

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Jawa Satu Power merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan kombinasi siklus gas dan uap yang biasa disebut *Combine Cycle* untuk meningkatkan efisiensi konversi energi. PLTGU ini memanfaatkan panas dari turbin gas untuk menghasilkan uap yang kemudian digunakan dalam turbin uap (*steam turbine*) guna menghasilkan daya tambahan. Salah satu komponen utama dalam sistem ini adalah kondensor, yang berfungsi untuk mengembunkan uap bekas dari turbin uap sehingga dapat dikembalikan ke siklus sebagai air umpan boiler.

Efektivitas kondensor sangat berpengaruh terhadap efisiensi keseluruhan sistem PLTGU. Kondensor yang tidak beroperasi secara optimal dapat menyebabkan tekanan belakang turbin uap meningkat, mengurangi efisiensi termal, serta berpotensi menyebabkan penurunan daya output pembangkit. Oleh karena itu, analisis efektivitas kondensor menjadi penting dalam upaya meningkatkan kinerja PLTGU.

Beberapa faktor yang mempengaruhi efektivitas kondensor antara lain suhu dan tekanan uap masuk, suhu air pendingin, laju aliran air pendingin, serta tingkat kebersihan permukaan perpindahan panas. Penurunan kinerja kondensor dapat disebabkan oleh *fouling* (pengotoran) pada pipa kondensor, kebocoran, atau kondisi operasi yang tidak sesuai dengan desain awal.

Menurut Sihombing [1], efektivitas kondensor didefinisikan sebagai rasio antara laju perpindahan panas aktual dengan laju maksimum yang dapat terjadi. Studi yang dilakukan pada pembangkit panas bumi menunjukkan bahwa efektivitas kondensor berkisar antara 90–100%, yang menunjukkan performa operasi yang baik. Parameter penting yang mempengaruhi efektivitas adalah temperatur dan tekanan di sisi kondensasi serta temperatur air pendingin. Penurunan tekanan dan

temperatur kondensor akan meningkatkan efisiensi turbin akibat berkurangnya *back pressure*.

Fatkhurrahman dkk. [2] menggunakan metode NTU-*effectiveness* untuk menganalisis kinerja kondensor pada PLTGU Cilegon dan menunjukkan bahwa efektivitas maksimum tercapai pada tekanan vakum sebesar -711,74 mmHg, yaitu sebesar 93,14%. Penurunan kevakuman akibat kebocoran, pengotoran *tube*, atau penurunan performa pompa vakum terbukti menurunkan efektivitas secara signifikan. Dengan demikian, pemeliharaan sistem vakum dan pembersihan rutin *tube* kondensor menjadi faktor kunci dalam menjaga performa.

Sementara itu, studi oleh Wijaya dkk. [3] di PLTGU pabrik semen menunjukkan bahwa penyebab utama penurunan efektivitas kondensor adalah adanya penyumbatan oleh material asing seperti debu dan kerak pada *tube*. Dengan metode *Root Cause Analysis* (RCA), faktor-faktor dominan tersebut dapat diidentifikasi dan dikendalikan. Setelah dilakukan pemeliharaan, efektivitas meningkat dari 73,9% menjadi 75,1%, dengan peningkatan signifikan pada laju perpindahan panas fluida panas dan pendingin.

Sumardiyanto dan Januar [4] pada PLTGU Blok 1-2 PT. Indonesia Power UPJP Priok mengaplikasikan metode LMTD dan NTU- $\epsilon$  untuk menentukan efektivitas kondensor. Hasilnya menunjukkan efektivitas rata-rata sebesar 83,72% dengan variabel pengaruh utama berupa tekanan vakum (0,04395 bar),  $\Delta T$  LMTD sebesar 7,64°C, dan NTU sebesar 0,7996. Perawatan rutin seperti backwash dan pembersihan *tube* menjadi penting dalam mempertahankan efektivitas tersebut.

