

**PENERAPAN TERMODINAMIKA
DALAM PEMBANGKIT LISTRIK PT PETROKIMIA
GRESIK**

Laporan Studi Ekskursi



**Disusun oleh :
Kelompok Fisika XI MIPA 3**

**Program Studi Ilmu Pengetahuan Alam Kelas XI
SMA Katolik St. Louis 1
Surabaya
2022**

PENERAPAN TERMODINAMIKA DALAM PEMBANGKIT LISTRIK PT PETROKIMIA GRESIK

Laporan Studi Ekskursi sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Nilai Kognitif dan Psikomotor
Mata Pelajaran Fisika dan Bahasa Indonesia Kelas
XI SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya



Disusun oleh :
Kelompok Fisika XI MIPA 3

**Program Studi Ilmu Pengetahuan Alam Kelas XI
SMA Katolik St. Louis 1
Surabaya
2022**

Laporan Studi Ekskursi Bidang Studi Fisika berjudul “Penerapan Termodinamika Dalam Pembangkit Listrik PT Petrokimia Gresik” yang disusun oleh:

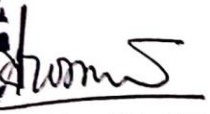
Angelina Pramono	/ 28858 / 02
Armand Lilananda	/ 28866 / 03
Calista Christabel Santoso	/ 28900 / 06
Carmen Hamjaya	/ 28909 / 07
Dave Natanael	/ 28954 / 13
David Bakti Lodianto	/ 28955 / 14
Jason Oktavian Hartanto	/ 29058 / 21
Johnson Halim	/ 29090 / 22
Matthew Mario Osantana	/ 29167 / 26

telah disetujui oleh dan disahkan pada tanggal ...

GURU PEMBIMBING	TANDA TANGAN
Linda Juliarti, S. Pd., M. Si.	
MG Ika Yuliasuti S. Pd.	
Anindito Marcellus G. O., S.Pd.	

Mengetahui,

Katolik St. Louis 1 Surabaya

 
Sri Wahjoeni Hadi S.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis sampaikan kepada Tuhan YME atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian studi ekskursi yang berjudul “Proses Penerapan Termodinamika Dalam Pembangkit Listrik PT Petrokimia Gresik”. Penelitian ini memiliki tujuan untuk memenuhi penilaian kognitif mapel Fisika serta nilai kognitif, psikomotor mapel Bahasa Indonesia.

Sepenuhnya penulis menyadari bahwa penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik karena dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dra. Sri Wahjoeni Hadi S., selaku Kepala SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya dan Pelindung kegiatan ini
2. F. Asisi Subono, S.Si, M.Kes, selaku Wakasek Kurikulum SMA Katolik St. Louis 1 Surabaya
3. Maria Anita Kurniyasih, S.Si., selaku Ketua Panitia Studi Ekskursi 2022
4. Linda Juliarti, S.Pd., M.Si., selaku Guru mata pelajaran bidang Fisika
5. MG Ika Yulastuti S.Pd., selaku Pembimbing dan Guru mata pelajaran bidang Bahasa Indonesia
6. Anindito Marcellus G. Osok, S.Pd., selaku Pembimbing dan Guru mata pelajaran bidang Bahasa Inggris
7. Perwakilan perusahaan PT Petrokimia Gresik yang telah memberikan kesempatan serta izin kunjungan pabrik dalam Studi Ekskursi

Penelitian studi ekskursi ini diharapkan dapat membantu para siswa dalam menerapkan konsep termodinamika dalam kehidupan sehari-hari. Penulis sadar bahwa penelitian ini masih banyak kekurangan. Kritik dan saran diperlukan untuk membantu pembuatan penelitian selanjutnya.

Surabaya, 14 Februari 2022

Penulis

ABSTRACT

Pramono, A., Lilananda, A., Santoso, C. C., Hamjaya, C., Natanael, D., Lodianto, D. B., Hartanto, J. O., Halim, J., Osantana, M. M. (2022). *Penerapan termodinamika dalam pembangkit listrik PT Petrokimia Gresik*.

Fertilizer is one of the most important needs in supporting food production. The use of fertilizer makes it important to keep production going well. To support the production of fertilizer, there must be power plants in the factory to distribute electricity in their factory for industrial needs. These electric generators apply the physics concept of heat, thermodynamics, and mechanical efficiency. This study intends to understand and analyze the mechanism of electric generators in the PT Petrokimia Gresik factory, including the distribution of the electricity and how the factory processes coal to be used as their main power source. There are two methods that are being used to collect the information needed in this study. The first method is interviewing the factory employees. The interview aims to provide credible information. The second method is the literature review. The literature review provides data or information which has not been explained by the factory employees. This method also can be used to fix and improve the accuracy of the report. In further steps, the collected data will be analyzed so a conclusion can be drawn. The results of this study show that the process of converting power source (coal) to electrical energy utilizes machinery that applies physics. Examples are coal-handling system, coal mill, demin water plant, cooling tower, boiler, electrostatic precipitator (ESP), turbine, and generator. From the results of this study, it can be concluded that coal can be converted to electrical energy, which will be utilized in production thus without coal the factory's performance will be negatively impacted.

Keywords: fertilizers, thermodynamics, power plant, coal, electrical energy

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
BAB I: PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	2
C. Rumusan Masalah	2
D. Tujuan	2
E. Manfaat	3
BAB II: LANDASAN TEORI	
A. Batubara	4
B. PLTU.....	6
C. Siklus Termodinamika	11
D. Efisiensi Pembangkit Tenaga Listrik	15
E. Pengelolaan Unit Pembangkit Listrik.....	15
BAB III: METODOLOGI PENELITIAN	
A. Rancangan Penelitian	17
B. Populasi dan Sampel.....	17
C. Teknik Pengumpulan Data	17
D. Instrumen Pengumpulan Data	18
E. Prosedur Penelitian	18
F. Tahapan Pelaksanaan	18

BAB IV: PEMBAHASAN

A. Sistematika Kerja Unit Batubara	19
B. Faktor-faktor yang Mengurangi Efisiensi Unit Batubara	24
C. Cara Meningkatkan Efisiensi Unit Batubara	24
D. Distribusi Pembagian Listrik Unit Utilitas Batubara menuju Pabrik	28

BAB V: PENUTUP

A. Kesimpulan	29
B. Saran	30

DAFTAR PUSTAKA	vii
-----------------------------	-----

DAFTAR LAMPIRAN	viii
------------------------------	------

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembangkit listrik atau *power plant* terdiri dari kata “pembangkit” dan “listrik”. Pembangkit adalah sesuatu yang membangkitkan atau alat untuk membangkitkan sesuatu, sedangkan kata listrik sendiri adalah fenomena fisika yang berhubungan dengan kehadiran dan aliran muatan listrik. Oleh karena itu, pembangkit listrik adalah suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk membangkitkan tenaga listrik dengan mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Energi mekanik yang dihasilkan akan diubah menjadi energi listrik. Agar energi listrik didapatkan, pemanfaatan berbagai sumber energi sangat penting. Contoh sumber energi yang digunakan antara lain tenaga air, tenaga angin, bahan bakar fosil, dan bahan bakar nuklir. Dari sumber energi tersebut, generator listrik dapat diaktifkan melalui turbin yang bergerak. Setelah energi listrik dihasilkan, jumlah tegangan arus listrik perlu diubah menjadi tegangan yang sesuai untuk transmisi. Penyesuaian ini dilakukan agar arus listrik dapat dialirkan ke daerah yang membutuhkan melalui jaringan kabel transmisi. Secara keseluruhan, pembangkit listrik diperlukan untuk memenuhi kebutuhan atau pasokan listrik di daerah-daerah yang menggunakan listrik.

Studi pada mekanisme pembangkit listrik ini diterapkan pada pabrik. Salah satu pabrik yang menggunakan pembangkit listrik adalah pabrik pupuk dan petrokimia PT Petrokimia Gresik. Pabrik Petrokimia Gresik menggunakan tiga pembangkit listrik, yaitu *Gas Turbine Generator (GTG)*, *Steam Turbine Generator (STG)*, dan PLTU berbasis batubara. Energi dari pembangkit listrik ini disalurkan melalui saluran transmisi sehingga dapat sampai ke pengguna. Pada penerapan di pabrik, arus listrik ini disalurkan ke pabrik-pabrik kimia seperti amoniak dan urea yang mendukung pengolahan pada pabrik pupuk. Distribusi energi ini memakai sistem distribusi primer dan sekunder dan terbagi menjadi lima *substation (SS)* yang mengatur distribusi untuk kebutuhan per bagiannya.

