong, *superheater*, *steam drum*, *economizer*, dan komponen penting lainnya. Salah satu komponen terpenting pada sistem *boiler* adalah *economizer* yang berperan membantu memanaskan *feedwater* yang akan digunakan dalam *boiler*. Kehilangan panas merupakan salah satu faktor penting yang sangat perlu diperhatikan dalam pengoperasian boiler. Kehilangan panas yang terlalu besar yang terdapat pada gas buang sisa pembakaran dalam boiler adalah salah satunya. Temperatur gas buang yang masih terlalu besar akan mengurangi efisiensi boiler. Maka untuk mengatasi masalah tersebut digunakan *economizer* sebagai alat untuk mengurangi temperatur gas buang. Temperatur gas buang yang masih terlalu tinggi dapat dimanfaatkan kembali untuk menaikkan temperatur air umpan didalam *economizer* dengan cara melewati gas buang tersebut kemudian diukur temperatur gas buang dan temperatur air umpan. Setelah dilakukan perhitungan maka didapat efisiensi boiler dengan menggunakan *economizer* sebesar 67.9 % sedangkan efisiensi boiler tanpa menggunakan *economizer* sebesar 44.91 %. Dengan menggunakan *economizer* maka dapat menghemat bahan bakar sebesar 829.44 kg.

Kata kunci : *boiler*, kehilangan panas, *economizer*, efisiensi bahan bakar

ABSTRACT

Kasno Nunut Simbolon, 158130024. "The Effect of Economizer towards the Increasing of the Boiler Fuel Efficiency Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) Generating Unit Belawan". Supervised by Ir. Husin Ibrahim, M.T., and Muhammad Idris, S.T., M.T.

The electrical energy demands continue to increase along with economic growing improvement in Indonesia, where currently almost all tools used by people need electricity. The steam power plant system is one of the commonly used power plant systems commonly consists of several main components namely: pump, steam turbine, boiler, generator, and condenser. The boiler is composed of some components such as chimney, superheater, steam drum, economizer, and other important components. One of the most important components in the boiler system is an economizer which has a role to heat the feedwater to be going to use inside the boiler. The heat loss is one of the important factors need to be concerned in the boiler operating. Too high heat losses which exist on the exhaust gas from the combustion in the boiler is one of them. Then, exhaust gas temperatures that are still too high will reduce the boiler efficiency. So, the economizer is utilized to solve the problem as the tool to reduce the exhaust gas temperature. A still too high exhaust gas temperature can be reused to increase the feedwater temperature in the economizer in a way passing the exhaust gas then measuring their temperature. Furthermore, after conducting the calculation, it was obtained the boiler efficiency by using an economizer of 67.9%, whereas without an economizer of 44.91%. Thus by using the economizer, 829.44 kg/hour of fuel can be saved.

Keywords: boiler, heat loss, economizer, fuel efficiency



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permintaan energi listrik terus meningkat seiring dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi di Indonesia, dimana saat ini hampir seluruh peralatan yang digunakan manusia bergantung pada energi listrik. Berdasarkan BPPT Outlook Energi Indonesia 2018 peningkatan kebutuhan listrik menjadi kebutuhan listrik per kapita mencapai 4.902 kWh pada tahun 2050, naik hampir 6 kali lipat dibanding 2016 (846 kWh/Kapita), dimana dunia industri merupakan salah satu pengkonsumsi energi atau bahan bakar yang cukup besar[1]

PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan adalah salah satu PT. PLN pensuplai listrik sumatera sektor utara milik negara yang terletak di pulau Naga Putri dengan luas 47 Hektar, desa pulau Sicanang kecamatan Medan Belawan 24 KM sebelah utara kota Medan. PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana pembangkitan Belawan berdiri pada tahun 1983 dan mulai beroperasi pada 1984 dengan kapasitas awal 130 MW, saat ini sudah berkembang menjadi 1.156,3 MW yang terdiri dari 4 unit PLTU, 2 unit blok PLTGU dan 5 unit PLTG.[1]

Sistem pembangkit tenaga uap merupakan salah satu dari sistem pembangkit listrik yang umum di gunakan pada industri-industri maupun pembangkit-pembangkit listrik lainnya. Sistem pembangkit ini memiliki keunggulan yaitu: dapat dioperasikan dengan menggunakan berbagai jenis bahan bakar, usia atau *life time* yang cukup

lama. Secara umum sistem pembangkit tenaga uap terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: pompa, turbin uap, *boiler*, generator dan kondenser.

Boiler tersusun dari beberapa komponen seperti cerobong, *superheater*, *steam drum*, *economizer*, dan komponen penting lainnya. Salah satu komponen terpenting pada sistem *boiler* adalah *economizer* yang berperan membantu memanaskan *feedwater* yang akan digunakan dalam *boiler*

[2]Kehilangan panas (*kehilangan panas*) pada *boiler* merupakan salah satu faktor penting yang sangat berpengaruh dalam mengidentifikasi efisiensi pada *boiler*. Hal ini menyebabkan banyak kerugian yang di timbulkan sehingga berdampak juga pada faktor ekonomis. Penggunaan *economizer* yang dapat di gunakan untuk memanfaatkan gas buang yang masih memiliki temperatur yang sangat tinggi untuk memanaskan air umpan sebelum masuk ke *boiler*, sehingga dapat mengurangi kerja *boiler* serta dapat menghemat pemakaian bahan bakar

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan antara lain:

- a. Menganalisa efisiensi *boiler* dengan menggunakan *economizer* dan tanpa menggunakan *economizer*?
- b. Menghitung penghematan bahan bakar *boiler*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang di ambil untuk di pelajari dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Mengevaluasi efisiensi *boiler* dengan menggunakan *economizer*.
- b. Mengevaluasi efisiensi *boiler* tanpa menggunakan *economizer*.
- c. Menghitung efisiensi bahan bakar *boiler*

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

- a. Dapat menjadi tambahan informasi sebagai salah satu langkah untuk meningkatkan efisiensi dan penghematan bahan bakar *boiler*.
- b. Dapat menjadi pertimbangan pentingnya pemakaian *economizer* pada unit *boiler*.
- c. Bagi peneliti dapat sebagai sarana untuk menerapkan ilmu teoritis yang di dapat selama di perkuliahan kepermasalahan kerja secara langsung.

1.5. Batasan Penelitian

Dari permasalahan yang harus diselesaikan di atas, maka perlu adanya batasan masalah serta ruang lingkupnya agar dalam melakukan analisa nantinya tidak melebar dan memudahkan dalam melakukan analisa. Batasan-batasan masalah tersebut yaitu :

- a. Analisa perhitungan diambil pada saat beban tertinggi.
- b. Analisa berdasarkan data-data operasi yang diperoleh dari *control room*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik

Kebutuhan akan energi listrik pada setiap daerah akan terus meningkat seiring dengan perkembangan industri ataupun kebutuhan sehari-hari. Hal tersebut disebabkan karena semakin majunya teknologi di kehidupan. Dengan demikian segala bentuk pekerjaan manusia kini dapat dengan mudah dikerjakan oleh teknologi. Kemudahan-kemudahan tersebut dapat diatasi dengan aplikasi tenaga listrik untuk dalam kehidupan sehari-hari. Gambar 2.1 merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban/konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah. [3]



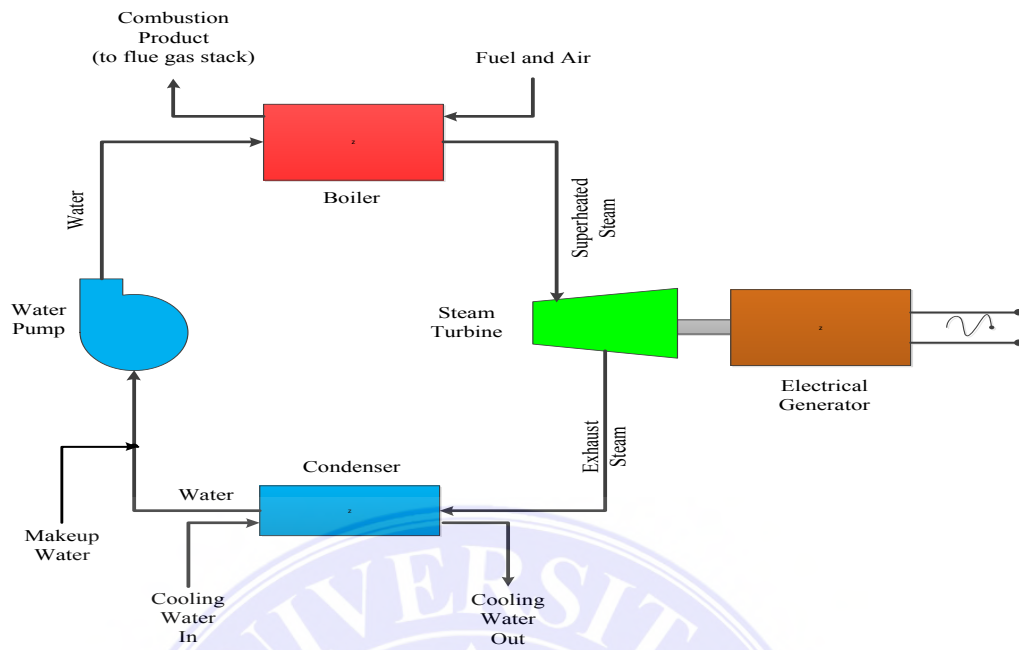
Gambar.2. 1.Gardu listrik

Listrik dapat dihasilkan dengan menggunakan berbagai tenaga pembangkit diantaranya: air, gas, uap, panas bumi, ataupun nuklir. Tenaga Uap (PLTU) cara kerjanya dengan memanfaatkan uap air bersuhu dan bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin dan generator yang akan menghasilkan listrik. Uap air tersebut di hasilkan dengan cara memanaskan air pada suatu alat yang disebut *boiler*. Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) memanfaatkan gas hasil pembakaran bahan bakar untuk menggerakkan turbin kemudian generator yang akan menghasilkan listrik. Pembakaran tersebut di lakukan di ruang bakar. Sedangkan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) merupakan gabungan dari PLTU dan PLTG.

2.2. Prinsip Kerja PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan suatu siklus yang terdiri dari komponen-komponen peralatan utama yang dihubungkan untuk menghasilkan karakteristik termodinamika yang optimum seperti temperatur, tekanan, dan kapasitas massa uap yang di integrasikan untuk menghasilkan listrik yang di butuhkan. Komponen sebuah PLTU biasa terdiri dari turbin, generator, *boiler*, kondenser, dan pompa air umpan. Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan, yaitu [4] :

1. Energi kimia dalam bahan bakar di ubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi didalam *boiler*.
2. Energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran dalam turbin.
3. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik pada generator.



Gambar.2.2. Skema Siklus Tenaga Uap PLTU

1. *Water Pump*

Water Pump merupakan pompa yang digunakan untuk mensirkulasikan air pendingin (air laut) kondensor pada industri pembangkitan (PLTU). [11].

2. *Boiler*

Boiler merupakan ketel uap adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran di alirkan ke air sampai terbentuk uap.[7].

3. *Steam Turbine*

Steam Turbine merupakan suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. [11]

4. *Condenser*

Condenser adalah salah satu jenis mesin penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja. [11].

5. *Electrical Generator*

Electrical Generator merupakan alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik [11].

PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut :

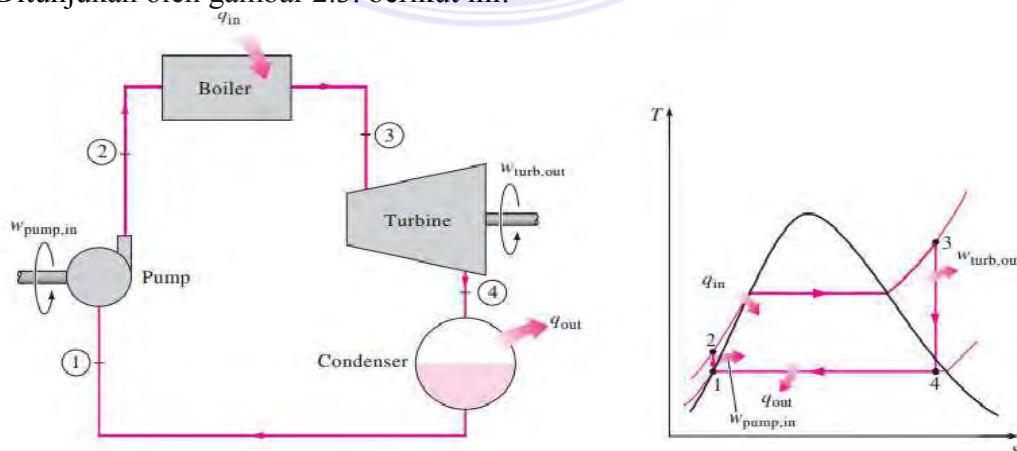
1. Air di isikan ke *boiler* hingga mengisi penuh seluruh luas permukaan pemindah panas. Didalam *boiler* air ini dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran bahan bakar dengan udara sehingga berubah menjadi uap.
2. Uap hasil produksi *boiler* dengan tekanan dan temperatur tertentu di arahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran.
3. Generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan, sehingga ketika turbin berputar dihasilkan energi listrik dari terminal output generator.
4. Uap bekas keluar turbin masuk ke kondensor untuk di dinginkan dengan air pendingin agar berubah kembali menjadi air yang disebut air kondensat. Air kondensat hasil kondensasi uap kemudian sebagai air

pengisi *boiler*. Demikian siklus ini berlangsung terus menerus dan berulang-ulang.