Studi terbaru oleh Wijaya dan Gunadi [5] menegaskan kembali bahwa faktor lingkungan seperti kualitas air pendingin dan curah hujan tinggi turut mempengaruhi efektivitas kondensor. Dalam studi kuantitatif ini, efektivitas meningkat pasca-pemeliharaan dan pengendalian kualitas air. Oleh karena itu, selain desain termal, aspek operasional dan

lingkungan juga berperan penting dalam menentukan kinerja kondensor PLTGU.

Dengan mengacu pada kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa efektivitas kondensor dalam PLTGU dipengaruhi oleh tekanan vakum, temperatur fluida, kondisi *tube*, serta kualitas air pendingin. Penggunaan metode analisis seperti NTU, LMTD, dan RCA sangat membantu dalam pemantauan dan evaluasi performa kondensor, serta menjadi dasar penting untuk perencanaan strategi pemeliharaan preventif.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis efektivitas kondensor pada PLTGU Jawa Satu Power dengan mengkaji berbagai parameter operasional yang mempengaruhi kinerjanya. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui efektivitas kondensor pada unit 21 setelah beroperasi selama 3 tahun yang di mulai dari *Commercial of Date* (COD) di bulan Desember 2023 serta memberikan rekomendasi untuk meningkatkan efisiensi kondensor serta kinerja keseluruhan sistem PLTGU, sehingga dapat mengoptimalkan produksi listrik dan mengurangi konsumsi bahan bakar.

Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis tren efektivitas kondensor Unit 21 sejak fase commissioning hingga periode operasi berikutnya berdasarkan data operasi aktual pembangkit. Penelitian ini juga membandingkan hasil efektivitas menggunakan dua pendekatan, yaitu metode LMTD dan metode NTU, sehingga memberikan verifikasi silang terhadap perubahan kinerja. Selain itu, penelitian ini menyusun rekomendasi pemeliharaan berbasis data (*data driven maintenance recommendation*) dengan mengaitkan penurunan efektivitas terhadap indikasi *fouling*, perubahan temperatur air pendingin masuk, dan potensi degradasi sistem vakum.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan diatas, rumusan masalah yang ingin dipecahkan pada tugas akhir ini ialah:

1. Bagaimana pengaruh suhu keluaran *steam (LP Exhaust)* terhadap efektivitas kondensor pada PLTGU?
2. Sejauh mana laju aliran dan suhu air pendingin mempengaruhi performa kondensor dalam siklus PLTGU?
3. Bagaimana dampak *fouling* dan kebersihan permukaan perpindahan panas terhadap penurunan efektivitas kondensor?

### 1.3. Batasan Masalah

Penulis membatasi masalah apa yang dikaitkan dengan masalah yang penulis temui dalam mengerjakan tugas akhir ini:

1. Suhu keluaran *steam (LP Exhaust)* terhadap efektivitas kondensor
  - Penelitian ini hanya akan menganalisis suhu *steam (LP Exhaust)* turbin uap ke kondensor dalam kondisi operasi 100% load PLTGU.
  - Suhu *steam (LP Exhaust)* yang dikaji berdasarkan data operasional selama periode tertentu (misalnya, 6 bulan terakhir).
  - Faktor eksternal seperti perubahan beban operasional yang ekstrem tidak akan dibahas secara mendalam.
2. Pengaruh laju aliran dan suhu air pendingin terhadap performa kondensor
  - Analisis hanya dilakukan terhadap perubahan suhu air pendingin yang masuk dan keluar kondensor tanpa mempertimbangkan perubahan komposisi kimia air pendingin.
  - Studi ini hanya mempertimbangkan fluktuasi debit air pendingin dalam rentang operasional yang direkomendasikan oleh pabrik.
  - Efek dari gangguan eksternal seperti sedimentasi di kanal air pendingin tidak menjadi fokus utama.
3. Dampak *fouling* dan kebersihan permukaan perpindahan panas terhadap penurunan efektivitas kondensor

- Penelitian ini hanya akan mengevaluasi efek *fouling* berdasarkan data inspeksi periodik dan simulasi matematis sederhana.
- Jenis *fouling* yang dianalisis terbatas pada pengotoran akibat kerak dan endapan mineral dari air pendingin.
- Pengaruh *fouling* mikrobiologi atau korosi akibat reaksi kimia air pendingin tidak menjadi bagian dari penelitian ini.