Berdasarkan fakta-fakta tersebut, penelitian ini akan mengkaji hal-hal yang memengaruhi cara kerja generator listrik pada PT Petrokimia Gresik. Selain itu penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan pengembangan pengetahuan dalam menganalisis mekanisme pembangkit listrik dalam pabrik industri, terutama mekanisme distribusi tenaga listrik pada PT Petrokimia Gresik.

B. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Pembangkit listrik PT Petrokimia Gresik menggunakan sumber tenaga batubara, dan bukan tenaga nuklir, surya, dan air.
2. Penelitian mencakup mekanisme pembangkit listrik yang ada pada PT Petrokimia Gresik.
3. Penelitian yang dilakukan hanya melingkup mesin industri, dan tidak mencakup produk yang dihasilkan.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan batasan masalah, rumusan masalah adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara batubara dapat menjalankan pembangkit listrik di PT Petrokimia Gresik?
2. Apa yang memengaruhi cara kerja pembangkit listrik PT Petrokimia Gresik?
3. Apa yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi unit batubara PT Petrokimia Gresik?
4. Bagaimana distribusi energi listrik di PT Petrokimia Gresik?

D. Tujuan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut.

1. Mendeskripsikan metode batubara diolah untuk menjalankan pembangkit listrik di PT Petrokimia Gresik.
2. Mendeskripsikan faktor yang memengaruhi cara kerja pembangkit listrik PT Petrokimia Gresik.
3. Mendeskripsikan cara meningkatkan efisiensi unit batubara PT Petrokimia Gresik.

4. Mendeskripsikan metode PT Petrokimia Gresik mendistribusikan energi listrik.

E. Manfaat

Manfaat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Secara Teoritis

- a. Menambah wawasan berhubungan dengan aplikasi konsep termodinamika pada pabrik.
- b. Menambah wawasan berhubungan dengan aplikasi konsep daya listrik pada skala industri.
- c. Sebagai referensi spesifikasi mesin pembangkit listrik PT Petrokimia Gresik.

2. Secara Praktis

- a. Memberikan bahan evaluasi bagi guru pengajar terkait konsep yang diterapkan.
- b. Menambah wawasan peneliti penerapan konsep Fisika pada kehidupan sehari-hari.
- c. Sebagai acuan bagi instansi perusahaan PT Petrokimia Gresik meningkatkan efisiensi mesin pabrik.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Batubara

Batubara adalah sumber energi listrik utama di dunia. Pembangkit listrik dari batubara menyediakan 40% dari total listrik dihasilkan di dunia. Harga yang murah dan banyaknya persediaan batubara menyebabkan batubara menjadi sumber energi yang paling banyak digunakan untuk pembangkit listrik. Batubara sudah digunakan sejak 4000 tahun yang lalu untuk menyediakan panas bagi manusia. Pada abad ke-18, ketika revolusi industri terjadi, batubara mulai digunakan untuk kepentingan industri, seperti peleburan bahan mentah. Akhirnya, pada abad ke-19, batubara mulai digunakan untuk menghasilkan listrik.

Batubara berperan secara signifikan dalam produksi listrik sejak pembangkit listrik pertama dibuat pada tahun sekitar 1880. Pembangkit listrik yang pertama kali dikembangkan menggunakan kayu atau batubara untuk memanaskan ketel dan memproduksi uap. Uap akan bergerak maju mundur di dalam mesin uap dan membuat generator menghasilkan listrik. Pada tahun 1884, Charles A. Parsons menciptakan turbin uap dengan kecepatan tinggi untuk memproduksi energi listrik yang lebih efisien daripada mesin uap. Sekitar tahun 1920, pembakaran batubara bubuk dikembangkan. Proses pembakaran ini memberi banyak keuntungan, seperti suhu pembakaran yang lebih tinggi dan meningkatkan efisiensi termal.

Pembangkit listrik tenaga batu bara memiliki banyak keuntungan, salah satunya adalah teknologinya yang sudah maju dan bisa diandalkan. Hal ini menyebabkan harga batubara menjadi murah. Akan tetapi, batubara memiliki kelemahan, yaitu tidak ramah lingkungan. Sisa pembakaran batubara yaitu karbon dioksida (CO_2) dapat menyebabkan efek rumah kaca sehingga menyebabkan pemanasan global dan kenaikan suhu rata-rata bumi.

Batubara terbagi berdasarkan kandungan karbon dan air yang dimiliki. Batubara dengan kualitas tinggi biasanya memiliki kandungan karbon yang tinggi dan kandungan air rendah, sedangkan batubara dengan kualitas rendah memiliki kandungan karbon rendah dan kandungan air tinggi. Tipe-tipe batubara dapat dilihat pada Tabel 1.

Tipe Batubara	Kandungan karbon (%)	Kandungan air (%)	Kandungan yang mudah menguap (%)	Massa Energi (MJ/kg)
Antrasit	86-92	7-10	3-14	32-33
Batubara bitumen	76-86	8-18	14-46	23-33
Batubara sub-bitumen	70-76	18-38	42-53	18-23
Lignit	65-70	35-55	53-63	17-18
Gambut	<60	75	63-69	15

Tabel 1. Tipe-tipe batubara

1. Antrasit

Antrasit adalah batubara yang mengandung kandungan karbon tertinggi. Antrasit mengandung persentase karbon tertinggi (92%) dan kelembaban yang kecil. Ketika terbakar, antrasit menghasilkan sedikit abu dan polusi yang lebih kecil dibandingkan batubara yang lain. Kepadatan energi yang dimiliki juga lebih tinggi dibandingkan batubara lain pada 32-33 MJ/kg.

2. Batubara bitumen

Jenis batubara yang paling melimpah di antara batubara lain adalah batubara bitumen. Batubara bitumen biasanya memiliki kandungan karbon antara 76% dan 86%. Kandungan air yang dimiliki antara 8% dan 18%. Batubara bitumen mudah terbakar, terutama saat dalam bentuk bubuk sehingga batubara bitumen cocok sebagai bahan bakar pembangkit listrik.

3. Batubara lunak

Tipe ketiga, yaitu batubara sub-bitumen atau batubara lunak. Batubara ini memiliki kandungan karbon antara 70% dan 86% serta kandungan air antara 18% dan 38%. Batubara tipe ini terbakar sempurna sehingga cocok untuk digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik dan kandungan sulfurnya rendah. Tipe batubara terakhir yang digunakan sebagai bahan bakar secara meluas adalah lignit. Lignit memiliki kandungan karbon 65-70%. Lignit terbentuk dari tanaman yang kaya akan resin dan mengandung banyak kandungan yang mudah menguap, antara 53-63%.

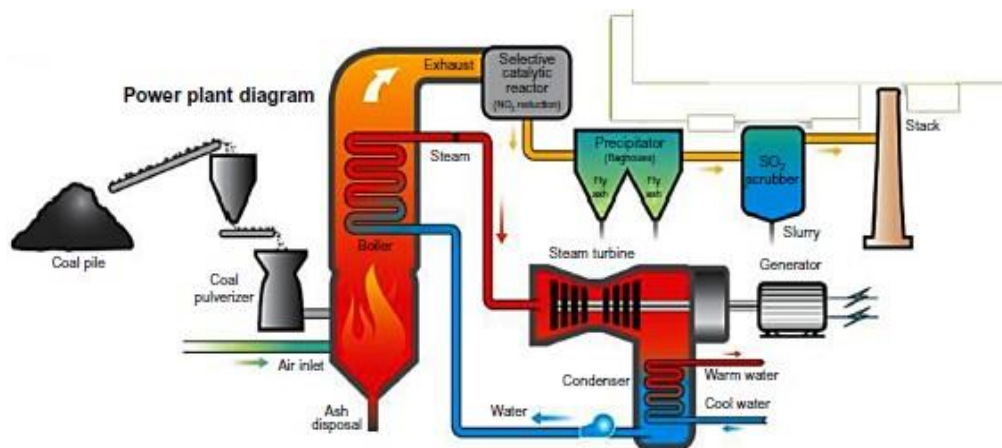
B. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit listrik adalah rangkaian alat dan mesin yang berfungsi untuk membangkitkan energi listrik dari sumber energi yang digunakan. Pembangkit listrik terdiri dari beberapa macam, salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). PLTU merupakan suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang mengkonversikan energi kimia menjadi energi listrik dengan menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya. PLTU pada umumnya menggunakan sumber energi tidak terbarukan, seperti batubara dan minyak bumi. Pembangkit listrik bertenaga uap banyak digunakan di dunia. Sebagian besar pembangkit listrik di dunia berasal dari PLTU. PLTU modern menghasilkan daya listrik sebesar 1000 MW. Bentuk utama dari PLTU adalah generator yang tersambung dengan turbin digerakkan oleh energi kinetik dari uap panas yang berasal dari hasil pembakaran batubara.

