

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu faktor utama sebagai penunjang penting perkembangan suatu daerah. Kebutuhan energi listrik akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi suatu negara, perkembangan industri, serta meningkatnya aktivitas ekonomi dan sosial masyarakat. Listrik telah menjadi kebutuhan vital dalam berbagai aspek kehidupan, mulai dari rumah tangga, transportasi, hingga sektor industri yang sangat bergantung pada pasokan energi yang stabil dan berkesinambungan. Peningkatan permintaan listrik yang signifikan ini menuntut ketersediaan sistem pembangkit yang andal, efisien, serta mampu memenuhi beban puncak konsumsi energi nasional. Oleh karena itu, optimalisasi kinerja pembangkit listrik menjadi prioritas utama dalam menjaga keandalan pasokan energi di masa depan.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan sumber utama penyedia energi listrik yang paling banyak digunakan. Namun, saat ini pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil, khususnya batubara, menghadapi tantangan dalam mengurangi konsumsi batubara yang berlebihan, menekan emisi gas buang, serta meningkatkan performa mesin pada komponen utama PLTU. Mengingat tantangan tersebut, diperlukan berbagai upaya untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi pada pembangkit listrik tenaga uap. Salah satu langkah yang diambil adalah dengan melakukan evaluasi kinerja mesin PLTU, sehingga dapat diketahui bagian atau komponen mana yang memiliki efisiensi konversi energi rendah dan diidentifikasi area yang memerlukan perbaikan (Wu et al., 2014).

Penurunan kinerja pada komponen utama mesin pembangkit listrik umumnya disebabkan oleh terjadinya kerugian energi yang berlebihan. Salah satu metode yang diterapkan untuk meningkatkan efisiensi sistem mesin pembangkit adalah melalui analisis efisiensi. Namun, saat ini besarnya efisiensi dari mesin hanya ditentukan dengan mengacu pada efisiensi energi saja. Karena analisis efisiensi energi pada PLTU pada dasarnya hanya menilai perbandingan antara energi

keluaran yang bermanfaat dengan energi masukan. Pendekatan ini mengikuti Hukum I termodinamika yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan maupun dimusnahkan, hanya dapat berubah bentuk. Oleh karena itu, meskipun energi tetap terjaga secara kuantitas, analisis energi tidak dapat membedakan apakah energi tersebut memiliki kualitas tinggi yang dapat dimanfaatkan atau kualitas rendah yang tidak berguna.

Untuk itu maka perlu dilakukan pendekatan analisis efisiensi eksergi yang didasari oleh Hukum II termodinamika untuk mengetahui ketepatan besarnya efisiensi dari suatu mesin. Analisis eksergi memperhitungkan kualitas energi serta kemampuan energi tersebut untuk dikonversi menjadi kerja yang berguna. Melalui pendekatan ini, dapat diketahui seberapa besar energi yang benar-benar termanfaatkan, serta berapa banyak kerugian yang terjadi akibat irreversibilitas proses seperti gesekan, perpindahan panas dengan perbedaan temperatur yang besar, maupun pembakaran yang tidak sempurna. Analisis eksergi juga mampu mengidentifikasi komponen PLTU yang menyumbang kerusakan terbesar, sehingga memberikan dasar yang lebih akurat dalam jenis, penyebab, serta lokasi terjadinya kerugian atau kehilangan panas pada sistem maupun sub-sistem termal. Dengan demikian, langkah perbaikan dan peningkatan kualitas dapat dilaksanakan secara lebih efektif (Zulmi *et al.*, 2021). Dengan demikian, analisis eksergi tidak hanya berperan dalam meningkatkan efisiensi sistem, tetapi juga mendukung upaya pengurangan konsumsi batubara dan penekanan emisi, sehingga kinerja PLTU dapat menjadi lebih optimal dan ramah lingkungan.

Penelitian dari (Ahmadi *et al.*, 2016) mengamati bahwa berdasarkan analisis efisiensi energi sebesar 32% dengan kehilangan energi terbesar terjadi pada kondensor yaitu 296,8 MW atau 69,8% dari total energi hilang, sedangkan boiler hanya menyumbang 42,9 MW atau 10,16%. Namun, analisis efisiensi eksergi memberikan hasil berbeda yaitu sebesar 31,2%, di mana boiler menjadi penyumbang kerugian terbesar yaitu 315,39 MW atau 85,66% dari total eksergi hilang, sementara kondensor hanya menyumbang 5,63 MW atau 1,53%. Perbedaan ini menegaskan bahwa analisis energi menekankan jumlah panas yang hilang, sedangkan analisis eksergi menilai kualitas energi, sehingga boiler diidentifikasi