#### 1.4. Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan penelitian yang dibuat:

1. Menganalisis pengaruh suhu keluaran *Steam (LP Exhaust)* terhadap efektivitas kondensor pada PLTGU ketika 100 % *load* (880 MW).
  - Menentukan korelasi suhu keluaran *steam (LP Exhaust)* terhadap performa kondensor ketika kondisi 100 % *load* (880 MW).
2. Mengevaluasi dampak laju aliran dan suhu air pendingin terhadap performa kondensor dalam siklus PLTGU.
  - Mengukur perubahan efektivitas kondensor akibat suhu dan debit air pendingin.
  - Menentukan kondisi operasi air pendingin yang paling efisien dalam meningkatkan kinerja kondensor.
3. Menganalisis pengaruh *fouling* dan kebersihan permukaan perpindahan panas terhadap efektivitas kondensor.
  - Menilai seberapa besar pengaruh *fouling* terhadap kapasitas perpindahan panas dalam kondensor.
  - Mengembangkan strategi mitigasi *fouling* untuk menjaga efektivitas kondensor dalam jangka panjang.

## 1.5. Manfaat Penelitian

### 1.5.1. Untuk Peneliti

1. Meningkatkan pemahaman tentang efektivitas kondensor dalam sistem PLTGU
  - Peneliti dapat memahami prinsip kerja kondensor serta faktor-faktor yang mempengaruhi performanya.
  - Memperdalam wawasan tentang perpindahan panas, tekanan uap, dan sistem pendinginan dalam siklus PLTGU.
2. Mengembangkan keterampilan analisis dan evaluasi kinerja sistem termal
  - Peneliti dapat mengasah kemampuan dalam menganalisis data operasional, melakukan perhitungan termodinamika, dan mengidentifikasi faktor yang menurunkan efektivitas kondensor.
  - Meningkatkan keterampilan dalam menggunakan perangkat lunak simulasi atau perhitungan yang relevan dengan analisis perpindahan panas dan sistem pendingin.
3. Memberikan wawasan terkait strategi optimasi dan pemeliharaan kondensor
  - Peneliti dapat memperoleh pengetahuan tentang metode perawatan dan pemeliharaan kondensor untuk mempertahankan kinerjanya.
  - Dapat mengembangkan strategi mitigasi *fouling* serta optimasi operasional berdasarkan data historis dan analisis tren kinerja kondensor.

4. Membuka peluang penelitian lanjutan dan pengembangan teknologi energi

- Hasil penelitian dapat menjadi dasar untuk penelitian lebih lanjut dalam bidang efisiensi energi, optimasi sistem pendinginan, atau pengembangan desain kondensor yang lebih efektif.
- Peneliti dapat memperluas wawasan dalam bidang teknik pembangkitan energi dan berkontribusi dalam peningkatan efisiensi pembangkit listrik.

**1.5.2. Untuk Umum**

1. Memberikan Wawasan bagi Industri dan Pemerintah

- Hasil penelitian ini dapat digunakan oleh pihak industri untuk meningkatkan efisiensi operasional pembangkit listrik dan memperpanjang umur peralatan.
- Pemerintah dan regulator energi dapat memanfaatkan hasil penelitian sebagai referensi dalam perumusan kebijakan terkait efisiensi energi dan keberlanjutan sektor ketenagalistrikan.