Unit utilitas batubara (UBB) adalah salah satu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang dimiliki oleh PT Petrokimia Gresik. Umumnya, PLTU terdiri atas enam komponen utama, yaitu boiler, turbin uap, kondensor, generator, pompa, dan cerobong. Cara kerja PLTU dimulai dengan memanaskan air di dalam boiler menggunakan batubara.

1. Prinsip Kerja PLTU

Secara sederhana, PLTU dapat menghasilkan listrik dengan membakar batubara, memanaskan sebuah ketel yang berisi air. Air yang dipanaskan tersebut kemudian menjadi uap yang akan melewati turbin dalam tekanan tinggi. Hal tersebut mengakibatkan turbin berputar dan membuat generator menghasilkan listrik dengan mengubah energi kinetik dari turbin yang berputar. Uap yang sudah melewati turbin akan mengalami pendinginan dan mengembun kembali menjadi air. Uap yang menjadi air kembali menuju ketel untuk mengulangi proses lagi. Salah satu sistem PLTU batubara yang banyak digunakan adalah *pulverized coal-fired power plant*. Prinsip kerja dari sistem ini dapat dilihat pada Gambar II.B.1



Gambar II.B.1 Skema sederhana dari *pulverized coal-fired plant*

Proses konversi batubara menjadi listrik berawal dengan batubara dalam bentuk bongkahan dihancurkan menjadi bentuk bubuk. Setelah batubara menjadi bubuk, batubara dimasukkan ke dalam perapian yang merupakan bagian dari ketel. Di dalam perapian, batubara dibakar dalam jumlah terkontrol untuk menjaga polutan yang dibentuk. Energi panas yang dilepaskan dari proses pembakaran ditangkap oleh susunan tabung air yang berada di dalam ketel. Abu sisa pembakaran akan diangkut bersamaan dengan gas buangan atau dikumpulkan di bawah ketel.

Uap yang keluar dari ketel berada pada suhu dan tekanan tinggi. Uap kemudian disalurkan menuju turbin uap. Turbin uap yang berada pada PLTU terdiri dari beberapa unit turbin untuk mengambil energi uap yang berjalan dalam jumlah maksimal. Turbin uap biasanya terbagi menjadi tiga kelompok, turbin uap bertekanan tinggi, turbin uap bertekanan sedang, dan turbin uap bertekanan rendah. Uap yang keluar dari turbin uap bertekanan rendah akan mengalami kondensasi dan kembali menuju ketel untuk mengulangi proses yang sama.

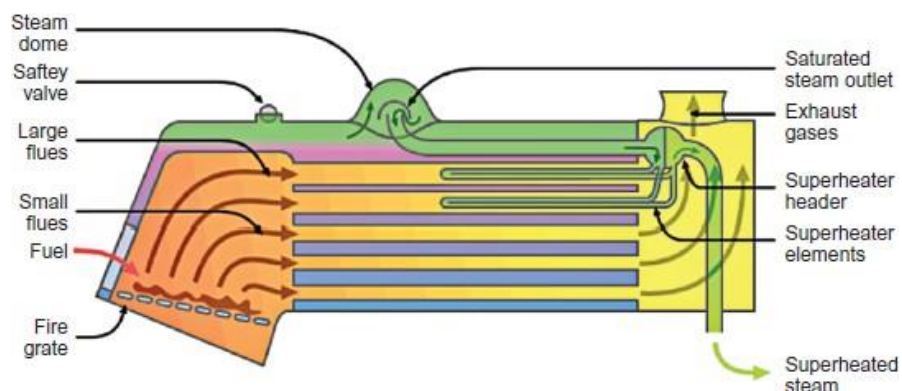
Gas buangan yang keluar dari ketel setelah pembakaran memiliki kandungan karbon dioksida (CO_2) yang tinggi dan gas-gas berbahaya lainnya. Gas-gas berbahaya tersebut antara lain, sulfur dioksida (SO_2), nitrogen oksida (NO), logam berat, senyawa organik, dan partikel abu. Gas-gas berbahaya harus disaring terlebih dahulu sebelum gas buangan bisa dilepaskan ke atmosfer. Gas buangan

dibersihkan dalam sistem pembersihan gas buangan, dengan setiap sistem terdiri dari mesin filtrasi.

2. Boiler

Boiler pada PLTU batubara adalah salah satu tempat proses konversi energi yang terjadi di pembangkit listrik. Boiler terdiri dari dua komponen penting, yaitu perapian (*furnace*) dan alat penguap (*evaporator*). Peran *boiler* adalah melepaskan energi kimia yang terkandung dalam batubara dan mengubahnya menjadi energi panas. Air di dalam ketel akan menyerap energi panas dari hasil pembakaran batubara sehingga berubah menjadi uap. Energi panas pada uap akan diubah menjadi energi listrik di turbin. Turbin uap biasanya memiliki efisiensi termal sekitar 35%. Sisanya dibuang menuju cerobong asap sebanyak 10% atau dibuang menjadi air di kondensor sebanyak 55%. Seiring berkembangnya zaman, boiler memiliki beberapa perkembangan. *Boiler* dapat dibagi berdasarkan fluida yang mengalir, yaitu *fire tube boiler* dan *water tube boiler*.

Fire tube boiler merupakan *boiler* modern pertama yang digunakan dalam pembangkit listrik. Pada *fire tube boiler*, fluida yang mengalir dalam pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran) yang membawa energi panas (*thermal energy*). Gas nyala berpindah ke air ketel melalui bidang pemanas (*heating surface*). Tujuan pipa-pipa api ini adalah untuk memudahkan distribusi panas (kalori) pada air ketel. Skema *fire tube boiler* bisa dilihat pada Gambar II.B.2

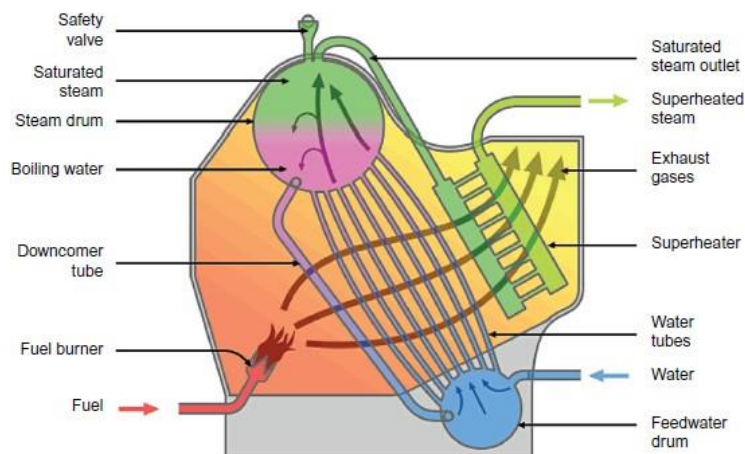


Gambar II.B.2 *Fire tube boiler*

Pada *fire tube boiler*, perapian terletak pada salah satu ujung ketel. Gas panas yang berasal dari perapian melewati saluran yang pergi menuju bagian tengah saluran air. Energi panas dari perapian akan memanaskan air dan menghasilkan uap. Uap ini akan disalurkan menuju atas ketel. Lalu, uap akan dibawa menuju *superheater*. *Superheater* bertujuan menaikkan temperatur uap jenuh menjadi uap panas untuk menggerakkan turbin. Uap yang sudah melalui *superheater* disambungkan pada turbin generator.

Meskipun *fire tube boiler* membawa perkembangan besar pada ketel uap, masih ada banyak kelemahan yang dimiliki, yaitu tekanan yang kurang besar. Tekanan uap pada *fire tube boiler* hanya mencapai sekitar 1.7 bar. *Fire tube boiler* juga mudah pecah dan melepaskan air yang bertekanan tinggi. Untuk mengatasi keterbatasan yang dimiliki *fire tube boiler*, dikembangkan tipe *boiler* baru, yaitu *water tube boiler*.