2.2.1. Sirkulasi *Rankine* Sederhana

Pada instalasi pembangkit daya dengan memanfaatkan uap bertekanan tinggi untuk menggerakkan turbin uap digunakan suatu acuan siklus kerja yang menjadi dasar dari pengoperasian instalasi tersebut. Siklus kerja yang digunakan pada PLTU adalah siklus *rankine*, ciri utama siklus *rankine* adalah fluida kerja yang digunakan yaitu air.

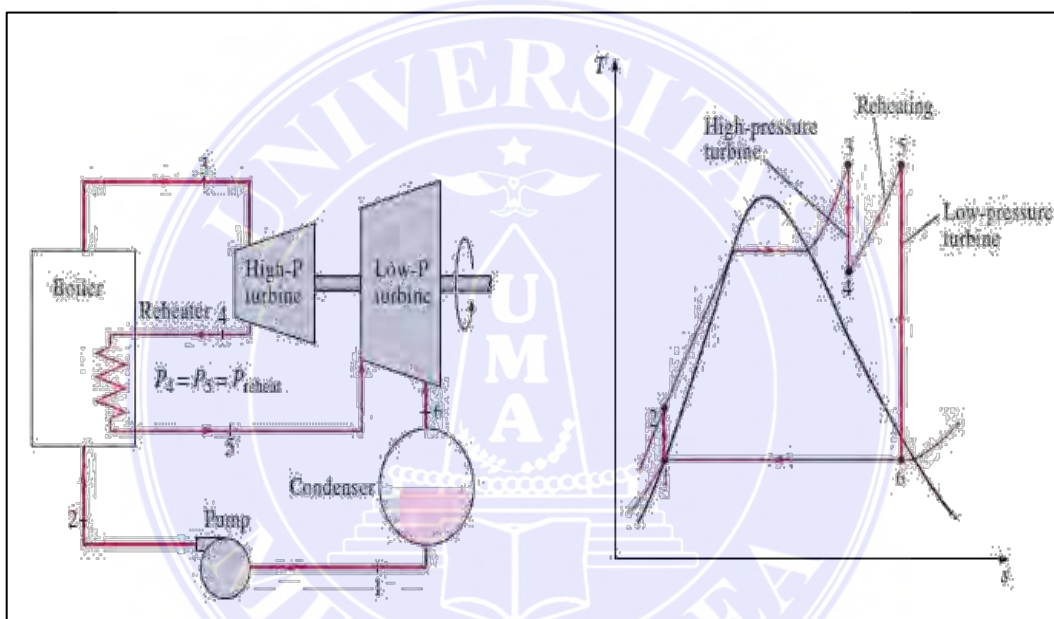
Siklus *Rankine* merupakan siklus ideal untuk pembangkit daya uap. [10]. Pada siklus *rankine* ideal sederhana terdiri dari 4 proses yang dapat dilihat pada gambar diagram T-s di bawah ini. Pada proses 1-2 terjadi kompresi isentropik yang terjadi di dalam pompa, hal ini mengakibatkan tekanan fluida kerja menjadi naik. Pada proses 2-3 terjadi penambahan panas dengan tekanan konstan di dalam *boiler*. Pada proses 3-4 terjadi ekspansi isentropik di dalam turbin yang menyebabkan tekanan menjadi turun. Pada proses 4-1 terjadi pembuangan panas ke lingkungan oleh kondensor pada tekanan konstan. Ditunjukkan oleh gambar 2.3. berikut ini:



Gambar.2.3. Siklus *Rankine* Sederhana

2.2.2. Sirkulasi Rankine *Reheat* Ideal

Pada siklus *rankine reheat* ideal terjadi 2 kali proses ekspansi. Pada ekspansi pertama (*high-pressure turbine*), uap di ekspansikan secara isentropik ke tekanan medium dan dikirimkan kembali ke *boiler* untuk dipanaskan kembali dengan tekanan konstan. Lalu pada proses ekspansi kedua (*low-pressure turbine*) uap di ekspansikan secara isentropik ke tekanan kondenser[5]. Di tunjukan oleh gambar 2.4. berikut ini:



Gambar.2.4. Siklus *Rankine Reheat* Ideal

Penggunaan dari pada *reheat* tunggal pada pembangkit listrik modern menaikkan efisiensi siklus menjadi 4 sampai 5 persen dengan cara meningkatkan suhu rata-rata uap yang ditransferkan kembali.

Siklus *reheat* diperkenalkan pada pertengahan tahun 1920, tapi kemudian ditinggalkan pada tahun 1930-an karena tingkat kesulitan yang tinggi dalam pengoperasiannya. Karena kenaikan tekanan *boiler* yang stabil seiring berkembangnya waktu maka siklus *reheat* tunggal kembali diperkenalkan pada tahun 1940an dan *reheat* ganda pada awal tahun 1950-an.

2.3. *Boiler*

2.3.1. Pengertian *Boiler*

Menurut [7], *boiler* atau juga biasa disebut juga ketel uap adalah bejana tertutup dimana panas pembakaran di alirkan ke air sampai terbentuk uap. Uap (*steam*) pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas kesuatu proses.

2.3.2. Perinsip Kerja *Boiler*

Uap panas atau *steam* pada tekanan tertentu kemudian digunakan untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Jika air di didihkan sampai menjadi steam, volumenya akan meningkat sekitar 1.600 kali.

Sistem *boiler* terdiri dari: sistem air umpan, sistem uap dan sistem bahan bakar. Sistem air umpan menyediakan air untuk *boiler* secara otomatis sesuai dengan kebutuhan steam. Berbagai *valve* di sediakan untuk keperluan perawatan dan perbaikan. Sistem uap mengumpulkan dan mengontrol produksi uap dalam *boiler*. Steam dialirkan melalui sistem pemipaan ke titik pengguna. Pada keseluruhan sistem, tekanan uap diatur menggunakan *valve* dan dipantau dengan alat pemantau tekanan. Sistem bahan bakar adalah semua peralatan yang digunakan untuk menyediakan bahan bakar untuk menghasilkan panas yang dibutuhkan. Peralatan yang diperlukan pada sistem bahan bakar tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan pada sistem.

Untuk mendapatkan efisiensi *boiler* yang lebih tinggi, digunakan *economizer* untuk memanaskan awal air umpan menggunakan limbah panas pada

gas buang. Bahan baku yang digunakan untuk membuat *steam* adalah air bersih. Air yang telah diproses di alirkan menggunakan pompa ke deaerator tank hingga pada level yang sudah ditentukan. Pemanasan dalam *deaerator* adalah dengan menggunakan uap sisa yang berasal dari hasil pemutaran turbin. Dalam hal ini terdapat beberapa tahap sirkulasi steam untuk pemanasan awal *deaerator*.

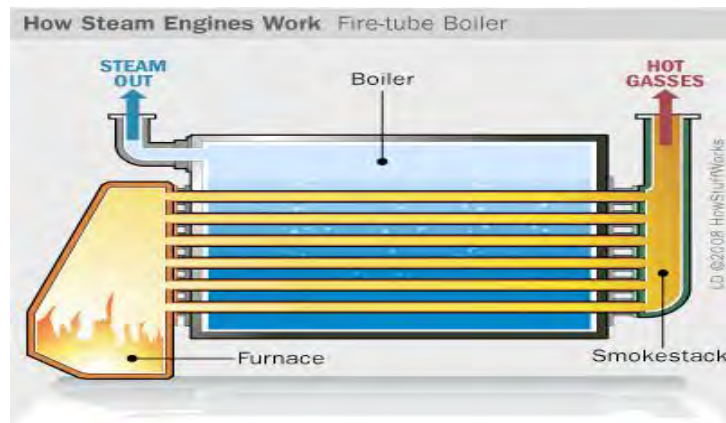
2.3.3. Klasifikasi *Boiler*

Berbagai bentuk *boiler* telah berkembang mengikuti kemajuan teknologi dan evaluasi dari produk-produk *boiler* sebelumnya yang dipengaruhi oleh gas buang *boiler* yang mempengaruhi lingkungan dan produk uap seperti apa yang akan dihasilkan. Berdasarkan fluida yang mengalir didalamnya :

1. *Boiler* Pipa Api

Gambar 2.5. Tipe *boiler* pipa api memiliki karakteristik: menghasilkan kapasitas dan tekananuap yang rendah.

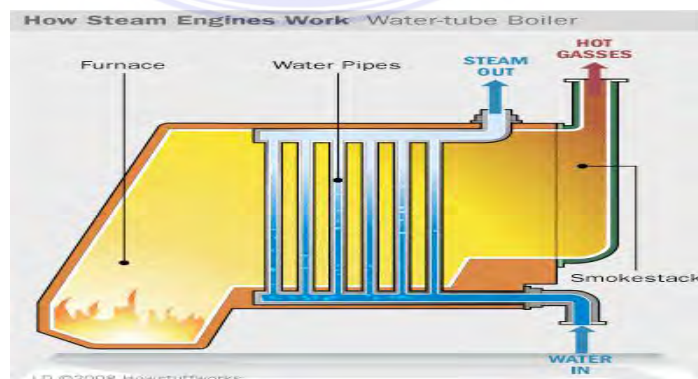
Cara kerja: proses pengapian terjadi didalam pipa, kemudian panas yang dihasilkan dihantarkan langsung kedalam *boiler* yang berisi air. Besar dan konstruksi *boiler* mempengaruhi kapasitas dan tekanan yang dihasilkan *boiler* tersebut.



Gambar.2.5. Boiler Pipa Api

2. Boiler Pipa Air

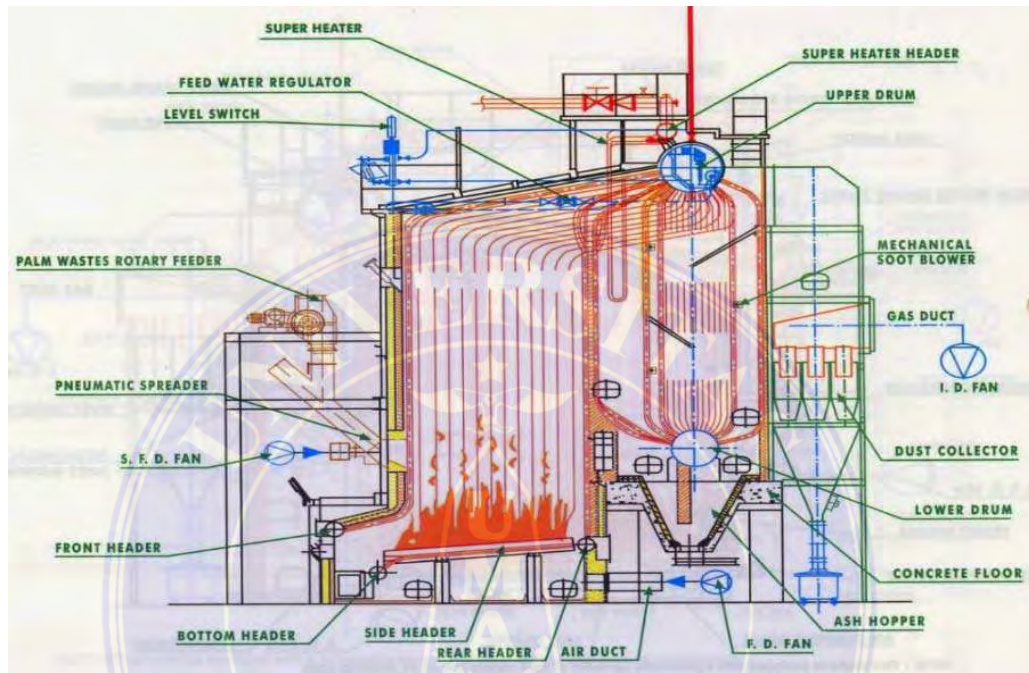
Gambar 2.6. Tipe boiler pipa air memiliki karakteristik: menghasilkan kapasitas dan tekanan *steam* yang tinggi. Cara kerja: proses pengapian terjadi di luar pipa, kemudian panas yang dihasilkan memanaskan pipa yang berisi air dan sebelumnya air tersebut dikondisikan terlebih dahulu melalui *economizer*, kemudian uap yang dihasilkan terlebih dahulu dikumpulkan di dalam sebuah drum uap. Sampai tekanan dan temperatur sesuai, melalui tahap *secondary superheater* dan *primary superheater* baru uap dilepaskan ke pipa utama distribusi. Didalam pipa air, air yang mengalir harus di kondisikan terhadap mineral atau kandungan lainnya yang larut.