2. Mendukung Efisiensi Pembangkit Listrik

- Penelitian ini dapat berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi sistem PLTGU, sehingga dapat menghasilkan listrik dengan konsumsi bahan bakar yang lebih optimal.
- Efisiensi yang lebih baik dapat membantu mengurangi biaya produksi listrik, yang berpotensi menstabilkan tarif listrik bagi masyarakat.

### 3. Meningkatkan Keandalan Pasokan Listrik

- Dengan meningkatnya efektivitas kondensor, kinerja PLTGU menjadi lebih stabil dan andal, sehingga mengurangi risiko gangguan pasokan listrik.
- Keandalan sistem pembangkit listrik yang lebih tinggi akan berdampak pada peningkatan kualitas layanan listrik bagi masyarakat dan industri.

### 4. Mendukung Pengurangan Emisi dan Dampak Lingkungan

- Peningkatan efisiensi PLTGU berarti penggunaan bahan bakar yang lebih hemat, yang secara langsung dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dan polutan lainnya.
- Mengoptimalkan sistem kondensasi dapat membantu mengurangi konsumsi air pendingin, sehingga lebih ramah lingkungan.

### 5. Menjadi Referensi bagi Akademisi dan Peneliti Lain

- Penelitian ini dapat menjadi acuan bagi mahasiswa, akademisi, dan peneliti lain yang ingin mengembangkan riset lebih lanjut dalam bidang efisiensi energi dan teknologi pembangkit listrik.
- Dapat mendorong inovasi dalam desain kondensor yang lebih efisien dan ramah lingkungan untuk masa depan.

#### 1.5.3. Untuk Industri

##### 1. Kontribusi terhadap Kebijakan Energi Nasional

Penelitian efektivitas kondensor pada PLTGU memiliki peran strategis dalam mendukung visi energi nasional yang berkelanjutan dan efisien. Manfaatnya antara lain:

a. Peningkatan Efisiensi Pembangkit

- Kondensor yang bekerja secara optimal akan menurunkan tekanan back pressure pada turbin uap, sehingga meningkatkan efisiensi termal sistem PLTGU secara keseluruhan.
- Efisiensi termal yang lebih tinggi berarti konsumsi bahan bakar (gas alam) lebih rendah untuk setiap kWh listrik yang dihasilkan, mendukung target efisiensi energi nasional.

b. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca

- Dengan efisiensi yang meningkat, konsumsi bahan bakar fosil berkurang sehingga emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan PLTGU ikut menurun.
- Hal ini selaras dengan komitmen Indonesia dalam *Paris Agreement* untuk menurunkan emisi gas rumah kaca melalui sektor energi.

c. Penguatan Basis Data dan Pengambilan Keputusan

- Penelitian ini menyediakan data empiris yang dapat dijadikan dasar dalam menyusun regulasi teknis dan kebijakan insentif untuk efisiensi energi di sektor pembangkitan.
- Kementerian ESDM dapat menggunakan hasil kajian ini sebagai bagian dari roadmap konservasi energi nasional.

2. Manfaat bagi Efisiensi Industri dan Operasional PLTGU

a. Optimasi Operasional dan Penghematan Biaya

- Mengetahui efektivitas kondensor memungkinkan operator untuk mendeteksi penurunan performa sejak dini, seperti *fouling*, *scaling*, atau penurunan laju pendinginan.

- Perbaikan dini pada sistem kondensor menghindari penurunan output listrik, *downtime*, atau kerusakan lanjutan, yang pada akhirnya menekan biaya operasional dan pemeliharaan.

b. Perpanjangan Umur Peralatan

- Kondensor yang bekerja optimal menjaga suhu kondensasi tetap rendah, sehingga memperpanjang umur turbin uap dan sistem pemipaan karena terhindar dari tekanan balik yang berlebihan.

c. Peningkatan Kapasitas Pembangkit

- Efektivitas kondensor yang tinggi meningkatkan efisiensi *Rankine cycle* di PLTGU, memungkinkan pembangkit menghasilkan daya lebih besar dengan input bahan bakar yang sama.

d. Pemanfaatan Teknologi Diagnostik dan Monitoring

- Penelitian ini mendorong penerapan teknologi seperti *thermal performance monitoring* dan *condition-based maintenance*, yang merupakan bagian dari transformasi digital industri pembangkitan.