Pada *water tube boiler*, fluida yang mengalir di dalamnya adalah air, sedangkan di luar pipa adalah gas nyala (hasil pembakaran) yang membawa energi panas (*thermal energy*). Skema *water tube boiler* bisa dilihat pada Gambar II.B.3



Gambar II.B.3 *Water tube boiler*

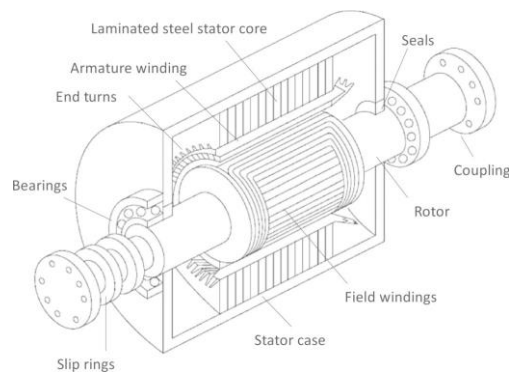
Pada *water tube boiler*, air dialirkan menuju beberapa saluran di dalam perapian. Saluran-saluran ini berada di antara sistem air umpan (*feed water system*) yang mengandung air dingin dan sistem uap (*steam system*) yang mengandung uap panas. Air mengalir dari sistem air umpan melalui saluran air menuju sistem uap,

menyerap panas selama melewati perapian dan akhirnya menghasilkan uap. Uap kemudian dibawa dari sistem uap menuju *superheater* untuk dipanaskan lebih lanjut sebelum mengalir menuju turbin. Uap yang keluar dari turbin akan mengembun dan kembali menuju sistem air umpan. *Water tube boiler* dapat menghasilkan uap sebanyak 4.000.000 kg/jam atau lebih pada PLTU dengan daya listrik 1300 MW.

3. Generator

Generator adalah tahap terakhir dari proses konversi batubara menjadi listrik. Generator mengubah gaya putar yang dihasilkan dari turbin uap menjadi energi listrik yang bisa disebarkan melalui sistem transmisi dan distribusi. Generator pertama kali diciptakan oleh Michael Faraday pada awal abad ke-19. Akan tetapi, generator listrik efektif pertama dibuat oleh Hippolyte Pixii. Mesin yang diciptakan terdiri dari magnet permanen yang diputar oleh tangan.

Setelah itu, banyak generator modern yang mulai diciptakan. Generator yang biasa digunakan adalah generator AC (*alternating-current generator*). Generator AC menjadi generator standar untuk semua pembangkit listrik pada abad ke-20. Generator AC terdiri dari medan magnet berputar yang dihasilkan oleh rotor yang berputar di dalam kumparan tetap yang disebut stator. Rotor dari generator besar terdiri dari kumparan dua kutub tunggal, satu utara dan satu selatan yang berputar di dalam rotor. Akan tetapi, tergantung kecepatan rotor berputar, ada kemungkinan bahwa dibutuhkan banyak kutub untuk memproduksi frekuensi yang diperlukan. Lebih cepat rotor berputar, lebih sedikit kutub yang diperlukan. Sebuah rotor yang berputar pada kecepatan 3000 rotasi per menit membutuhkan dua kutub untuk bisa menghasilkan arus AC pada 50 Hz (Hertz). Kecepatan sebesar 50 Hz sesuai untuk turbin bertekanan tinggi dan sedang di PLTU batubara besar. Generator modern bisa mencapai efisiensi sebesar 98% dan terkadang 99%. Generator AC dapat dilihat pada Gambar II.B.4



Gambar II.B.4 Generator AC

C. Siklus Termodinamika

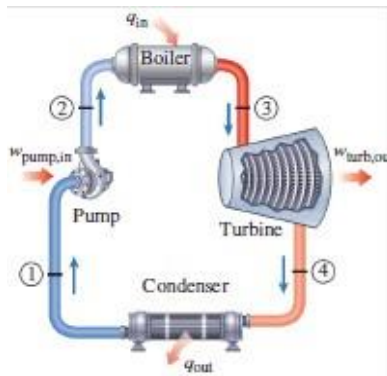
Kemampuan untuk mengubah uap panas menjadi energi listrik bergantung pada siklus Rankine. Efisiensi konversi bergantung penurunan nilai suhu dan tekanan yang didapatkan antara ketika uap masuk dan keluar turbin. Dari sisi energi yang dihasilkan, dapat disimpulkan, dua hal terpenting dari PLTU batubara adalah ketel yang bisa memproduksi uap dengan suhu dan tekanan tinggi serta turbin uap yang mengubah energi mekanik dari uap menjadi energi listrik. Meskipun begitu, setiap komponen dalam PLTU memainkan peran penting. Oleh karena itu, perkembangan dari PLTU batubara modern bergantung pada uap dengan suhu dan tekanan tinggi yang dihasilkan oleh PLTU.

1. Siklus Rankine Ideal

Siklus Rankine adalah siklus termodinamika yang menjelaskan perubahan uap menjadi kerja. Siklus ini pertama kali dikemukakan oleh ilmuwan Skotlandia, William John Macquorn Rankine. Skema dan proses siklus Rankine dapat dilihat pada Gambar II.C.1, siklus ideal Rankine tidak melibatkan irreversibilitas internal, seperti gesekan dan pemuaian bebas.

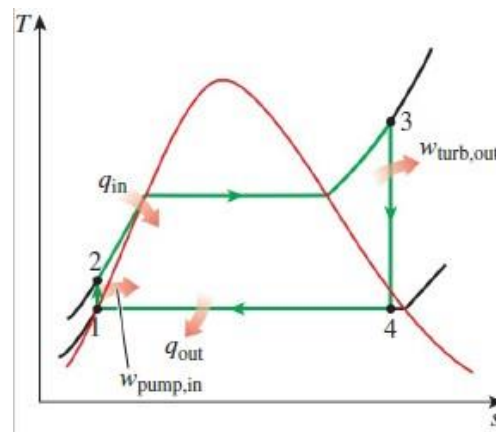
Siklus Rankine terdiri dari 4 proses, yaitu:

- 1-2: proses kompresi isentropik dengan pompa
- 2-3: penambahan panas dalam boiler pada saat P (tekanan) konstan
- 3-4: Ekspansi isentropik ke dalam turbin
- 4-1: Pelepasan panas di dalam kondensor pada saat P (tekanan) konstan



Gambar II.C.1 Siklus ideal Rankine

Air masuk pompa pada keadaan satu sebagai air jenuh dan dikompres secara isentropik sampai tekanan operasi *boiler*. Suhu air meningkat selama proses kompresi isentropik disebabkan volume spesifik air berkurang sedikit. Isentropik adalah proses adiabatik yang tidak memiliki perpindahan panas atau materi melalui proses sementara entropi dari sistem tetap konstan. Jarak vertikal antara keadaan satu dan dua pada diagram T-s dilebih-lebihkan untuk kejelasan diagram.



Gambar II.C.2 Siklus Rankine Ideal T-s

Air masuk menuju *boiler* sebagai cairan bertekanan tinggi pada keadaan dua dan keluar sebagai uap suhu tinggi pada keadaan tiga. Pada dasarnya, *boiler* adalah mesin konversi energi panas di mana energi panas yang berasal dari hasil pembakaran batubara menuju air pada tekanan konstan. Uap suhu tinggi pada keadaan tiga melewati turbin, di mana uap berkembang secara isentropik dan menghasilkan usaha dengan memutar poros yang terhubung dengan generator. Tekanan dan suhu uap berkurang selama proses keadaan empat, di mana uap masuk

ke dalam kondensor, yang memiliki kegunaan sama dengan *boiler*. Kondensor berfungsi untuk melepaskan energi panas ke pendingin perantara, seperti danau, sungai, atau atmosfer. Uap meninggalkan kondensor sebagai air jenuh dan memasuki pompa untuk mengulangi proses yang sama. Area di bawah proses kurva 2-3 menunjukkan panas yang ditransfer ke air di dalam *boiler* dan area di bawah proses kurva 4-1 menunjukkan panas yang dilepaskan di dalam kondensor. Selisih antara kedua area adalah usaha yang dihasilkan selama siklus. Siklus Rankine ideal dapat dilihat pada Gambar II.C.2.

Semua empat komponen yang termasuk dalam siklus Rankine (pompa, *boiler*, turbin, dan kondensor) adalah perangkat aliran stabil, oleh karena itu 4 proses yang ada di dalam siklus Rankine dapat dianalisis sebagai proses aliran tetap. Perubahan energi kinetik dan potensial uap biasanya kecil jika dibandingkan dengan usaha dan transfer panas sehingga bisa diabaikan. Lalu dapat disimpulkan persamaan energi yaitu:

$$(q_{in} - q_{out}) + (w_{in} - w_{out}) = h_e - h_i \quad (\text{kJ/kg})$$

q_{in} = jumlah kalor yang masuk di *boiler*

q_{out} = jumlah kalor yang dilepaskan di kondensor

w_{in} = jumlah usaha yang dilakukan pompa

w_{out} = jumlah usaha yang keluar dari turbin

h_e = entalpi akhir proses

h_i = entalpi awal proses

Dari persamaan di atas, dapat diketahui usaha dari setiap proses yang ada di siklus Rankine. *Boiler* dan kondensor tidak melakukan usaha apapun, sedangkan pompa dan turbin diasumsikan isentropik. Usaha dari setiap perangkat dapat dijabarkan sebagai berikut.