Gambar.2.6. Boiler Pipa Air

2.3.4. Komponen *Boiler*

Komponen sistem *boiler* terdiri dari komponen utama dan komponen bantu yang masing-masing memiliki fungsi untuk menyokong prinsip kerja *boiler*. Seperti pada gambar 2.7.



Gambar.2.7. Bagian-Bagian *Boiler*

2.3.5. Komponen Utama *Boiler*

Komponen utama *boiler* terdiri dari:

1. Pembakar

Pembakar (*burner*) adalah alat yang digunakan untuk mencampur bahan bakar dan udara. Caranya adalah dengan menyemprotkan kedalam ruang dapur melalui mulut-mulut pembakar atau *brander*, sedangkan udara dimasukkan lewat sekeliling mulut pembakar tersebut. Ada beberapa macam sistem *brander* tergantung pada sistem pengabutannya yaitu sistem pengabut uap atau udara dan sistem pengabut tekan. Pada sistem pengabut uap atau udara caranya adalah

uap/udara dipancarkan melalui mulut pembakar (*brander*) dan akibat dari pancaran ini minyak akan terisap.

2. Pipa Evaporator

Pipa evaporator merupakan pipa-pipa dimana air atau uap bersikulasi didalam *boiler* dan juga sebagai tempat pemanasan air

3. Ruang Bakar

Ruang bakar (*furnace*) adalah dapur penerima panas bahan bakar untuk pembakaran, yang terdapat *fire gate* dibagian bawah sebagai alas bahan bakar dan yang sekelilingnya adalah pipa-pipa air *boiler* yang menempel pada dinding ruang pembakaran yang menerima panas dari bahan bakar secara radiasi, konveksi, radiasi.

4. Drum

Drum merupakan tempat menampung air dari *economizer* sekaligus sebagai pemisah uap dan air. Pada konstruksi sebuah *boiler* terdapat 2 buah drum yakni drum uap dan drum lumpur. Drum uap berfungsi untuk menampung uap hasil dari sirkulasi. Drum lumpur merupakan drum yang posisinya di bawah drum uap dan berfungsi sebagai pengumpul air panas yang akan didistribusikan ke dalam *wall tube*. Drum tersebut juga memiliki pipa untuk pembuangan berkala.

5. Pemanas Lanjut

Pemanas lanjut (*super heater*) adalah bagian-bagian *boiler* yang berfungsi sebagai pemanas uap, dari *saturated steam* ($\pm 250^{\circ}\text{C}$) menjadi *super heated steam* ($\pm 360^{\circ}\text{C}$)

6. Pemanas Udara

Pemanas udara (*air heater*) adalah alat pemanas udara penghembus bahan bakar. Gas buang yang masih memiliki panas yang tinggi dapat digunakan untuk memanaskan udara pembakaran di dalam *air heater*.

7. *Dust Collector*

Dust collector adalah alat pengumpul abu atau penangkap abu pada sepanjang aliran gas pembakaran bahan bakar sampai kepada gas buang.

8. *Soot Blower*

Soot blower adalah alat yang berfungsi sebagai pembersih jelaga atau abu yang menempel pada pipa-pipa.

2.3.6. Komponen Pendukung

Sedangkan untuk komponen pendukung dalam sistem *boiler* uap antara lain yaitu :

1. Tangki Air

Tangki air umpan yang memiliki fungsi sebagai tempat penampungan air umpan yang telah diproses pada softener yang akan dikirim ke *boiler* untuk diproses menjadi uap. Seperti yang di tunjukan pada Gambar 2.8.



Gambar.2. 8. Tangki Air Umpan

2. Pompa Air Umpan

Pompa air umpan (*feed water pump*) berfungsi untuk mengalirkan air umpan dari tangki menuju *boiler*. Biasanya pompa yang digunakan pompa jenis sentrifugal. Pompa air umpan ini terdapat dua tipe yakni pompa yang digerakkan oleh trubin dan pompa yang digerakkan oleh motor. Seperti yang di tunjukan pada Gambar 2.9.



Gambar.2.9. Pompa Air Umpan

3. *Sea Water Desalinatio*

Sea Water Desalination alat untuk memurnikan air, yaitu memisahkan air dengan kadar garam yang dikandungnya agar diperoleh air dengan kadar garam yang rendah (*fresh water*). Seperti pada yang di tunjukan Gambar 2.10.



Gambar.2.10. *Sea Water Desalination*

4. *Softener*

Softener alat yang berfungsi untuk mengeliminasi unsur-unsur Mg dan Ca yang terdapat pada air umpan. Unsur-unsur tersebut harus diminimalkan memperlambat pembentukan kerak (*scale*) pada pipa-pipa evaporator yang akan meneruskan perpindahan panas. Prinsip kerjanya dengan cara pertukaran ion. Seperti yang ditunjukkan Gambar 2.11.



Gambar.2.11. *Softener*

5. *Deareator*

Deareator mempunyai fungsi utama yaitu menghilangkan kandungan-kandungan oksigen dan gas-gas lainnya yang masih terkandung didalam air pengisi *boiler*. Karena oksigen dapat menyebabkan terjadinya korosi pada pipa-pipa dan dinding *boiler*. Cara kerja deareator yakni air disemprot dengan menggunakan *lowpressure steam* sehingga kandungan oksiges dan gas lain hilang dan temperaturair meningkat. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar.2.12. *Deareator*

6. *Economizer*

Economizer alat yang berfungsi sebagai pemanas air umpan sebelum masuk ke drum *boiler*. Sisa panas gas hasil pembakaran yang akan dibuang ke atmosfer melalui *stack* terlebih dahulu dilawatkan ke *economizer* sehingga mengurangi panas gas buang sisa pembakaran dan menaikkan temperatur air umpan *boiler*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar.2.13. *Economize*

7. *Force Draft Fan*

Force Draft Fan adalah alat bantu *boiler* yang berfungsi sebagai penghembus udara, dan *force draft fan* ini boleh dijalankan apabila *induced draft fan* sudah dijalankan terlebih dahulu. Udara yang dihembuskan *force draft fan* di lewatkan melalui *air heater* terlebih dahulu, supaya mendapatkan udara penghembus yang bersuhu tinggi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar.2.14. *Force Draft Fan*

8. *Induced Draft Fan*

Induced Draft Fan yakni alat bantu *boiler* yang berfungsi sebagai penghisap gas asap sisa pembakaran bahan bakar yang keluar dari *boiler*.

2.3.7. Komponen Pengaman *Boiler*

Menurut undang-undang keselamatan kerja yaitu UU No. 1 tahun 1970, setiap *steam boiler* diwajibkan menggunakan alat-alat pengaman atau keamanan otomatis, karena adanya tekanan dari *boiler* itu sendiri.

Alat-alat tersebut diperlukan untuk menjamin agar *steam boiler* dapat bekerja dengan aman dan secara terus menerus sehingga tidak membahayakan

operator maupun benda-benda yang berada di sekelilingnya. Alat pengaman pada *Boiler* yaitu:

1. Katup Pengaman

Katup pengaman (*safety valve*) adalah suatu alat untuk kemungkinan *boiler* membuang uap keluar, jika tekanan uap dalam *boiler* melebihi tekanan yang di iijinkan. Untuk sebuah *boiler* minimum harus mempunyai 2 buah katup pengaman. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.15.

Fungsi dari katup pengaman adalah :

1. Membatasi tekanan uap yang ada di dalam *boiler*.
2. Mengeluarkan uap bila terjadi tekanan uap yang melebihi tekanan yang di iijinkan.



Gambar.2.15. Katup Pengaman

Sistem kerja katup pengaman adalah jika tekanan uap dalam drum uap melebihi tekanan uap yang di iijinkan, kemungkinan yang terjadi adalah akan meledak dan akan menimbulkan kerusakan yang lebih besar apabila tekanannya tidak dikurangi. Dalam keadaan yang demikian maka katup pengaman akan membuka dan uap akan keluar lewat saluran *valve* sehingga tekanan uap dalam

drum akan berkurang. Setelah tekanan uap pada tekanan normal, katup pengaman akan menutup kembali. Pada *Boiler* terdapat 3 buah katup pengaman.

2. Gelas Penduga

Gelas penduga adalah suatu pengaman yang berfungsi untuk mengetahui tinggi rendahnya permukaan air di dalam drum *boiler*. Di bagian bawah gelas penduga terdapat katup peluru yang berfungsi menutup pancuran air. Apabila gelas penduga pecah, tidak akan membahayakan operator. Pada *boiler* terdapat 2 buah gelas penduga. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar.2.16. Gelas Penduga

3. Manometer

Alat ini berfungsi untuk menunjukkan besarnya *steam pressure* yang terbentuk di dalam *boiler*, sehingga dengan terpasangnya manometer ini tekanan kerja *steam boiler* dapat diketahui besarnya dalam satuan kg/cm^2 atau psi dan itu tergantung dari satuan satuan yang tertera di dalamnya. Seperti pada Gambar 2.17.



Gambar.2.17. Manometer

4. Keran Penutup Uap Induk

Alat ini berfungsi untuk membuka dan menutup saluran *steam* serta mengatur jumlah *steam* yang mengalir keluar dari *boiler*. Keran *steam* ini berada pada saluran keluar *boiler*. Konstruksi batang katup dibuat ulir segi empat dengan maksud untuk mengurangi adanya gesekan.

5. Keran Pengisi Air *Boiler*

Fungsi keran ini adalah untuk mengatur pemasukkan air ke dalam *steam boiler* dan di sini juga dilengkapi dengan katup yang dapat membuka dan menutup sendiri, yang berfungsi agar air umpan *boiler* tidak balik. Jika keran *steam* dibuka maksimum, maka kapasitas aliran akan besar tetapi apabila bukaan keran diperkecil, maka kapasitas aliran air akan mengecil pula.

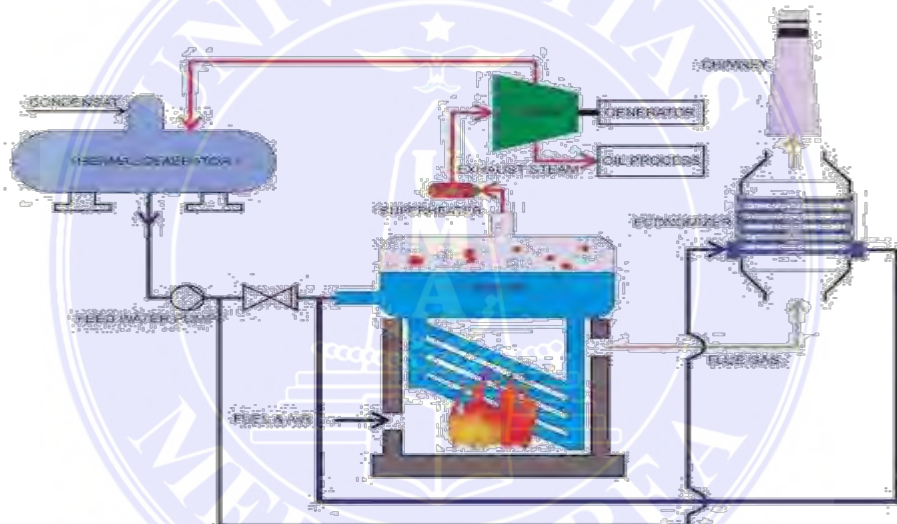
6. Keran Pembilasan

Keran pembilasan (*blowdown*) berfungsi mengeluarkan endapan-endapan air secara sebagian-sebagian maupun keseluruhan dari uap *boiler*. Keran ini dipasang pada bagian permukaan yang paling bawah dari *boiler*, di daerah yang banyak kemungkinan terjadinya lumpur. Dengan demikian apabila air

dikeluarkan dari dalam *boiler*, maka lumpur dan endapan-endapan di sekitar blowdown akan ikut keluar.

2.4. *Economizer*

Economizer adalah alat pemindah panas berbentuk tubular yang digunakan untuk memanaskan air umpan *boiler* sebelum masuk ke *boiler*. Istilah *economizer* diambil dari kegunaan alat tersebut, yaitu untuk menghemat (*to economize*) penggunaan bahan bakar dengan mengambil panas (*recovery*) gas buang sebelum dibuang ke atmosfer. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18.