3. Implikasi Ekonomi dan Strategis

- Efisiensi kondensor yang terjaga mendukung kestabilan pasokan listrik nasional dengan biaya produksi yang lebih rendah.
- Industri pengguna listrik skala besar (seperti manufaktur, pertambangan, dan petrokimia) juga akan merasakan dampaknya melalui tarif listrik yang lebih kompetitif.

- Meningkatkan daya saing nasional dalam sektor energi dan mengurangi ketergantungan pada energi primer impor.

## 1.6. Metode Pengumpulan Data

Data penelitian didapat dari sektor pembangkitan PLTGU Jawa Satu Power, Data yang diperoleh antara lain berupa beban aktual, vakum kondensor, temperatur *inlet* dan *outlet* air laut, temperatur uap keluaran turbin uap tekanan rendah (*low pressure*), dan temperatur air *hotwell*. Pengolahan data menggunakan metode perpindahan panas LMTD (*Log Mean Temperature Differensial*) dan *NTU Effectiveness*.

- Kelebihan dan Kekurangan LMTD

Kelebihan:

1. Akurat untuk desain *heat exchanger* dengan suhu masuk atau keluar diketahui.
2. Cocok untuk *steady-state operation*
3. Dapat digunakan untuk berbagai konfigurasi (*parallel, counterflow, shell & tube*)

Kekurangan:

1. Tidak cocok jika suhu tidak diketahui (perlu metode NTU)
2. Tidak fleksibel untuk *heat exchanger* kompleks (misal *multi-pass*, perubahan fase dua arah)
3. Tidak cocok untuk sistem dengan kondisi dinamis atau *transien*

- Kelebihan dan Kekurangan *NTU Method*

Kelebihan:

1. Tidak memerlukan suhu *outlet* → cocok untuk desain awal

2. Lebih akurat untuk konfigurasi kompleks (*multi-pass*, perubahan fasa)
3. Cocok untuk evaluasi performa teoritis

Kekurangan:

1. Butuh data lengkap:  $U$ ,  $A$ ,  $c_p$  dan  $flow$
2. Lebih kompleks secara matematis dibanding LMTD
3. Tidak intuitif saat hanya suhu yang diketahui (lebih cocok untuk desain, bukan *troubleshooting*)

Data yang telah diolah, selanjutnya dipresentasikan dalam bentuk tabel yang nantinya akan dianalisis. Dimana analisa data dilakukan dengan bentuk tabel hubungan efisiensi kinerja kondensor terhadap perubahan temperatur. Dari analisa tersebut maka dapat diketahui penurunan efektifitas kondensor dari tahun ke tahun sehingga peneliti bisa memperkirakan penyebab menurunnya nilai efektifitas pada kondensor.

### 1.7. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dilakukan melalui beberapa metode dan format yang dibagi pada beberapa bab yang tersusun pada penulisan tugas akhir ini, diantaranya:

#### **BAB I : Pendahuluan**

Pendahuluan yang mencakup latar belakang, rumusan masalah, batasan, tujuan, dan manfaat penelitian.

#### **BAB II : Landasan Teori**

Memuat landasan teori terkait PLTGU dan konsep efektivitas kondensor.

#### **BAB III : Metodologi Penelitian**

Dalam bab ini menjelaskan metodologi penelitian, sumber data, serta langkah perhitungan.

**BAB IV : Hasil dan Pembahasan**

Dalam bab ini menyajikan hasil perhitungan dan pembahasan analitis terhadap tren efektivitas kondensor.

**BAB V : Kesimpulan dan Saran**

Dalam bab ini berisi kesimpulan dan saran.