Pompa ($q = 0$): $w_{pompa,masuk} = h_2 - h_1$

Boiler ($w = 0$): $q_{in} = h_3 - h_2$

Turbin ($q = 0$): $w_{\text{turbin, keluar}} = h_3 - h_4$

Kondensor ($w = 0$): $q_{\text{out}} = h_4 - h_1$

h_1, h_2, h_3, h_4 = entalpi dari setiap keadaan

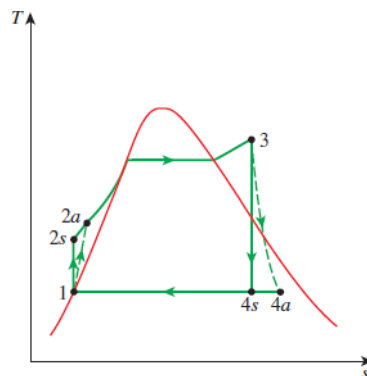
Efisiensi termal dari siklus Rankine ditentukan dari

$$\eta_{\text{th}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{in}}} = 1 - \frac{q_{\text{out}}}{q_{\text{in}}}$$

di mana

$$W_{\text{net}} = q_{\text{in}} - q_{\text{out}} = w_{\text{turbin, keluar}} - w_{\text{pompa, masuk}}$$

2. Siklus Rankine Non-ideal



Gambar II.C.3 Siklus Rankine Non-ideal

Siklus yang terjadi pada pembangkit listrik berbeda dengan siklus Rankine ideal. Siklus pada pembangkit listrik mempunyai berbagai gangguan dalam berbagai komponennya. Dua sumber gangguan yang terjadi pada siklus PLTU adalah gesekan cairan dan kehilangan panas. Gesekan cairan menyebabkan tekanan berkurang di dalam *boiler*, kondensor, dan saluran antara komponen satu dengan lainnya. Akibatnya, tekanan uap yang keluar dari *boiler* akan berkurang. Selain itu, tekanan uap pada jalan masuk turbin lebih rendah dari jalan keluar *boiler*. Hal ini disebabkan oleh pengurangan tekanan pada pipa penyambung. Pengurangan

tekanan di kondensor biasanya sangat kecil. Untuk menanggulangi pengurangan tekanan, air harus dipompa pada tekanan yang lebih tinggi daripada air yang dipompa pada siklus ideal. Selain gesekan cairan, berkurangnya energi panas dapat memengaruhi efisiensi termal dari PLTU. Berkurangnya energi panas pada uap dapat terjadi menuju sekitarnya selama uap mengalir. Untuk menjaga jumlah kerja keluar sama, lebih banyak panas harus dipindahkan ke uap di dalam *boiler* untuk menanggulangi kehilangan panas yang tidak diinginkan. Akibatnya, efisiensi siklus berkurang. Siklus dapat dilihat pada Gambar II.C.3, deviasi dari pompa dan turbin dengan pompa dan turbin isentropik dapat diperhitungkan dengan menghitung efisiensi isentropik, dengan cara:

$$\eta_P = \frac{w_s}{w_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

$$\eta_T = \frac{w_a}{w_s} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}}$$

Dengan keadaan 2a dan 4a berarti keadaan asli di jalan luar pompa dan turbin, dan 2s dan 4s berarti keadaan sesuai dengan kasus isentropis

D. Efisiensi Pembangkit Tenaga Listrik

Efisiensi siklus PLTU dipengaruhi sebagian besar oleh peran Boiler yang merupakan komponen utama. Tingkat kerja komponen boiler, turbin, generator, kondensor dan pompa harus selalu dipantau. Untuk menghitung efisiensi mesin menggunakan rumus sebagai berikut.

η_{STG} = Efisiensi tenaga uap yang dihasilkan (*Steam Power Generation*)

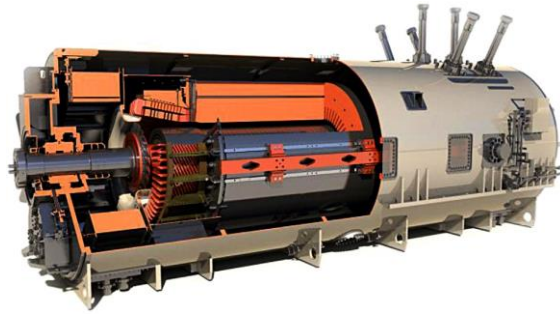
$$\eta_{STG} = \frac{\text{Panas keluar generator}}{\text{Panas input}} \times 100\%$$

Efisiensi suatu PLTU secara umum berkisar antara 25%-50%.

E. Pengelolaan Unit Pembangkit Listrik

Ukuran generator yang besar membuat generator semakin cepat panas. Cara mendinginkan rotor dan stator yang mudah panas menjadi masalah untuk para pembuat generator. Ada tiga pendingin yang biasa digunakan, yaitu udara, hidrogen, dan air. Udara adalah pendingin dengan biaya terkecil. Akan tetapi, udara

kurang efektif di antara tiga pendingin. Hidrogen dapat mendinginkan generator tiga hingga empat kali lebih efektif daripada air. Akan tetapi, hidrogen merupakan bahan yang mudah meledak sehingga harus dikontrol secara hati-hati.



Gambar II.V.1 Generator dengan pendingin hidrogen

Generator dengan pendingin hidrogen dapat dilihat pada Gambar II.V.1. Generator dengan pendingin hidrogen biasanya dijalankan pada saat tekanan hidrogen pada 2-3 bar untuk meningkatkan kemampuan pendinginan dan memastikan udara tidak bisa masuk ke dalam generator. Air digunakan sebagai pendingin untuk generator paling besar. Air mendinginkan generator lima puluh kali lebih efektif daripada udara tetapi lebih kompleks untuk digunakan daripada udara dan hidrogen. Biasanya air hanya digunakan untuk mendinginkan stator, sedangkan hidrogen digunakan untuk mendinginkan rotor.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian merupakan cara data diperoleh dan dianalisis, yang mencakup langkah kerja penelitian mulai dari penyusunan hipotesis, pengumpulan dan penyajian data, sampai analisis akhir dengan penyimpulan serta pemberian saran. Tujuan rancangan penelitian yakni memberikan kejelasan mengenai keseluruhan proses yang dijalani selama penelitian berlangsung.

B. Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini adalah seluruh proses pembangkitan listrik. Sampel dari penelitian ini adalah konsep fisika yang diterapkan pada mesin pembangkit listrik tenaga uap, serta cara kerjanya. Penelitian ini dilakukan melalui ZOOM dengan pihak PT Petrokimia Gresik pada tanggal 15 Februari 2022. Sampel dari penelitian ini adalah konsep fisika yang terdapat dalam mesin pembangkit listrik bertenaga batubara yang digunakan dalam PT Petrokimia Gresik, Jalan Jenderal Ahmad Yani, Gresik 61119, Jawa Timur.

C. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode wawancara dan studi pustaka. Metode wawancara merupakan proses memperoleh keterangan untuk tujuan penelitian dengan cara tanya jawab sambil bertatap muka antara orang yang mewawancarai dengan orang yang diwawancarai, dengan atau tanpa menggunakan pedoman wawancara.

Metode studi pustaka adalah metode yang dilakukan dengan cara mencari referensi dari buku atau internet tentang topik penelitian yang dibahas. Metode studi pustaka digunakan untuk menganalisis topik yang ingin diteliti. Selain itu, metode ini digunakan juga untuk melengkapi informasi, serta memperbaiki kesalahan-kesalahan dan kekurangan pada laporan.

D. Instrumen Pengumpulan Data

Instrumen pengumpulan data yang digunakan adalah alat tulis, buku catatan, dan *handphone* atau *laptop*. Alat tulis digunakan untuk mencatat poin-poin yang penting untuk penelitian ini pada buku catatan. *Handphone* atau *laptop* digunakan untuk mendokumentasikan penelitian ini dalam bentuk foto dan video.

E. Prosedur Penelitian

Sebelum dilakukannya penelitian ini, terlebih dulu dilakukan penelitian secara kepustakaan. Penulis melakukan penelitian dengan mencari sumber referensi di internet mengenai perusahaan yang akan dikunjungi secara online, yaitu PT Petrokimia Gresik.

F. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

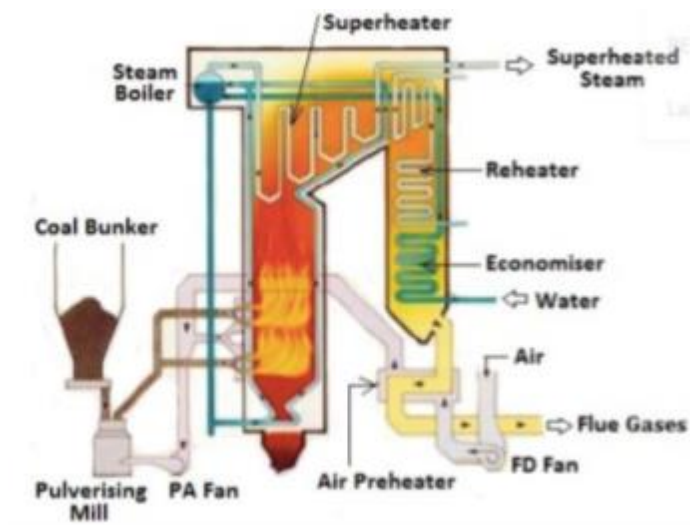
Penyusunan bagian awal (BAB I-II) dilakukan dari tanggal 26 Januari-7 Februari 2022. Proposal penelitian ini dilakukan revisi dengan bimbingan guru mapel Bahasa Indonesia terkait kebahasaan proposal penelitian pada tanggal 8 Februari 2022, hari Selasa. Pada tanggal yang sama, konsultasi dilakukan dengan guru mapel Fisika terkait konsep teori fisika yang digunakan, tahapan setelah dilakukan studi ekskursi di pabrik. Pelaksanaan studi ekskursi secara *online* dengan pihak PT Petrokimia Gresik dilakukan pada tanggal 15 Februari 2022, hari Selasa. Pemantapan laporan ini dilakukan pada tanggal 16 Februari 2022, hari Rabu. Pada tanggal 16 Februari 2022, hari Rabu dilakukan konsultasi kedua dengan guru mapel Fisika terkait tindak lanjut serta koordinasi dengan materi yang diberikan oleh PT Petrokimia Gresik serta analisis data yang diterima. Laporan akan dikumpulkan pada tanggal 28 Februari 2022.

BAB IV

PEMBAHASAN

A. Sistematika Kerja Unit Batu Bara

Unit Utilitas Batubara di PT Petrokimia Gresik adalah unit yang memproduksi listrik dan *steam* (uap) untuk melayani pabrik I, pabrik II, dan pabrik III dengan memakai DCS (*Distributed Control System*) sebagai pengontrol utama untuk menjalankan seluruh alat produksi. Sebagai pengontrol utama, DCS tidak boleh mengalami gangguan sistem sehingga DCS memiliki *redundant system*. *Redundant system* adalah sistem yang memindahkan fungsi kontrol dari kontrol utama menuju kontrol cadangan ketika terdapat *error* atau *failure system* pada kontrol utama. Unit Utilitas Batubara memiliki produk utama berupa daya listrik dengan kapasitas produksi 25 MW dan uap 2 x 150 ton/jam. Unit Utilitas Batubara mulai dibangun pada tanggal 1 Mei 2008 dan diresmikan pada 6 November 2010. Proses pembakaran batubara dapat dilihat pada Gambar IV.A.1



Gambar IV.A.1 Proses pembakaran batubara

Alat-alat dari Unit Utilitas Batubara dalam proses konversi batubara menjadi energi listrik antara lain, *coal handling system*, *coal mill*, *demin water plant*, *cooling tower*, *boiler*, *electrostatic precipitator* (ESP), turbin, dan generator.

1. Coal Handling System

Unit *coal handling system* berfungsi sebagai sarana transportasi batubara dari gudang menuju *coal mill*. Jenis batubara yang digunakan adalah batubara lokal yang berasal dari Kalimantan Selatan dan sebagian Kalimantan Timur yang diangkut oleh kapal menuju pelabuhan PT Petrokimia Gresik. Batubara dipindahkan dengan menggunakan *Fixed Grab Unloader* dan dilanjutkan dengan *belt conveyor system* menuju *coal storage*. Sebelum dipindahkan menuju *coal mill*, batubara harus melewati *vibrating screen* terlebih dahulu. *Vibrating screen* bertujuan untuk memilih batubara dengan ukuran yang kecil. Batubara yang lolos adalah batubara dengan ukuran 30 mm. Batubara yang tidak lolos pada *vibrating screen* akan dipindahkan menuju *double crusher* untuk mereduksi ukuran dari batubara.

2. Coal Mill

Coal mill adalah mesin yang berfungsi untuk mereduksi ukuran batubara dari ukuran 30 mm menjadi mesh 170 (90 μ m). Penghalusan batubara bertujuan untuk memperluas permukaan batubara. Permukaan batubara yang lebih luas akan lebih mudah untuk ditiup menuju *furnace* dan membuat pembakaran lebih baik dan optimal. Sistem aliran pada *coal mill* UBB PT Petrokimia Gresik adalah sistem dengan aliran *closed circuit* dengan *grinding* menggunakan udara panas yang telah melewati air dari *boiler* yang digunakan untuk pengeringan. Pengeringan berfungsi untuk menghindari lengket pada penggilingan dan memaksimalkan penggilingan.



Gambar IV.A.2 Coal Mill

3. Demin Water Plant

Secara umum, fungsi dari *Demin Water Plant* adalah mengolah air baku menjadi air murni yang digunakan untuk memproduksi uap bertekanan tinggi sebagai penggerak turbin uap. Proses *demin water plant* dimulai dengan air masuk

ke dalam *cation exchanger* untuk menyerap ion-ion positif atau berat pada air. Air selanjutnya akan masuk *degasifier* untuk menghilangkan gas yang terlarut dalam air terutama gas CO₂. Air akan dipompa menuju *anion exchanger* untuk menyerap ion-ion negatif pada air. Pada tahap terakhir, air akan melalui *mixed bed exchanger* untuk menyerap ion positif maupun negatif yang masih lolos dari *cation* maupun *anion exchanger*.



Gambar IV.A.3 Demin Water Plant

4. Cooling Tower

Cooling Tower berperan sebagai pendingin air panas yang berasal dari *steam* (uap) yang mengembun setelah uap melewati turbin generator. Unit ini adalah penyedia air pendingin dengan suhu 32°C. Proses pendinginan ini dimulai dari air panas yang masuk ke dalam *cooling tower fill*. Kemudian, dengan menggunakan kipas (*fan*), udara kering (*dry air*) akan terhisap dalam *cooling tower*. Sebagian dari air panas yang mengenai udara yang kering tersebut akan mengevaporasi dan membawa kalor dari air pada *cooling tower fill*.



Gambar IV.A.4 Cooling Tower

5. Boiler

Boiler merupakan alat pembakaran luar yang memiliki fungsi mengubah air menjadi uap jenuh dengan pemanasan lanjutan menggunakan *superheater tube*

menjadi uap kering. *Boiler* yang digunakan merupakan *water tube boiler*. *Boiler* terdiri atas tiga komponen utama, yaitu ruang bakar (*furnace*) sebagai alat untuk mengubah energi kimia dalam batubara menjadi energi panas, *evaporator water wall* sebagai alat untuk mengubah energi panas menjadi energi potensial uap, dan *water steam drum* yang berfungsi sebagai pemisah *steam* dengan air. Proses konversi air murni menjadi uap berawal dengan air yang dipanaskan dalam *deaerator* kemudian dipompa dengan tekanan 14.5 Mpa dengan suhu 215°C ke lower economizer dan keluar dari upper economizer sebagai uap dengan tekanan 100 atm dan suhu 318°C masuk ke steam drum. Uap selanjutnya akan melewati *superheater* dan dipanaskan hingga suhu mencapai 535°C. Produk uap akhir berada pada tekanan 9.8 Mpa dan suhu 535°C.

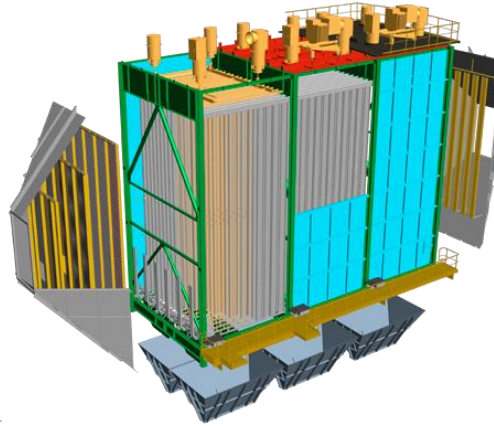


Gambar IV.A.5 Boiler

6. *Electrostatic Precipitator*

Electrostatic Precipitator (ESP) adalah alat yang digunakan untuk menangkap abu hasil pembakaran boiler dengan cara pemberian muatan listrik. *Electrostatic Precipitator* merupakan alat yang efektif untuk menangkap debu dengan efisiensi tinggi (di atas 90%) dengan rentang partikel yang cukup besar. Cara kerja dari *Electrostatic Precipitator* berawal dengan gas buang sisa pembakaran batubara melewati suatu medan listrik yang terbentuk antara *discharge electrode* (DE) yang bermuatan negatif dengan *collector plate* (CP) yang bermuatan positif. Gas buang yang awalnya bermuatan netral akan terionisasi pada saat melewati medan listrik sehingga partikel debu menjadi bermuatan negatif. Partikel debu bermuatan negatif kemudian akan menempel pada plat-plat pengumpul

collector plate. Debu yang dikumpulkan akan jatuh ke bak penampung dan pindah ke *fly ash silo* dengan cara divakum atau dihembuskan



Gambar IV.A.6 *Electrostatic Precipitator*

7. Turbin

Turbin pada UBB merupakan suatu mesin yang mengambil energi panas dari *pressurized steam* (uap bertekanan) dan mengubahnya menjadi energi kinetik pada turbin yang berputar. Turbin secara umum terdiri atas beberapa komponen yaitu *nozzle*, rotor, *blade impeller*, dan shaft. Pada saat uap masuk ke dalam *nozzle*, terjadi penurunan tekanan pada uap, sedangkan volume spesifik dan laju alir uap naik. Uap dengan energi panas memiliki kecepatan relatif tinggi, mengalir keluar dari *nozzle* dan masuk ke jalur rotor. Arah aliran uap berubah menjadi tenaga dorong kepada rotor dan menimbulkan momentum yang membuat rotor memutar dan membawa *main shaft* memutar. Rotor mengeluarkan energi mekanik sebesar daya uap dalam rotor mendorong *impeller*.