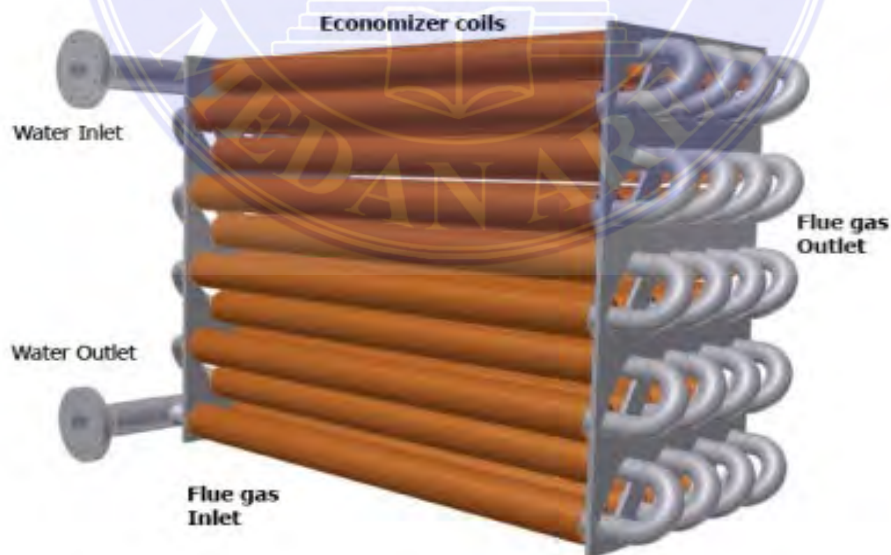


Gambar.2.18. Mekanisme *Economizer*

Konstruksi *economizer* adalah berdasarkan tipenya, ada tipe *economizer* yang tidak menyatu dengan *boiler*, dan ada juga *economizer* yang menyatu dengan *boiler*. Perbedaan keduanya hanyalah pada peletakkan tempat pada penyusunan komponen dalam suatu pabrik. Pada *economizer* yang dihubungkan langsung dengan *boiler*, dan terpasang langsung saat dikeluarkan dari pabriknya. Dalam hal ini, spesifikasi alatnya bukan lah dari tipe *economizer* melainkan tipe

dari *boiler* itu sendiri yaitu *boiler recovery* atau bisa juga disebut *boiler economizer*.

Kinerja *economizer* ditentukan oleh fluida yang mempunyai koefisien perpindahan panas yang rendah yaitu gas. Kecepatan perpindahan panas dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan koefisien perpindahan panas total dengan cara mengatur susunan *tubing*/properti fin dan meningkatkan luas kontak perpindahan panas. Respon yang dihasilkan oleh *economizer* adalah efektifitas perpindahan panas dan biaya operasi. Efektifitas perpindahan panas adalah besarnya energi yang dapat diambil dari total jumlah energi yang dapat diserap. Semakin besar efisiensi perpindahan panas pada *economizer*, maka panas gas sisa yang diambil akan semakin banyak. Semakin besar efektifitas perpindahan panas yang terjadi, maka alat tersebut semakin efisien. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar.2.19. Penampang *Economizer*

2.5. Pembakaran

Reaksi kimia yang umum digunakan untuk menghasilkan energi adalah pembakaran, yaitu suatu reaksi cepat antara bahan bakar dengan oksigen yang disertai terjadinya api. Bahan bakar utama dewasa ini adalah bahan bakar fosil, yaitu gas alam, minyak bumi, dan batu bara. Bahan bakar fosil itu berasal dari pelapukan sisa organisme, baik tumbuhan atau hewan. Pembentukan bahan bakar fosil ini memerlukan waktu ribuan sampai jutaan tahun.

Bahan bakar fosil terutama terdiri atas senyawa hidrokarbon, yaitu senyawa yang hanya terdiri atas karbon dan hidrogen. Gas alam terdiri atas alkana suku rendah terutama metana dan sedikit etana, propana, dan butana. Seluruh senyawa itu merupakan gas yang tidak berbau. Oleh karena itu, kedalam gas alam ditambahkan suatu zat yang berbau tidak sedap, yaitu merkaptan, sehingga dapat diketahui jika ada kebocoran. Gas alam dari beberapa sumber mengandung H_2S , suatu kontaminan yang harus disingkirkan sebelum gas digunakan sebagai bahan bakar karena dapat mencemari udara. Beberapa sumur gas juga mengandung helium.

Minyak bumi adalah cairan yang mengandung ratusan macam senyawa, terutama alkana, dari metana hingga yang memiliki atom karbon mencapai lima puluhan. Dari minyak bumi diperoleh bahan bakar LPG (*Liquified Petroleum Gas*), bensin, minyak tanah, kerosin, solar dan lain-lain. Pemisahan komponen minyak bumi itu dilakukan dengan destilasi bertingkat. Adapun batu bara adalah bahan bakar padat, yang terutama, terdiri atas hidrokarbon suhu tinggi. Batu bara dan minyak bumi juga mengandung senyawa dari oksigen, nitrogen, dan belerang.

Apabila energi yang digunakan untuk menguraikan air tersebut berasal dari bahan bakar fosil, maka hidrogen bukanlah bahan bakar yang konversial. Tetapi saat ini sedang dikembangkan penggunaan energi nuklir atau energi surya. Jika proyek itu berhasil, maka dunia tidak perlu khawatir akan kekurangan energi. Matahari sesungguhnya adalah sumber energi terbesar di bumi, tetapi teknologi penggunaan energi surya belumlah komersial. Salah satu kemungkinan penggunaan energi surya adalah menggunakan tanaman yang dapat tumbuh cepat. Energinya kemudian diperoleh dengan membakar tumbuhan itu. Nilai kalor dari berbagai jenis bahan bakar di berikan pada tabel berikut.

Tabel 2.1. Jenis Bahan Bakar

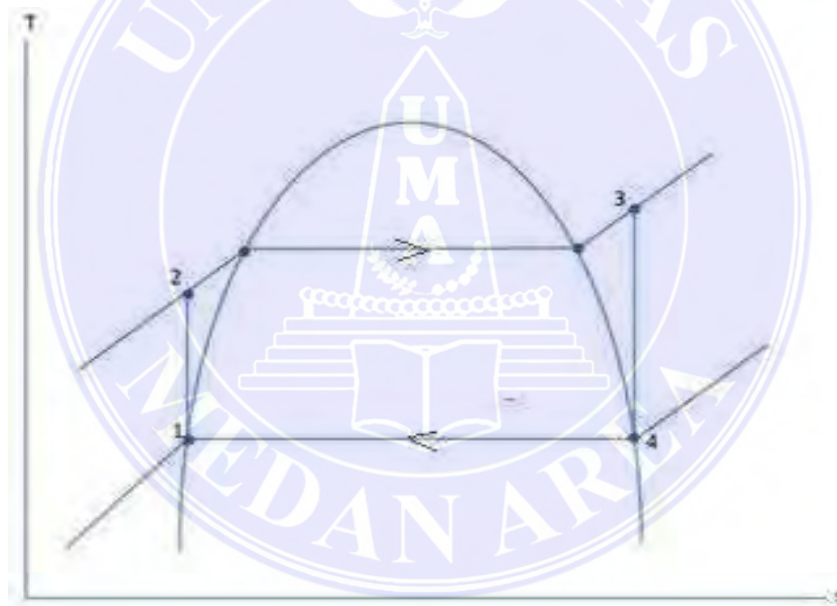
JenisBahanBakar	Komposisi			NilaiKalor (kJ/gram)
	C	H	O	
Gas alam	70	23	0	49
Batubara (antrasit)	82	1	2	31
Batubara (bituminos)	77	5	7	32
Minyakmentah	85	12	0	45
Bensin	85	15	0	48
Arang	100	0	0	34
Kayu	50	6	44	18
Hidrogen	0	100	0	142

2.6. Proses Pembentukan Uap

Sebagai fluida kerja di *boiler*, umumnya digunakan air (H_2O) karena bersifat ekonomis, mudah di peroleh, tersedia dalam jumlah yang banyak, serta mempunyai kandungan entalpi yang cukup tinggi bila dibandingkan dengan fluida kerja yang lain. Penguapan adalah proses terjadinya perubahan fasa dari cairan

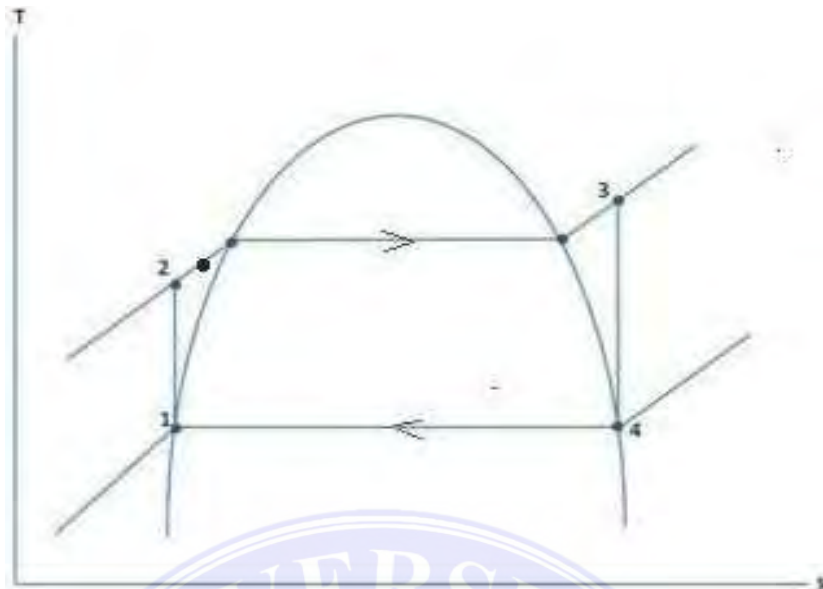
menjadi uap. Apabila panas diberikan pada air, maka suhu air akan naik. Naiknya suhu air akan meningkatkan kecepatan gerak molekul air. Jika panas terus bertambah secara perlahan-lahan, maka kecepatan gerak air akan semakin meningkat pula, hingga sampai pada suatu titik dimana molekul-molekul air akan mampu melepaskan diri dari lingkungannya (100°C) pada tekanan 1 atm, maka air secara berangsur-angsur akan berubah fasa menjadi uap dan hal inilah yang disebut sebagai penguapan[9].

Proses perubahan fasa air menjadi uap dapat di gambarkan pada diagram T-s seperti gambar 2.20. dibawah:



Gambar.2.20. Diagram T-s Tanpa Menggunakan *Economizer*

Dapat dilihat dari diagram diatas proses pembentukan air hingga menjadi uap. Proses 1-2 yakni proses pompa ke *boiler*. Proses 2-3 yakni pemanasan air hingga menjadi uap dan dilanjutkan ke *superheater*. Sedangkan 3-4 proses dari *boiler* ke turbin.



Gambar.2.21. Diagram T-s menggunakan *Economizer*

Sedangkan pada diagram T-s dengan menggunakan *economizer*, pada proses 2-3 terjadi peningkatan temperatur air umpan pada *economizer* sehingga mengurangi kerja *boiler* untuk mengubah air menjadi uap, dan untuk menghitung

2.7. Nilai Kalor (*Heating Value*)

Nilai kalor merupakan energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada waktu terjadinya oksidasi unsur-unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. (Ristyanto: 2017:234). Bahan bakar adalah zat kimia yang apabila direaksikan dengan oksigen (O_2) akan menghasilkan sejumlah kalor. Bahan bakar dapat berwujud gas, cair, maupun padat. Selain itu, bahan bakar merupakan suatu senyawa yang tersusun atas beberapa unsur seperti karbon (C), hidrogen (H), belerang (S), dan nitrogen (N). Kualitas bahan bakar ditentukan oleh kemampuan bahan bakar untuk menghasilkan energi. Kemampuan bahan bakar untuk menghasilkan energi ini sangat ditentukan oleh nilai bahan bakar yang di

definisikan sebagai jumlah energi yang di hasilkan pada proses pembakaran per satuan massa atau persatuan volume bahan bakar.

Nilai pembakaran ditentukan oleh komposisi kandungan unsur di dalam bahan bakar. Dikenal dua jenis pembakaran, yaitu:

1. Nilai Kalor Pembakaran Tinggi

Nilai kalor pembakaran tinggi atau juga dikenal dengan istilah High Heating Value (HHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan air dari proses pembakaran ikut diperhitungkan sebagai panas dari proses pembakaran[11].

Dirumuskan dengan:

$$\text{HHV} = 33950 \text{ C} + 144200 (\text{H}_2 - \text{O}_2/8) + 9400 \text{ S} \text{ (2.1)}$$

kj/kg.....

2. Nilai Pembaran Kalor Rendah

Nilai kalor pembakaran rendah atau juga dikenal dengan istilah Low Heating Value (LHV) adalah nilai pembakaran dimana panas pengembunan uap air dari hasil pembakaran tidak ikut dihitung sebagai panas dari proses pembakaran. [11].