sebagai komponen dengan potensi optimasi terbesar untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi kerusakan eksergi. Penelitian lain (Rudiyanto, 2019) menemukan diperoleh bahwa efisiensi energi total pembangkit berada pada kisaran 47,98%, sedangkan efisiensi eksergi total pembangkit hanya mencapai 26,36%. Komponen dengan kerugian energi terbesar adalah kondensor, dengan efisiensi energi hanya 8,94% karena sebagian besar energi terbuang dalam bentuk panas uap yang terkondensasi. Untuk kerugian eksergi terbesar terjadi pada boiler, dengan efisiensi eksergi hanya 48,06% dan kerusakan eksergi mencapai 1677 MW akibat proses pembakaran serta perpindahan panas yang tidak sempurna.

Berdasarkan penjelasan di atas, analisis energi menunjukkan besarnya energi yang hilang pada tiap komponen, sedangkan analisis eksergi memberikan gambaran kualitas energi yang benar-benar termanfaatkan serta kerugian akibat irreversibilitas. Sementara itu, laju kerusakan eksergi menggambarkan tingkat kerugian energi yang dialami komponen tertentu. Maka dari itu, penelitian ini akan mengkaji analisis efisiensi energi dan eksergi pra dan pasca *overhaul* untuk mengetahui peranan perbaikan ini sangat penting dalam meningkatkan kinerja komponen mesin yang digunakan oleh industri. Dengan memadukan analisis energi dan eksergi, industri dapat mengidentifikasi komponen yang mengalami kerugian energi besar, sehingga optimalisasi dan skala perbaikan komponen yang tepat dan terarah dapat diambil untuk mengoptimalkan kinerja komponen mesin PLTU yang dapat meningkatkan efisiensi energi dan eksergi pada sistem. Jika kinerja komponen meningkat kebutuhan bahan bakar fosil yang digunakan juga berkurang. Seiring dengan berkurangnya bahan bakar yang digunakan maka emisi gas buang juga akan berkurang sehingga pembangkit menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana efisiensi energi yang terjadi pada setiap sistem komponen utama mesin PLTU pra dan pasca *overhaul* dianalisis?
2. Bagaimana efisiensi eksergi yang terjadi pada setiap sistem komponen utama mesin PLTU pra dan pasca *overhaul* dianalisis?

3. Bagaimana laju kerusakan eksergi yang terjadi pada setiap sistem komponen utama mesin PLTU pra dan pasca *overhaul* dianalisis?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis efisiensi energi pada setiap sistem komponen utama mesin PLTU pra dan pasca *overhaul*.
2. Menganalisis efisiensi eksergi pada setiap sistem komponen utama mesin PLTU pra dan pasca *overhaul*.
3. Menganalisis laju kerusakan eksergi pada setiap sistem komponen utama mesin PLTU pra dan pasca *overhaul*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan beberapa manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Dapat memberikan wawasan baru dan menyumbangkan pengetahuan dalam bidang konversi energi, khususnya pada efisiensi energi dan efisiensi eksergi setiap komponen utama mesin pembangkit yang lebih efektif dan efisien.
2. Dapat menjadi referensi dan panduan dalam pengajaran serta penelitian lanjutan di bidang termodinamika, khususnya yang terkait dengan energi dan eksergi.
3. Analisis energi dan eksergi sebelum dan sesudah *overhaul* membantu memastikan strategi pemeliharaan komponen lebih efektif sehingga umur aset lebih panjang dan risiko *downtime* berkurang. Selain itu, efisiensi yang lebih tinggi mendukung pengurangan konsumsi bahan bakar.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Komponen yang dianalisis yaitu *boiler*, turbin, kondensor, pompa dan deaerator
2. Analisis fokus pada analisis efisiensi energi, efisiensi eksergi dan laju kerusakan eksergi pada komponen utama mesin tersebut.
3. Membandingkan setiap komponen sebelum dan sesudah *overhaul* dengan pembebanan 25%, 50%, 75%, 100%.

4. Asumsi dalam model perhitungan (seperti proses *steady-state* dan ideal) menjadi salah satu keterbatasan hasil.
5. Temperatur lingkungan yang digunakan sebesar 27°C dengan tekanan 1,013 bar.
6. Setiap komponen siklus dianalisis dalam kondisi tunak (*steady state*).
7. Perubahan energi kinetik dan energi potensial tidak diperhitungkan.
8. Kehilangan panas pada instalasi pipa tidak dimasukkan dalam perhitungan.
9. Pompa bekerja secara adiabatik.
10. Sifat-sifat termodinamika fluida kerja diperoleh pada software Microsoft Excel untuk entropi dan entalpi.