Gambar IV.A.7 Turbin

8. Generator

Generator adalah mesin yang dapat mengkonversi energi kinetik dari turbin menjadi energi listrik. Proses konversi ini melibatkan 2 bagian dari generator, yaitu *stator* dan *rotor*. *Stator* merupakan serangkaian gulungan kawat yang berbentuk silinder yang mengelilingi *rotor*, suatu poros elektromagnetik (*electromagnetic shaft*). Ketika *rotor* berputar akibat energi kinetik dari turbin, setiap kumparan kawat pada *stator* akan terisi dengan aliran arus listrik. Arus di masing-masing kumparan tersebut kemudian akan menyatu, membentuk satu arus besar.

B. Faktor-faktor yang Mengurangi Efisiensi Unit Batu Bara

Penurunan efisiensi Unit Utilitas Batubara dapat disebabkan oleh faktor-faktor sebagai berikut.

1. Keausan pada poros dan bilah turbin, dikarenakan dalam penggunaan selama jangka waktu yang lama, bagian-bagian tersebut terpapar dengan tekanan berulang (*repeated stress*), yang mengakibatkan *metal fatigue*.
2. Adanya *slagging*/ pengendapan zat sisa pada *boiler*.
3. Batu bara tidak sesuai spesifikasi yang berakibat mengurangnya nilai net heating value di *boiler*, uap yang dihasilkan tidak maksimal sehingga produksi listrik pada STG di bawah 100%.

C. Cara Meningkatkan Efisiensi Unit Batu Bara

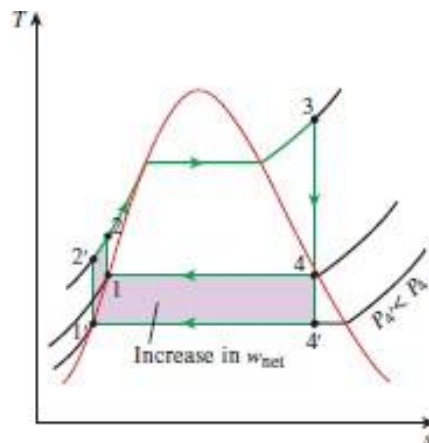
Secara sederhana, cara meningkatkan efisiensi termal dari unit utilitas batubara dilakukan dengan meningkatkan suhu rata-rata pada *boiler* atau menurunkan suhu rata-rata pada kondensor. Cara mencapai suhu ideal pada *boiler* dan kondensor dapat dilakukan dengan cara-cara sebagai berikut.

1. Menurunkan tekanan uap pada kondensor

Suhu uap pada kondensor berbanding lurus dengan tekanan uap di dalam kondensor. Karena pada kondensor terjadi proses isokhorik, menurunkan tekanan uap pada kondensor dapat menurunkan suhu uap. Efek mengurangi tekanan kondensor pada siklus Rankine dapat dilihat pada Gambar IV.C.1. Daerah yang berwarna ungu merupakan hasil peningkatan usaha akibat tekanan kondensor yang turun. Kebutuhan panas juga meningkat sedikit.

Untuk mencapai efisiensi termal yang tinggi, kondensor biasanya bekerja pada tekanan di bawah tekanan atmosfer. Karena siklus uap bekerja dalam sistem

tertutup, kondensor dapat bekerja dengan baik di bawah tekanan atmosfer. Namun, ada batasan lagi pada tekanan kondensor yang digunakan. Tekanan yang digunakan tidak boleh lebih rendah daripada tekanan saturasi yang berbanding lurus dengan suhu pendingin perantara.

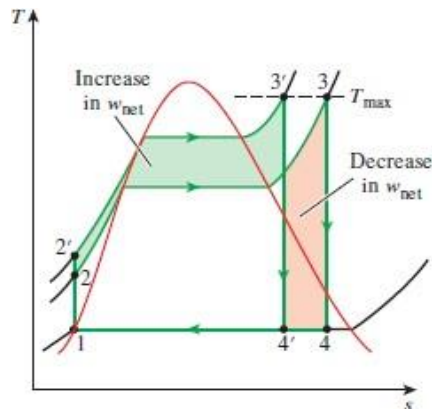


Gambar IV.C.1 Efek dari mengurangi tekanan pada siklus Rankine ideal

Efek samping yang ditimbulkan dalam menurunkan tekanan kondensor adalah terjadinya kebocoran udara dalam kondensor. Kebocoran udara yang terjadi dalam kondensor dapat meningkatkan kelembaban uap saat uap akan melewati turbin. Kelembaban yang tinggi dapat membuat efisiensi turbin berkurang dan turbin dapat mengalami erosi. Oleh karena itu, pembersihan kondensor perlu dilakukan untuk mencapai tekanan rendah yang maksimal.

2. Meningkatkan tekanan *boiler*

Meningkatkan tekanan *boiler* dapat meningkatkan suhu pada saat penguapan. Hal ini dapat menyebabkan kenaikan suhu rata-rata. Energi panas yang berpindah dari pembakaran batu bara menuju uap lebih besar dan meningkatkan efisiensi termal dari siklus. Efek meningkatkan tekanan *boiler* pada siklus Rankine dapat dilihat pada Gambar IV.C.2 Permasalahan yang dihasilkan sama dengan efek samping yang terjadi saat menurunkan tekanan kondensor yaitu kelembaban uap yang meningkat. Permasalahan ini dapat diatasi dengan memanaskan uap kembali dengan *superheater* yang telah keluar dari turbin untuk mencapai efisiensi termal yang optimal.



Gambar IV.C.2 Efek meningkatkan tekanan boiler pada siklus Rankine

3. Perawatan Unit Utilitas Batubara

Ada beberapa metode pembersihan yang bisa dilakukan, antara lain dengan metode *chemical cleaning* dan *mechanical cleaning*.

Metode *chemical cleaning* adalah metode pembersihan dengan mensirkulasikan zat kimia pada kondensor. Pembersihan umumnya dilakukan pada saat unit *shutdown* atau untuk keperluan *overhaul*. Terdapat beberapa metode *mechanical cleaning*, antara lain *drilling* atau *turbin cleaning*, *hydrojetting cleaning*. *Drilling* atau *turbin cleaning* adalah pembersihan dilakukan dengan melubangi deposit yang menempel pada dinding *tube*. *Hydrojetting cleaning* adalah pembersihan yang dilakukan dengan cara menginjeksikan air ke dalam *tube* pada tekanan yang tinggi. (Rosyid, Harun. Et.al, 2014, p. 29).

Untuk komponen pada Unit Utilitas Batubara (UBB) selanjutnya yaitu *boiler*. Jenis perawatan pada *boiler* secara umum ada dua macam:

1. Perawatan Pada Saat *Boiler* Beroperasi.
 - a. Melakukan pengecekan dan pengontrolan setiap hari pada seluruh *boiler*, terutama mengisi *boiler* dengan air umpan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan, untuk mengurangi endapan dan kerak. Jika endapan dan kerak terlalu tebal, akan mengganggu proses penyaluran panas dari dinding pemanas menuju air serta mengurangi efisiensi *boiler*.

- b. Melakukan pemeriksaan pompa pengisi air umpan (*boiler feed water pump*) serta menjaga pengontrolan air umpan *boiler* dengan kapasitas yang telah ditentukan.
- c. Memeriksa saluran air umpan (*feed water*) dari sumbatan atau kotoran yang akan menghalangi jalannya aliran air umpan (*feed water*).
- d. Menggunakan bahan bakar dengan kualitas yang baik sehingga proses pembakaran akan berlangsung dengan baik dan sempurna.
- e. Menjaga dan mengatur *safety valve* (katup pengaman) sesuai dengan standar yang ditentukan.