Dirumuskan dengan:

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2411 (9\text{H}_2) \text{ kj/kg} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.8. Efisiensi *Boiler*

Metode untuk Untuk Perhitungan Efisiensi *Boiler* Menurut Standar ASMI secara umum terbagi dua:

Efisiensi *boiler* merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan *boiler* dalam mengubah air menjadi uap dengan menggunakan kalor hasil pembakaran. Menghitung efisiensi *boiler* dengan Metode *Kehilangan panas* berdasarkan ASME Power Test Codes 4.1.64 dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = 100 \% - \% \text{ Total Kehilangan panas}$$

Menghitung kebutuhan udara teoritis (TA)

$$TA = \frac{[(11.43 \times c) + \{34.5 \times (H_2 - 0.2/8)\} + (4.32 \times S)]}{100 \text{ kg/kg bahan bakar}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Menghitung persen kelebihan udara yang dipasok (EA)

$$EA = \frac{\%02 \times 100}{21 - \%02} \dots \dots \dots (2.4)$$

Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok per kg bahan bakar (AAS)

$$AAS = \left\{ 1 + \frac{EA}{100} \right\} \times TA \dots \dots \dots (2.5)$$

Total *heatinput* tergantung dari LHV (*Lower Heating Value*) atau nilai kalor bawah yaitu nilai kalor bahan bakar setelah dikurangi oleh penyerapan air yang terbentuk akibat reaksi fuel oil yang mengandung hidrogen dengan udara yang mengandung oksigen. Jika penyerapan panas oleh air tidak diperhitungkan maka didapat nilai kalor atas atau HHV = *High Heating Value*.

LHV yang digunakan pada perhitungan efisiensi *boiler* tergantung dari jenis bahan bakarnya [6], yaitu :

- a. LHV F.O (LHV untuk bahan bakar *fuel oil*)

Dari penjelasan skema diatas dapat dijabarkan kehilangan panas (*heatloss*) adalah sebagai berikut :

1. Kehilangan Panas karena Gas Buang Kering

Gas asap hasil pembakaran yang keluar dari *boiler* masih memiliki kalor yang tinggi. Kalor yang berasal dari gas buang tersebut dimanfaatkan kembali dengan menggunakan *economizer*, Gas yang keluar dari *economizer* masih memiliki kalor yang cukup tinggi namun tidak dapat dimanfaatkan. Inilah yang disebut kehilangan panas karena gas buang kering [7].

$$L_{dg} = (\text{dry gas per lb as fired fuel}) \times C_p \times (T_{\text{stack}} - T_{\text{udara}})$$

$$\text{Dry gas per lb as fired fue} = \frac{11CO_2 + 8.02 + 7(N_2 + CO)}{3(CO_2 + CO)} \times \frac{\%C}{100} + \frac{3}{8} \times S$$

$$\% \text{ Kehilangan panas Due to Dry Gas} = \frac{L_{dg}}{LHV} \times 100\% \dots \dots \dots (2.6)$$

2. Kehilangan Panas karena Kandungan Air dalam Bahan Bakar

Air dalam bahan bakar tidak akan bereaksi dalam proses pembakaran dan akan menyerap sebagian kalor dari hasil pembakaran. Akibatnya akan mengurangi kalor yang digunakan menguapkan air. Ini yang disebut kehilangan panas karena kandungan air dalam bahan bakar.

$$L_{\text{moist}} = \frac{\%wtH_2O}{100} \times (h_{\text{stack}} - h_{\text{udara}})$$

$$\% \text{ Kehilangan panas to due in fuel} = \frac{L_{\text{moist}}}{LHV} \times 100\% \dots \dots \dots (2.7)$$

3. Kehilangan Panas Karena Kadar Air untuk Pembakaran Hidrogen dalam Bahan Bakar

Unsur hidrogen yang ada di dalam bahan bakar menyebabkan terjadinya uap air pada proses pembakaran. Akibatnya kalor yang timbul akibat pembakaran bahan bakar di *boiler* sebagian diserap oleh uap air ini sehingga mengurangi kalor yang akan digunakan untuk menguapkan air umpan.

$$L_{H2} = \frac{9}{100} \times \text{total WtHidrogen (hstack- hudara)}$$

$$\% \text{ Kehilangan panas Due to Hydrogen in fuel} \\ = \frac{L_{H2}}{L_{HV}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.8)$$

4. Kehilangan Panas karena Kandungan Air didalam Udara Pembakaran.

Udara pembakaran yang diambil dari udara bebas selalu mengandung uap air. Uap air tidak bereaksi selama proses pembakaran tetapi hanya akan bercampur dengan gas-gas asap hasil pembakaran. Uap air akan menyerap sebagian kalor yang dihasilkan oleh pembakaran *boiler*, sehingga mengurangi kalor yang akan digunakan untuk menguapkan air.

$$\% \text{Kehilangan panas Due to Moisture in Air} = 0,46 \times \text{Moisture Air} \times (T_{\text{stack}} - T_{\text{udara}}) \dots (2.9)$$

5. Kehilangan Panas karena Perpindahan Panas atau Radiasi

Radiasi panas yang keluar dari dinding-dinding *boiler* ikut mengurangi kalor yang akan digunakan untuk menguapkan air umpan. Ini yang disebut kehilangan panas karena perpindahan panas atau radiasi adalah.

$$L_{dr} = \text{Look from radiation loss chart in ABMA} = 0,35 \% \dots \dots \dots (2.10)$$

6. *Unmeasured Losses*

Loss ini berdasarkan prediksi dari desain pada data sheet sebesar 0.5 %....(2.11)

Menghitung efisiensi *boiler* dengan Metode *Kehilangan panas* berdasarkan ASME Power Test Codes 4.1.64 dirumuskan sebagai berikut :

$$\eta = 100 \% - \% \text{ Total Kehilangan panas} \\ \eta = 100 \% - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6) \dots \dots \dots (2.12)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1. Tempat Penelitian

Tempat penulis melakukan penelitian adalah di SPTU PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan. PT. PLN (Persero) ini merupakan penyuplai listrik terbesar untuk daerah Sumatera Utara dan PT. PLN ini mempunyai empat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dan Empat Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) untuk luas wilayah dari pembangkit PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan ini sekitar 47 Ha.



Gambar.3. 1. Wilayah Pembangkit UPK Belawan

3.1.2. Waktu Penelitian

Analisis ini dimulai sejak judul tugas akhir ini disetujui oleh kedua pembimbing. Kemudian waktu yang akan digunakan dari persiapan penyusunan tugas akhir ini dapat dilihat pada tabel 3.1. sebagai berikut:

Tabel 3.1. Jadwal Penelitian

No	Kegiatan	Bulan						
		Maret 2019	April 2019	Mei 2019	Juni 2019	Juli 2019	Agustus 2019	September 2019
1	Penyusunan Proposal skripsi							
2	Seminar Proposal							
3	Pengambilan data							
4	Analisis data							
5	Sidang							
6	Skripsi							

3.2. Alat Dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh data di Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan yaitu sebagai berikut :

1. *Orifice Meter*

Orifice Meter digunakan untuk mengukur jumlah aliran air atau uap yang masuk ke komponen SPTU. Pembacaan data dilakukan di *control room* seperti gambar 3.2.



Gambar.3.2. *Orifice meter*

2. Termometer

Termometer digunakan untuk mengukur suhu air dan uap pada SPTU. Hasil pengukuran kemudian akan disampaikan ke *control room*. Gambar 3.3. Menunjukkan contoh gambar termometer.



Gambar.3.3. Termometer

3. Manometer

Manometer digunakan untuk mengukur tekanan uap didalam *boiler* dan turbin. Pembacaan data dilakukan di *control room*. Gambar 3.4 menunjukkan contoh gambar dari manometer.



Gambar.3.4. Manometer

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan adalah data yang diperoleh dari unit *Utilities Complex* dan unit *Energy Conservation and Loss Control Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero)*

Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan, serta data-data dari pustaka yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini terbagi dua, yaitu

- a. Data primer, merupakan data yang diperoleh dari SPTU PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan, seperti: spesifikasi *boiler*, dan data operasional harian *boiler*.
- b. Data sekunder, merupakan data yang bersumber dari pustaka-pustaka yang mendukung penelitian, seperti tabel sifat.

3.3. Prosedur Penelitian

Dalam melakukan penelitian tugas akhir ini metode yang penulis gunakan adalah metode survey. Dimana didalam hal ini penulis langsung melakukan survey ke PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan untuk mengumpulkan data-data dalam menganalisa pemakaian *economizer* terhadap penghematan bahan bakar pada *boiler*. Langkah-langkah yang penulis lakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi Literatur

Studi literatur yang penulis lakukan adalah mencari data-data yang berkaitan dengan *boiler* mulai dari data design pada data *sheet boiler*.

2. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan penulis dalam penelitian tugas akhir ini melalui beberapa metode, yaitu:

a. Metode Observasi

Melakukan pengamatan dan pencatatan dengan meninjau secara langsung ke lapangan serta melihat objek yang diteliti secara langsung, sehingga akan diperoleh data yang sistematis dan sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

b. Riset Pustaka

Pengumpulan data-data yang diperoleh dari buku-buku referensi diberbagai tempat dan sumber-sumber yang ada kaitannya dengan objek yang diteliti yang nantinya berguna untuk mengembangkan hasil interview dan observasi.

c. Metode Interview

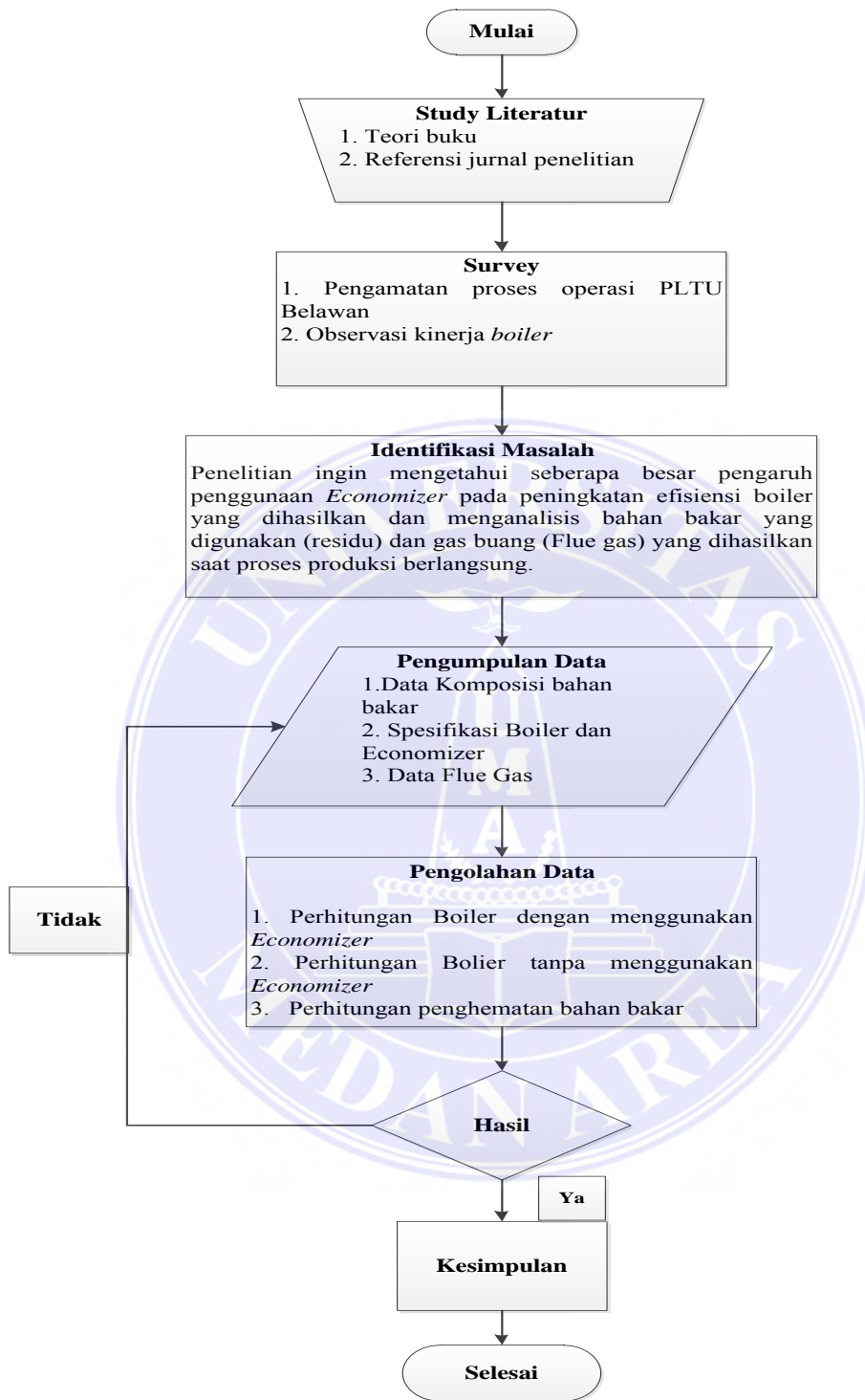
Suatu metode pengumpulan data melalui wawancara atau tanya jawab secara langsung dengan pihak pekerja instansi/perusahaan untuk memperoleh data-data yang diperlukan.

3.4. Analisis Data

Setelah mendapatkan data-data yang dibutuhkan barulah kemudian melakukan analisa dari data yang didapat sesuai dengan studi literatur yang sudah dibuat sebelumnya. Dari data- data yang didapatkan dari *Energy Conservation and Loss Control* dan juga *Control Room* kemudian dianalisa efisiensi dan dihitung penghematan bahan bakar pada *boiler*.

3.5. Metode Penelitian

Diagram alir dibawah ini menunjukkan langkah-langkah dalam menyelesaikan skripsi ini



Gambar.3. 5. Diagram alir penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang diperoleh setelah melakukan penelitian yaitu:

1. Pengoperasian *boiler* dengan menggunakan *economizer* adalah:
 - a. Efisiensi *boiler* sebesar 67.9 %
 - b. Panas yang di butuhkan untuk proses pembentukan air menjadi uap sebesar 223.193.220 kJ/hour
2. Pengoperasian *boiler* tanpa menggunakan *economizer* adalah:
 - a. Efisiensi *boiler* sebesar 44.91 %
 - b. Panas yang di butuhkan untuk proses pembentukan air menjadi uap sebesar 246.622.372 kJ/hour
3. Dengan menggunakan *economizer* dapat menghemat bahan bakar sebanyak 829.44 kg

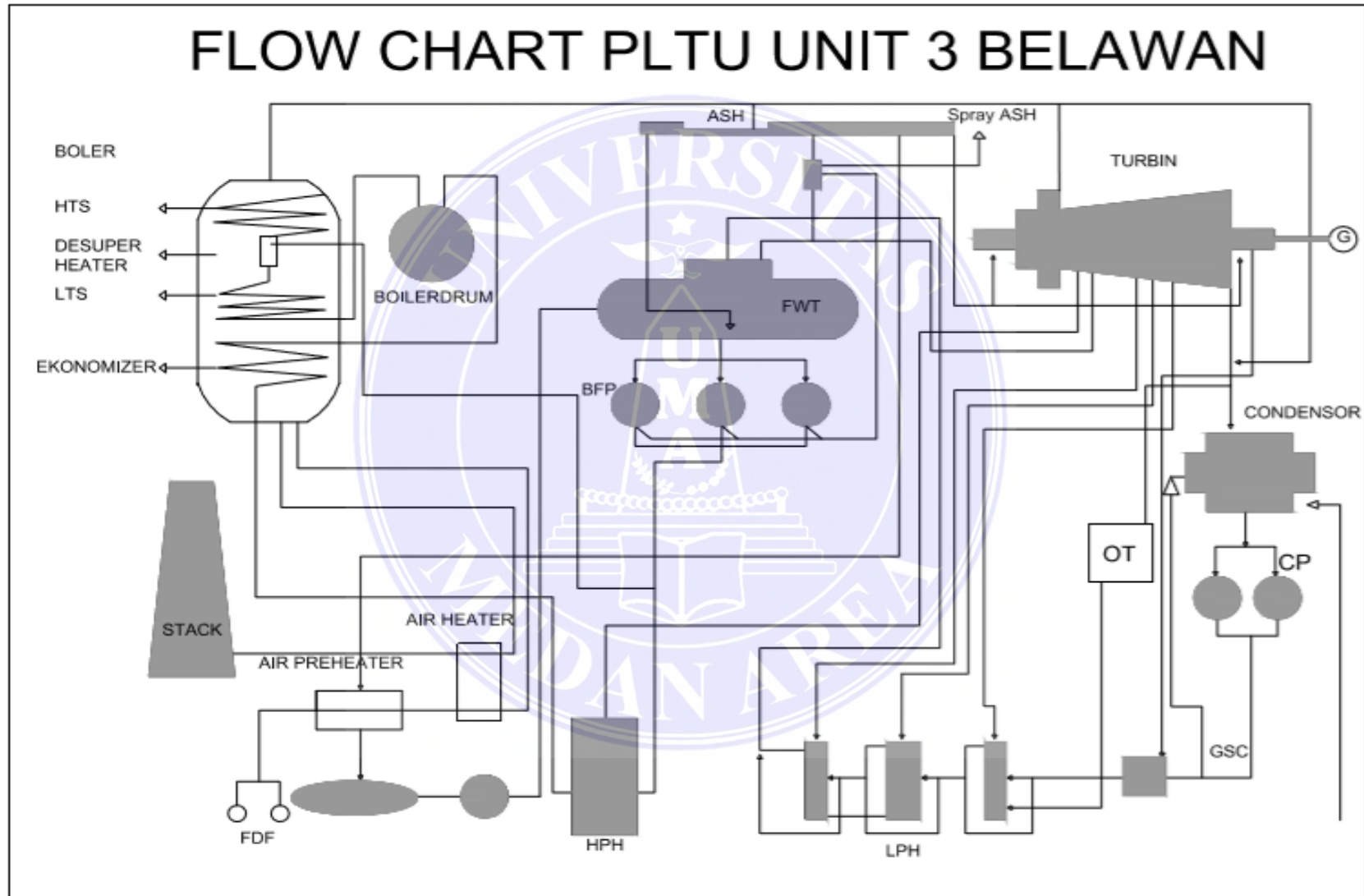
5.2. Saran

- a. Disarankan untuk meminimalisir kehilangan panas (*kehilangan panas*) pada *boiler* dengan melakukan pengecekan/perawatan secara rutin terhadap komponen utama maupun pendukung *boiler*.
- b. Diharapkan dunia industri, khususnya industri pembangkitan Unit 3 PLTU PT. PLN (Persero) UPK Belawan menjalin kerjasama dengan institusi pendidikan guna meningkatkan kualitas pembangkitan energi listrik di Indonesia
- c. Beberapa ketentuan nilai yang dipergunakan dalam perhitungan ini, dapat dikatakan kurang relevan apabila dibandingkan dengan data proses untuk itu diharapkan ada perkembangan selanjutnya dari tugas akhir yang relevan untuk kasus ini.

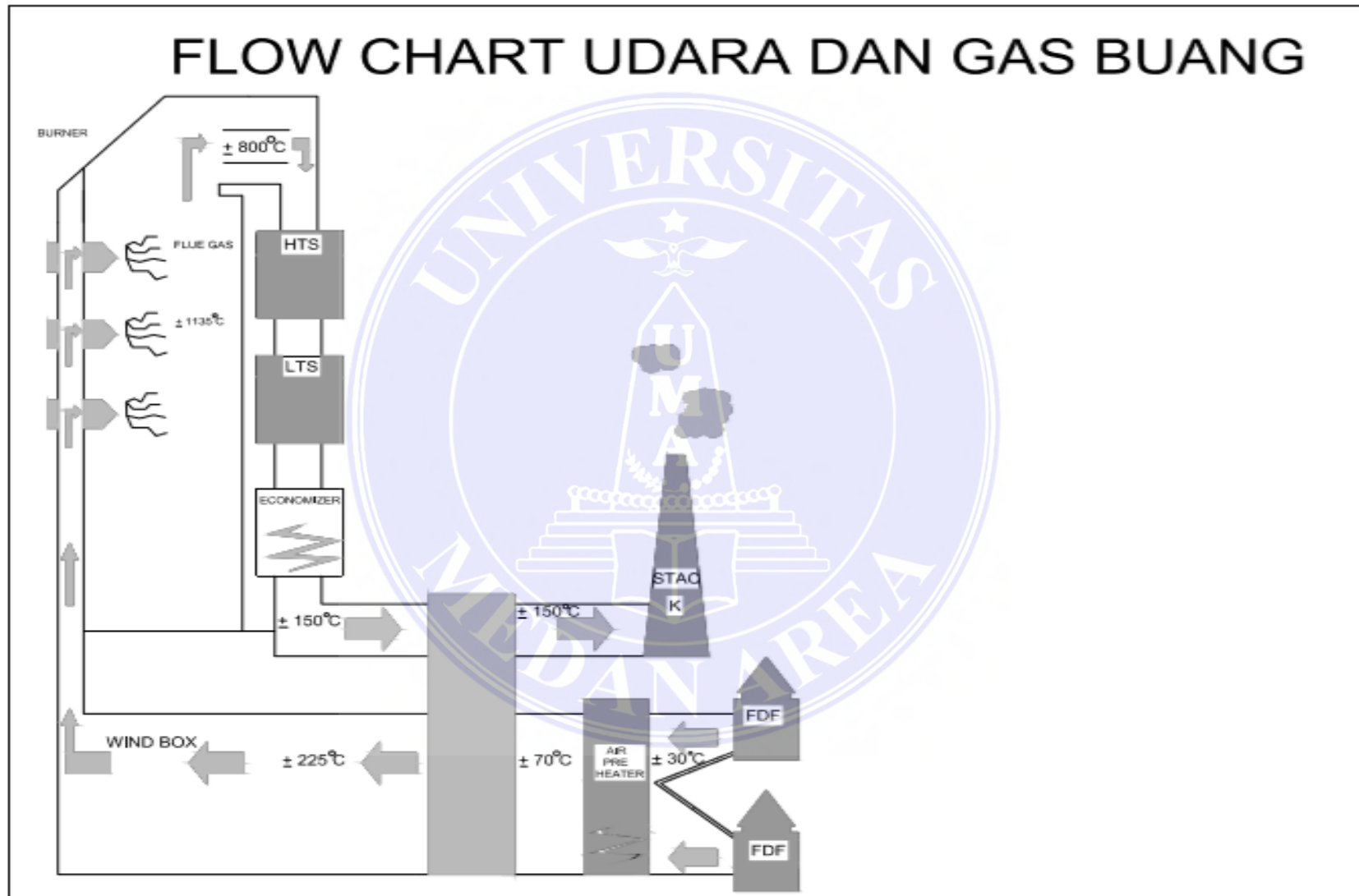
DAFTAR PUSTAKA

- [1] PPIPE BPPT, “Outlook Energi Indonesia 2018: energi berkelanjutan untuk transportasi darat,” 2018.
- [2] A. Suardi, N. Chairat, F. Muhammad, T. B. Impak, and B. Tekuk, “Analisi efisiensi boiler dengan metode kehilangan panas,” no. 4, 2017.
- [3] S. W. Handoko Joko; Ristyanto, Anang Nungky, “Simulator Efisiensi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Rembang,” *Transient*, no. TRANSIENT, VOL. 2, NO. 2, JUNI 2013, pp. 234–240, 2013.
- [4] A. Akhdiyatul, E. Radwitya, and Y. Chandra, “Analisis Teknis dan Ekonomis Dalam Penggunaan Bahan Bakar Biomassa Di Pusat Listrik Tenaga Uap Studi Kasus di PLTU PT. Suka Jaya Makmur,” *Elkha*, vol. 10, no. 2, p. 49, 2018.
- [5] BKKBN, BPS, and Kemenkes, “Survei Demografi dan Kesehatan Indonesia,” *Sdki*, 2013.
- [6] A. yohana, E, “Perhitungan Efisiensi Dan Konversi Dari Bahan Bakar Solar Ke Gas,” vol. 11, pp. 7–10, 2016.
- [7] F. A. & Jamaaluddin, “Analisa Efisiensi Economizer Terhadap Boiler,” vol. 2, no. 2, pp. 99–104, 2018.
- [7] Djokosetyardjo. 1999. *Ketel Uap*. Jakarta: Pradjya Paramita.
- [8] Gaffert, A Gustaf. 1952. *Steam Power Stations*. Fourth: Edition.
- [9] Kulshrestha. 2016. *Buku Teks Termodinamika Terpakai Teknik Uap dan Panas*. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [10] Sularso.2000.*Pompa dan Kompresor*.Jakarta: Pradnya Paramita.
- [11] Syamsir, A. Muin. 1988.*Pesawat – Pesawat Konversi Energi I (Ketel Uap)*. Jakarta:Rajawali.