Perawatan *boiler* pada saat *boiler* beroperasi ini dapat berupa perawatan harian, mingguan dan bulanan. Tujuan dilakukannya perawatan pada saat *boiler* beroperasi ini untuk memastikan bahwa *boiler* dapat dipastikan berjalan dengan aman dan efisien.

2. Perawatan Pada Saat *Boiler* Tidak Beroperasi.

Perawatan yang dilakukan pada saat *boiler* tidak beroperasi, biasanya berupa *Minor Overhaul* ataupun *Major Overhaul* yang merupakan perawatan tahunan.

Unit Utilitas Batubara (UBB) pada PT Petrokimia Gresik juga melibatkan komponen *steam turbine* atau turbin uap yang berfungsi sebagai generator yang akan mengkonversikan energi panas dari uap air menjadi energi listrik untuk disalurkan kepada pembangkit listrik. Terdapat tiga jenis perawatan yang biasanya digunakan yaitu:

1. *Break down maintenance*, perawatan dilakukan pada saat mesin telah rusak dan kemudian diganti dengan mesin baru. Strategi ini digunakan apabila harga mesin murah dan perbaikan tidak mengakibatkan kerusakan pada komponen-komponen yang lain.
2. *Preventive Maintenance*, perawatan dilakukan pada interval tertentu seperti setahun sekali atau setelah 3000 jam operasi. Interval waktu ini ditentukan berdasarkan pengalaman.
3. *Condition based maintenance*, pada tipe ini perawatan mesin dilakukan dengan melakukan observasi terhadap perubahan kondisi mesin setiap saat. Untuk melakukan pengawasan terhadap kondisi mesin, dapat digunakan beberapa cara,

seperti *aural an vision* yang merupakan teknik pengawasan dasar, pengawasan arus dan tegangan yang biasanya dilakukan pada motor dan generator yang besar dan pengawasan temperature.

D. Distribusi Pembagian Listrik Unit Utilitas Batubara menuju Pabrik

Pembagian tenaga listrik pada PT Petrokimia Gresik adalah sebagai berikut.

1. Distribusi Primer (6 kV); Fase ini adalah distribusi antar SS: (a) Distribusi SS II ke SS I; (b) Distribusi SS II ke SS III; (c) Distribusi SS II ke SS 0; (d) Distribusi SS 0 ke SS IV; (e) Distribusi SS III baru ke SS V.
2. Distribusi Sekunder (380V); Fase ini adalah distribusi dari trafo ke masing-masing beban bertegangan dan panel *switchgear* yakni: Cubicle (*enclosure*), Busbar (*conductor*), CB (*power-switching*), Proteksi, *Meteeering*, *Motor Starter*, ATS dan COS.
3. *Uninterruptible Power Supply* (UPS) digunakan sebagai sistem untuk menyalurkan energi listrik sementara ketika terjadi kegagalan daya pada listrik utama di PT. Petrokimia Gresik.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan dapat diambil bahwa Unit Batu Bara (UBB) yang terdapat di PT Petrokimia berperan dalam proses pembangkitan listrik dan proses produksi (pemanasan). Mekanisme kerja UBB berawal dari proses pemindahan batubara melalui *coal handling system*, selanjutnya dilakukan penghalusan batubara agar menjadi ukuran sesuai pada mesin *coal mill*. Air baku yang diperoleh tidak memberikan uap dengan tekanan yang optimal sehingga perlu diolah terlebih dahulu dengan menggunakan *demin water plant* yang bekerja dalam skala ionik sehingga ion negatif dan positif dapat dipisahkan. Dari proses pada *demin water plant* tersebut, selanjutnya air yang bersifat murni dengan temperatur tinggi didinginkan pada *cooling tower*.

Kemudian terdapat proses pemanasan air melalui pembakaran batubara, dengan tujuan menghasilkan uap. Uap hasil pemanasan air dilakukan distribusi ke pabrik I, II, III, dan turbin melalui DCS (*Distributed Control System*). Konversi air menjadi uap menghasilkan energi panas yang dikonversi lagi menjadi energi kinetik pada turbin. Energi kinetik kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh *generator*. Dalam proses pembakaran batubara menghasilkan abu sisa pembakaran, untuk mengatasi hal ini digunakan mesin *Electrostatic Precipitator* untuk menangkap residu pembakaran.

Faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi unit batubara antara lain, tipe batubara yang dibakar tidak cocok, pengendapan zat sisa pada *boiler*, dan keausan pada poros dan bilah turbin. Cara-cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi unit batubara antara lain, meningkatkan tekanan uap pada kondensor, meningkatkan suhu pada *boiler*, dan perawatan unit utilitas batubara.

B. Saran

1. Melakukan pembersihan terhadap komponen-komponen mesin, terutama *boiler* agar tidak terdapat kerak.
2. Untuk penggunaan batu bara, disarankan untuk menggunakan batu bara yang memiliki nilai kalori yang cukup tinggi sehingga PLTU dapat menghasilkan kinerja yang cukup baik.
3. Disarankan perusahaan untuk melakukan uji heat rate dan efisiensi secara berkala untuk meminimalisir terjadinya masalah pada pembangkit, serta kinerja yang dihasilkan oleh pembangkit dapat dikontrol dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Adha, A. (n.d). *Laporan Kerja Praktek PT Petrokimia Gresik*. Jakarta: Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Breeze, P. (2015). *Coal-Fired Generation*. Elsevier Science.
- Cengel, Y. A., Boles, M. A., & Kanoglu, M. (2018). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw-Hill Education.
- Fuada, S., Rusdianto M.I., Sunarko, J. (2012). *Studi Distribusi Energi Listrik di Pabrik Pupuk PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur. S1 Prodi Pendidikan Teknik Elektro 2010, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang, Jawa Timur, Indonesia. Jl. Semarang No. 5, Malang*.
- Speight, J.G. (2021). *Coal-fired Power Generation Handbook (2nd Edition)*. Scrivener Publishing.
- Subagyo, R. (2018). *Bahan Ajar Sistem Pembangkit dan Turbin Uap*. Diambil dari https://mesin.ulm.ac.id/assets/dist/bahan/Sistem_Pembangkit_dan_Turbin_Uap.pdf.
- Pahlevi, K.R. (2021). *Perhitungan Performansi Kerja Steam Turbine Pada Departemen Pemeliharaan I PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur. S1 Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jawa Timur, Indonesia. Jl. Teknik Kimia, Keputih, Kec. Sukolilo, Kota SBY*.
- Pahlevi, K.R.. (2021). *Manajemen Perawatan pada Boiler Utilitas Batu Bara PT. Petrokimia Gresik* (pp. 56-60). Surabaya: Departemen Teknik Mesin Industri. Diambil dari https://repository.its.ac.id/85698/1/10211710010001-Project_Report.pdf
- Rosyid, H. et al.(2014). *Pengaruh Perawatan Condenser terhadap Tekanan Condenser di STG Blok 2 PLTGU Tambak Lorok*. Jurnal Power Plant, 1(2), 30 .
- Rosyid, Y. (2021). *Manajemen Perawatan pada Boiler Utilitas Batu Bara PT. Petrokimia Gresik* (pp. 56-60). Surabaya: Departemen Teknik Mesin Industri. Diambil dari https://repository.its.ac.id/85698/1/10211710010001-Project_Report.pdf

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

GAMBAR

Gambar II.B.1 Skema sederhana <i>pulverized coal-fired plant</i>	7
Gambar II.B.2 <i>Fire-tube Boiler</i>	8
Gambar II.B.3 <i>Water-tube Boiler</i>	9
Gambar II.B.4 Generator AC	11
Gambar II.C.1 Siklus Ideal Rankine	12
Gambar II.C.2 Siklus Rankine Ideal <i>T-s</i>	12
Gambar II.C.3 Siklus Rankine Non-ideal	14
Gambar II.E.1 Generator dengan pendingin hidrogen	16
Gambar IV.A.1 Proses Pembakaran Batubara	19
Gambar IV.A.2 <i>Coal Mill</i>	20
Gambar IV.A.3 <i>Demin Water Plant</i>	21
Gambar IV.A.4 <i>Cooling Tower</i>	21
Gambar IV.A.5 <i>Boiler</i>	22
Gambar IV.A.6 <i>Electrostatic Precipitator</i>	23
Gambar IV.A.7 Turbin	23
Gambar IV.C.1 Efek dari mengurangi tekanan pada siklus Rankine ideal	24
Gambar IV.C.2 Efek meningkatkan tekanan boiler pada siklus Rankine	25

TABEL

Tabel 1: Tipe-tipe Batubara	5
-----------------------------	---