FLOW CHART PLTU UNIT 3 BELAWAN



FLOW CHART UDARA DAN GAS BUANG



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

Document Accepted 12/16/19

Access From (repository.uma.ac.id)

Tabel pengamatan boiler pada beban 20 MW PLTU Unit 3 sektor pembangkitan belawan									
waktu	Kapasitas boiler (Ton/jam)			HTSPressOut (Bar)			HTS _{out} (°C)		
	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019
09:00	90	90	91	86	85	86	490	490	490
10:00	90	90	91	86	85	86	490	490	490
11:00	90	90	91	86	85	86	490	490	490
12:00	90	90	91	86	85	86	490	490	490
13:00	90	90	91	86	85	86	490	490	490
14:00	90	90	91	86	85	86	490	490	490
15:00	90	90	91	86	85	86	490	490	490
16:00	90	90	91	86	85	86	490	490	490
rata-rata/hari	90	90	91	86	85	86	490	490	490
hasil rata-rata		90			86			490	
Sumber: PT. PLN Sektor Pembangkitan Belawan									
waktu	P outEco(kg/cm ²)			P inEco(kg/cm ²)			QoutEco(m ³ /h)		
	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019
09:00	62	63	62	67	65	67	98	98	98
10:00	62	63	62	67	65	67	98	98	95
11:00	62	63	62	67	65	67	98	98	97
12:00	62	63	62	67	65	67	98	98	97
13:00	62	63	63	67	67	67	98	98	98
14:00	62	63	63	67	67	67	98	98	98
15:00	62	63	63	67	67	67	98	98	98
16:00	62	63	63	67	67	67	98	98	98
rata-rata/hari	62	63	62,5	67	66	67	98	98	97,375
hasil rata-rata		63			67			98	
Sumber: PT. PLN Sektor Pembangkitan Belawan									

Tabel pengamatan boiler pada beban 20 MW
PLTU Unit 3 sektor pembangkitan belawan

waktu	Tin _{Eco} (°C)			Tout _{Eco} (°C)			Kapasitas Economizer (Ton/jam)		
	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019
09:00	118	118	118	181	180	181	95	95	98
10:00	118	118	118	181	180	181	95	95	98
11:00	118	118	118	181	180	181	95	93	97
12:00	118	118	118	181	180	181	95	93	97
13:00	118	118	118	181	180	181	95	93	98
14:00	118	118	118	181	180	181	95	95	98
15:00	118	118	118	181	180	180	95	95	98
16:00	118	118	118	181	180	180	95	95	98
rata-rata/hari	118	118	118	181	180	180,75	95	94,25	97,75
hasil rata-rata	118			181			96		

Sumber: PT. PLN Sektor Pembangkitan Belawan

waktu	stem out(m ³ /h)			inEco(m ³ /h)		
	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019	13-05-2019	15-05-2019	17-05-2019
09:00	90	91	91	86	86	86
10:00	90	91	91	86	86	86
11:00	90	91	91	86	86	86
12:00	90	91	91	86	86	86
13:00	90	91	91	86	86	86
14:00	90	91	91	86	86	86
15:00	90	91	91	86	86	86
16:00	90	91	91	86	86	86
rata-rata/hari	90	91	91	86,00	86,00	86,00
hasil rata-rata	91			86		

Sumber: PT. PLN Sektor Pembangkitan Belawan

TABLE A-12

Properties of Superheated Refrigerant 134a Vapor

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
p = 0.6 bar = 0.06 MPa								
(T_{sat} = -37.07°C)								
Sat.	0.31003	206.12	224.72	0.9520	0.19170	212.18	231.35	0.9395
-20	0.33536	217.86	237.98	1.0062	0.19770	216.77	236.54	0.9602
-10	0.34992	224.97	245.96	1.0371	0.20686	224.01	244.70	0.9918
0	0.36433	232.24	254.10	1.0675	0.21587	231.41	252.99	1.0227
10	0.37861	239.69	262.41	1.0973	0.22473	238.96	261.43	1.0531
20	0.39279	247.32	270.89	1.1267	0.23349	246.67	270.02	1.0829
30	0.40688	255.12	279.53	1.1557	0.24216	254.54	278.76	1.1122
40	0.42091	263.10	288.35	1.1844	0.25076	262.58	287.66	1.1411
50	0.43487	271.25	297.34	1.2126	0.25930	270.79	296.72	1.1696
60	0.44879	279.58	306.51	1.2405	0.26779	279.16	305.94	1.1977
70	0.46266	288.08	315.84	1.2681	0.27623	287.70	315.32	1.2254
80	0.47650	296.75	325.34	1.2954	0.28464	296.40	324.87	1.2528
90	0.49031	305.58	335.00	1.3224	0.29302	305.27	334.57	1.2799
p = 1.0 bar = 0.10 MPa								
(T_{sat} = -26.43°C)								
Sat.	0.13945	216.52	236.04	0.9322	0.10983	219.94	239.71	0.9273
-10	0.14549	223.03	243.40	0.9606	0.11135	222.02	242.06	0.9362
0	0.15219	230.55	251.86	0.9922	0.11678	229.67	250.69	0.9684
10	0.15875	238.21	260.43	1.0230	0.12207	237.44	259.41	0.9998
20	0.16520	246.01	269.13	1.0532	0.12723	245.33	268.23	1.0304
30	0.17155	253.96	277.97	1.0828	0.13230	253.36	277.17	1.0604
40	0.17783	262.06	286.96	1.1120	0.13730	261.53	286.24	1.0898
50	0.18404	270.32	296.09	1.1407	0.14222	269.85	295.45	1.1187
60	0.19020	278.74	305.37	1.1690	0.14710	278.31	304.79	1.1472
70	0.19633	287.32	314.80	1.1969	0.15193	286.93	314.28	1.1753
80	0.20241	296.06	324.39	1.2244	0.15672	295.71	323.92	1.2030
90	0.20846	304.95	334.14	1.2516	0.16148	304.63	333.70	1.2303
100	0.21449	314.01	344.04	1.2785	0.16622	313.72	343.63	1.2573
p = 1.4 bar = 0.14 MPa								
(T_{sat} = -12.73°C)								
Sat.	0.09933	221.43	241.30	0.9253	0.08343	224.07	244.09	0.9222
-10	0.09938	221.50	241.38	0.9256				
0	0.10438	229.23	250.10	0.9582	0.08574	228.31	248.89	0.9399
10	0.10922	237.05	258.89	0.9898	0.08993	236.26	257.84	0.9721
20	0.11394	244.99	267.78	1.0206	0.09399	244.30	266.85	1.0034
30	0.11856	253.06	276.77	1.0508	0.09794	252.45	275.95	1.0339
40	0.12311	261.26	285.88	1.0804	0.10181	260.72	285.16	1.0637
50	0.12758	269.61	295.12	1.1094	0.10562	269.12	294.47	1.0930
60	0.13201	278.10	304.50	1.1380	0.10937	277.67	303.91	1.1218
70	0.13639	286.74	314.02	1.1661	0.11307	286.35	313.49	1.1501
80	0.14073	295.53	323.68	1.1939	0.11674	295.18	323.19	1.1780
90	0.14504	304.47	333.48	1.2212	0.12037	304.15	333.04	1.2055
100	0.14932	313.57	343.43	1.2483	0.12398	313.27	343.03	1.2326
p = 2.0 bar = 0.20 MPa								
(T_{sat} = -10.09°C)								
Sat.	0.09933	221.43	241.30	0.9253	0.08343	224.07	244.09	0.9222
-10	0.09938	221.50	241.38	0.9256				
0	0.10438	229.23	250.10	0.9582	0.08574	228.31	248.89	0.9399
10	0.10922	237.05	258.89	0.9898	0.08993	236.26	257.84	0.9721
20	0.11394	244.99	267.78	1.0206	0.09399	244.30	266.85	1.0034
30	0.11856	253.06	276.77	1.0508	0.09794	252.45	275.95	1.0339
40	0.12311	261.26	285.88	1.0804	0.10181	260.72	285.16	1.0637
50	0.12758	269.61	295.12	1.1094	0.10562	269.12	294.47	1.0930
60	0.13201	278.10	304.50	1.1380	0.10937	277.67	303.91	1.1218
70	0.13639	286.74	314.02	1.1661	0.11307	286.35	313.49	1.1501
80	0.14073	295.53	323.68	1.1939	0.11674	295.18	323.19	1.1780
90	0.14504	304.47	333.48	1.2212	0.12037	304.15	333.04	1.2055
100	0.14932	313.57	343.43	1.2483	0.12398	313.27	343.03	1.2326
p = 2.4 bar = 0.24 MPa								
(T_{sat} = -5.37°C)								
Sat.	0.09933	221.43	241.30	0.9253	0.08343	224.07	244.09	0.9222
-10	0.09938	221.50	241.38	0.9256				
0	0.10438	229.23	250.10	0.9582	0.08574	228.31	248.89	0.9399
10	0.10922	237.05	258.89	0.9898	0.08993	236.26	257.84	0.9721
20	0.11394	244.99	267.78	1.0206	0.09399	244.30	266.85	1.0034
30	0.11856	253.06	276.77	1.0508	0.09794	252.45	275.95	1.0339
40	0.12311	261.26	285.88	1.0804	0.10181	260.72	285.16	1.0637
50	0.12758	269.61	295.12	1.1094	0.10562	269.12	294.47	1.0930
60	0.13201	278.10	304.50	1.1380	0.10937	277.67	303.91	1.1218
70	0.13639	286.74	314.02	1.1661	0.11307	286.35	313.49	1.1501
80	0.14073	295.53	323.68	1.1939	0.11674	295.18	323.19	1.1780
90	0.14504	304.47	333.48	1.2212	0.12037	304.15	333.04	1.2055
100	0.14932	313.57	343.43	1.2483	0.12398	313.27	343.03	1.2326



R-134a

TABLE A-22

Ideal Gas Properties of Air

T(K), h and u(kJ/kg), c_p^o (kJ/kg · K)											
T	h	u	c_p^o	when $\Delta s = 0^1$		T	h	u	c_p^o	when $\Delta s = 0$	
				h	u					h	u
200	199.97	142.56	1.29559	0.3363	1707.	450	451.80	322.62	2.11161	5.775	223.6
210	209.97	149.69	1.34444	0.3987	1512.	460	462.02	329.97	2.13407	6.245	211.4
220	219.97	156.82	1.39105	0.4690	1346.	470	472.24	337.32	2.15604	6.742	200.1
230	230.02	164.00	1.43557	0.5477	1205.	480	482.49	344.70	2.17760	7.268	189.5
240	240.02	171.13	1.47824	0.6355	1084.	490	492.74	352.08	2.19876	7.824	179.7
250	250.05	178.28	1.51917	0.7329	979.	500	503.02	359.49	2.21952	8.411	170.6
260	260.09	185.45	1.55848	0.8405	887.8	510	513.32	366.92	2.23993	9.031	162.1
270	270.11	192.60	1.59634	0.9590	808.0	520	523.63	374.36	2.25997	9.684	154.1
280	280.13	199.75	1.63279	1.0889	738.0	530	533.98	381.84	2.27967	10.37	146.7
285	285.14	203.33	1.65055	1.1584	706.1	540	544.35	389.34	2.29906	11.10	139.7
290	290.16	206.91	1.66802	1.2311	676.1	550	554.74	396.86	2.31809	11.86	133.1
295	295.17	210.49	1.68515	1.3068	647.9	560	565.17	404.42	2.33685	12.66	127.0
300	300.19	214.07	1.70203	1.3860	621.2	570	575.59	411.97	2.35531	13.50	121.2
305	305.22	217.67	1.71865	1.4686	596.0	580	586.04	419.55	2.37348	14.38	115.7
310	310.24	221.25	1.73498	1.5546	572.3	590	596.52	427.15	2.39140	15.31	110.6
315	315.27	224.85	1.75106	1.6442	549.8	600	607.02	434.78	2.40902	16.28	105.8
320	320.29	228.42	1.76690	1.7375	528.6	610	617.53	442.42	2.42644	17.30	101.2
325	325.31	232.02	1.78249	1.8345	508.4	620	628.07	450.09	2.44356	18.36	96.92
330	330.34	235.61	1.79783	1.9352	489.4	630	638.63	457.78	2.46048	19.44	92.84
340	340.42	242.82	1.82790	2.149	454.1	640	649.22	465.50	2.47716	20.64	88.99
350	350.49	250.02	1.85708	2.379	422.2	650	659.84	473.25	2.49364	21.86	85.34
360	360.58	257.24	1.88543	2.626	393.4	660	670.47	481.01	2.50985	23.13	81.89
370	370.67	264.46	1.91313	2.892	367.2	670	681.14	488.81	2.52589	24.46	78.61
380	380.77	271.69	1.94001	3.176	343.4	680	691.82	496.62	2.54175	25.85	75.50
390	390.88	278.93	1.96633	3.481	321.5	690	702.52	504.45	2.55731	27.29	72.56
400	400.98	286.16	1.99194	3.806	301.6	700	713.27	512.33	2.57277	28.80	69.76
410	411.12	293.43	2.01699	4.153	283.3	710	724.04	520.23	2.58810	30.38	67.07
420	421.26	300.69	2.04142	4.522	266.6	720	734.82	528.14	2.60319	32.02	64.53
430	431.43	307.99	2.06533	4.915	251.1	730	745.62	536.07	2.61803	33.72	62.13
440	441.61	315.30	2.08870	5.332	236.8	740	756.44	544.02	2.63280	35.50	59.82

¹ μ , and ν data for use with Eqs. 6.41 and 6.42, respectively.

TABLE A-20
Ideal Gas Specific Heats of Some Common Gases (kJ/kg · K)

Temp. K	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	Temp. K
	Air			Nitrogen, N ₂			Oxygen, O ₂			
250	1.003	0.716	1.401	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398	250
300	1.005	0.718	1.400	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395	300
350	1.008	0.721	1.398	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389	350
400	1.013	0.726	1.395	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382	400
450	1.020	0.733	1.391	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373	450
500	1.029	0.742	1.387	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365	500
550	1.040	0.753	1.381	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358	550
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350	600
650	1.063	0.776	1.370	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343	650
700	1.075	0.788	1.364	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337	700
750	1.087	0.800	1.359	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332	750
800	1.099	0.812	1.354	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327	800
900	1.121	0.834	1.344	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319	900
1000	1.142	0.855	1.336	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313	1000
Temp. K	Carbon Dioxide, CO ₂			Carbon Monoxide, CO			Hydrogen, H ₂			Temp. K
	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	c_p	c_v	k	
250	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400	14.051	9.927	1.416	250
300	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399	14.307	10.183	1.405	300
350	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398	14.427	10.302	1.400	350
400	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395	14.476	10.352	1.398	400
450	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392	14.501	10.377	1.398	450
500	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387	14.513	10.389	1.397	500
550	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382	14.530	10.405	1.396	550
600	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376	14.546	10.422	1.396	600
650	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370	14.571	10.447	1.395	650
700	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364	14.604	10.480	1.394	700
750	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358	14.645	10.521	1.392	750
800	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353	14.695	10.570	1.390	800
900	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343	14.822	10.698	1.385	900
1000	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335	14.983	10.859	1.380	1000

Source: Adapted from K. Wark, *Thermodynamics*, 4th ed., McGraw-Hill, New York, 1983, as based on "Tables of Thermal Properties of Gases," NBS Circular 564, 1955.

Table A-20

TABLE A-2

(Continued)

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g	
50	.1235	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	.7038	8.0763	50
55	.1576	1.0146	9.568	230.21	2459.1	230.23	2370.7	2600.9	.7679	7.9913	55
60	.1994	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	.8312	7.9096	60
65	.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	.8935	7.8310	65
70	.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	.9549	7.7553	70
75	.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	7.6824	75
80	.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	7.6122	80
85	.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	7.5445	85
90	.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	7.4791	90
95	.8455	1.0397	1.982	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	7.4159	95
100	1.014	1.0435	1.673	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	7.3549	100
110	1.433	1.0516	1.210	461.14	2518.1	461.30	2230.2	2691.5	1.4185	7.2387	110
120	1.985	1.0603	0.8919	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.3	1.5276	7.1296	120
130	2.701	1.0697	0.6685	546.02	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	7.0269	130
140	3.613	1.0797	0.5089	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	6.9299	140
150	4.758	1.0905	0.3928	631.68	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	6.8379	150
160	6.178	1.1020	0.3071	674.86	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	6.7502	160
170	7.917	1.1143	0.2428	718.33	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	6.6663	170
180	10.02	1.1274	0.1941	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	6.5857	180
190	12.54	1.1414	0.1565	806.19	2590.0	807.62	1978.8	2786.4	2.2359	6.5079	190
200	15.54	1.1565	0.1274	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.2	2.3309	6.4323	200
210	19.06	1.1726	0.1044	895.53	2599.5	897.76	1900.7	2798.5	2.4248	6.3585	210
220	23.18	1.1900	0.08619	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.1	2.5178	6.2861	220
230	27.95	1.2088	0.07158	986.74	2603.9	990.12	1813.8	2804.0	2.6099	6.2146	230
240	33.44	1.2291	0.05976	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7015	6.1437	240
250	39.73	1.2512	0.05013	1080.4	2602.4	1085.4	1716.2	2801.5	2.7927	6.0730	250
260	46.88	1.2755	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.6	2.8838	6.0019	260
270	54.99	1.3023	0.03564	1177.4	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9751	5.9301	270
280	64.12	1.3321	0.03017	1227.5	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0668	5.8571	280
290	74.36	1.3656	0.02557	1278.9	2576.0	1289.1	1477.1	2766.2	3.1594	5.7821	290
300	85.81	1.4036	0.02167	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.0	3.2534	5.7045	300
320	112.7	1.4988	0.01549	1444.6	2525.5	1461.5	1238.6	2700.1	3.4480	5.5362	320
340	145.9	1.6379	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.0	3.6594	5.3357	340
360	186.5	1.8925	0.006945	1725.2	2351.5	1760.5	720.5	2481.0	3.9147	5.0526	360
374.14	220.9	3.155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0	2099.3	4.4298	4.4298	374.14

Source: Tables A-2 through A-5 are extracted from I. H. Keenan, F. G. Keyes, P. G. Hill, and J. G. Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969.

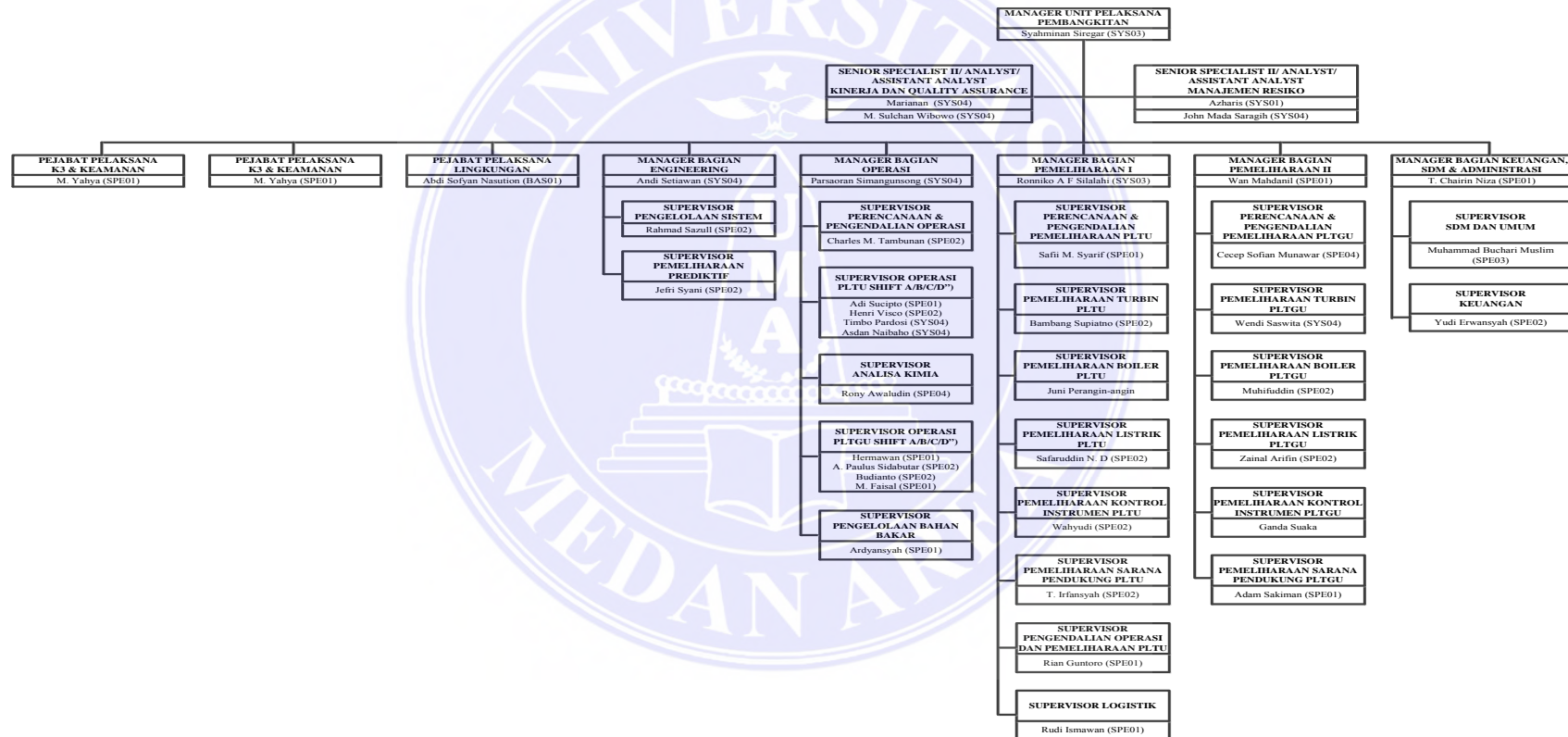
TABLE A-4

(Continued)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
p = 40 bar = 4.0 MPa				p = 60 bar = 6.0 MPa				
(T_{sat} = 250.4°C)				(T_{sat} = 275.64°C)				
Sat.	0.04978	2602.3	2801.4	6.0701	0.03244	2589.7	2784.3	5.8892
280	0.05546	2680.0	2901.8	6.2568	0.03317	2605.2	2804.2	5.9252
320	0.06199	2767.4	3015.4	6.4553	0.03876	2720.0	2952.6	6.1846
360	0.06788	2845.7	3117.2	6.6215	0.04331	2811.2	3071.1	6.3782
400	0.07341	2919.9	3213.6	6.7690	0.04739	2892.9	3177.2	6.5408
440	0.07872	2992.2	3307.1	6.9041	0.05122	2970.0	3277.3	6.6853
500	0.08643	3099.5	3445.3	7.0901	0.05665	3082.2	3422.2	6.8803
540	0.09145	3171.1	3536.9	7.2056	0.06015	3156.1	3517.0	6.9999
600	0.09885	3279.1	3674.4	7.3688	0.06525	3266.9	3658.4	7.1677
640	0.1037	3351.8	3766.6	7.4720	0.06859	3341.0	3752.6	7.2731
700	0.1110	3462.1	3905.9	7.6198	0.07352	3453.1	3894.1	7.4234
740	0.1157	3536.6	3999.6	7.7141	0.07677	3528.3	3989.2	7.5190
p = 80 bar = 8.0 MPa				p = 100 bar = 10.0 MPa				
(T_{sat} = 295.06°C)				(T_{sat} = 311.06°C)				
Sat.	0.02352	2569.8	2758.0	5.7432	0.01803	2544.4	2724.7	5.6141
320	0.02682	2662.7	2877.2	5.9489	0.01925	2588.8	2781.3	5.7103
360	0.03089	2772.7	3019.8	6.1819	0.02331	2729.1	2962.1	6.0060
400	0.03432	2863.8	3138.3	6.3634	0.02641	2832.4	3096.5	6.2120
440	0.03742	2946.7	3246.1	6.5190	0.02911	2922.1	3213.2	6.3805
480	0.04034	3025.7	3348.4	6.6586	0.03160	3005.4	3321.4	6.5282
520	0.04313	3102.7	3447.7	6.7871	0.03394	3085.6	3425.1	6.6622
560	0.04582	3178.7	3545.3	6.9072	0.03619	3164.1	3526.0	6.7864
600	0.04845	3254.4	3642.0	7.0206	0.03837	3241.7	3625.3	6.9029
640	0.05102	3330.1	3738.3	7.1283	0.04048	3318.9	3723.7	7.0131
700	0.05481	3443.9	3882.4	7.2812	0.04358	3434.7	3870.5	7.1687
740	0.05729	3520.4	3978.7	7.3782	0.04560	3512.1	3968.1	7.2670
p = 120 bar = 12.0 MPa				p = 140 bar = 14.0 MPa				
(T_{sat} = 324.75°C)				(T_{sat} = 336.75°C)				
Sat.	0.01426	2513.7	2684.9	5.4924	0.01149	2476.8	2637.6	5.3717
360	0.01811	2678.4	2895.7	5.8361	0.01422	2617.4	2816.5	5.6602
400	0.02108	2798.3	3051.3	6.0747	0.01722	2760.9	3001.9	5.9448
440	0.02355	2896.1	3178.7	6.2586	0.01954	2868.6	3142.2	6.1474
480	0.02576	2984.4	3293.5	6.4154	0.02157	2962.5	3264.5	6.3143
520	0.02781	3068.0	3401.8	6.5555	0.02343	3049.8	3377.8	6.4610
560	0.02977	3149.0	3506.2	6.6840	0.02517	3133.6	3486.0	6.5941
600	0.03164	3228.7	3608.3	6.8037	0.02683	3215.4	3591.1	6.7172
640	0.03345	3307.5	3709.0	6.9164	0.02843	3296.0	3694.1	6.8326
700	0.03610	3425.2	3858.4	7.0749	0.03075	3415.7	3846.2	6.9939
740	0.03781	3503.7	3957.4	7.1746	0.03225	3495.2	3946.7	7.0952

Struktur Organisasi

PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan



Sumber: PT. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan



PT PLN (Persero)
 UNIT INDIK PEMBANGKITAN SUMBAWUT
PLN UNIT PELAKSANA PEMBANGKITAN BELAWAN

Jl. P. Sising No. 1 Belawan - Medan 20418
 Telepon : (061) 6941192, 6940339 (Pusat)
 Faksimile : (061) 6941143

E-mail : corporate@pln.co.id
 Website :

SURAT KETERANGAN

NOMOR: **157** /DIRJUM/02/01/UP/KBL/W0019

Yang bertanda tangan di bawah ini saya nama Manager PT PLN (Persero) Unit Induk
 Pembangkitan Sumatera Bagian Utara Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan
 menerangkan bahwa

No	Nama	NO/NIK	Lemaga Pendidikan
1	Andreas Drajat	15.813.0002	UNIVERSITAS MEDAN AREA
2	Katyo Nurul Hakim	15.813.0004	UNIVERSITAS MEDAN AREA

adalah benar telah melaksanakan Rielt di PT PLN (Persero) Unit Induk Pembangkitan
 Sumatera Bagian Utara Unit Pelaksana Pembangkitan Belawan pada tanggal 13 Mei 2019
 sampai dengan 17 Mei 2019 di bawah bimbingan Supervisor Pemeliharaan Bole PLTU.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Belawan, 17 Juli 2019

A.N. MANAGER
MANAGER BAGIAN KELUANGAN SOM &
ADMINISTRASI

T. CHARIN NIZA