

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik berbasis bahan bakar fosil yang paling banyak digunakan di dunia, termasuk di Indonesia. Dalam operasinya, PLTU menerapkan Siklus Rankine dengan memanfaatkan energi panas yang dihasilkan dari pembakaran batu bara maupun bahan bakar alternatif untuk menghasilkan uap bersuhu dan bertekanan tinggi. Uap tersebut selanjutnya dialirkan ke turbin untuk menghasilkan energi mekanik, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Secara keseluruhan, proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui beberapa tahapan, yaitu pembentukan uap di dalam boiler, ekspansi uap pada turbin, kondensasi di kondensor, serta pemompaan fluida kerja kembali menuju boiler. Pada setiap tahapan tersebut, efisiensi eksergi digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi tingkat pemanfaatan energi yang tersedia dalam menghasilkan kerja yang bermanfaat serta mengidentifikasi potensi kehilangan akibat irreversibilitas proses.

Eksergi adalah jumlah kerja maksimum yang dapat dihasilkan oleh suatu sistem atau fluida kerja ketika mengalami perubahan dari kondisi awal hingga mencapai keadaan setimbang dengan lingkungan yang dikenal sebagai dead state atau keadaan mati. Konsep eksergi menunjukkan kemampuan suatu sistem untuk menghasilkan kerja akibat adanya perbedaan kondisi antara sistem dan lingkungan sekitarnya. Berbeda dengan energi yang sesuai prinsip hukum kekekalan energi, eksergi tidak dapat dipertahankan sepenuhnya karena sebagian akan mengalami kerusakan atau kehilangan selama proses berlangsung akibat irreversibilitas dan ketidaksempurnaan dalam proses termodinamika (Heroza & Pratoto, 2022).

Berbeda dengan analisis energi konvensional yang hanya berfokus pada jumlah energi, analisis eksergi menitikberatkan pada kualitas energi serta besarnya destruksi eksergi yang terjadi pada setiap tahapan proses. Pendekatan ini mampu memberikan gambaran yang lebih mendalam dan akurat mengenai kinerja sistem, sehingga potensi peningkatan efisiensi dan penghematan konsumsi bahan bakar dapat diidentifikasi secara lebih efektif (Chatib et al., 2023). Sebelum melakukan analisis terhadap kehilangan eksergi, perlu dipahami terlebih dahulu prinsip dasar Siklus Rankine sebagai dasar utama dalam proses konversi energi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Penerapan Siklus Rankine telah digunakan secara luas pada berbagai sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), dan sebagian besar penelitian terdahulu menitikberatkan analisis pada setiap komponen yang terdapat dalam siklus tersebut. Dalam penelitian ini, kajian difokuskan pada komponen boiler sebagai bagian utama dalam proses konversi energi panas menjadi uap. Siklus Rankine merupakan siklus teoritis yang menjadi dasar operasi PLTU dan berbeda dari siklus udara karena menggunakan fluida kerja yang mengalami proses penguapan dan kondensasi secara berulang di dalam sistem tertutup (Azi Zauhari & Koswara, 2022). Sistem ini memungkinkan energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dikonversi menjadi energi mekanik, kemudian diubah kembali menjadi energi listrik, sehingga menjadi dasar utama dalam sistem pembangkitan tenaga listrik modern.

Boiler memiliki komponen penting yaitu *Combustor* dan *Heat exchanger*, Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh (Suryo, 2015), Kedua komponen tersebut merupakan sumber utama terjadinya destruksi eksergi, sehingga berbagai upaya perbaikan perlu dilakukan untuk menekan besarnya destruksi eksergi dan meningkatkan efisiensi eksergi boiler. Berdasarkan hasil analisis, efisiensi eksergi *Heat exchanger* mencapai nilai tertinggi sebesar 81,66% pada pukul 13.00, sedangkan nilai terendah sebesar 77,61% terjadi pada rentang waktu pukul 01.00 hingga 04.00. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi eksergi *Heat exchanger* lebih dipengaruhi oleh laju aliran massa *steam* dan temperatur *steam*, sementara variasi tekanan memberikan pengaruh yang relatif kecil terhadap perubahan nilai efisiensi. Efisiensi eksergi maksimum sebesar 81,55% diperoleh pada saat laju aliran massa *steam* mencapai 31,04 kg/s, sedangkan efisiensi minimum sebesar 77,61% terjadi ketika laju aliran massa *steam* sebesar 29,85 kg/s. Meskipun laju aliran massa *steam* meningkat menjadi 30,43 kg/s, efisiensi eksergi tidak mengalami kenaikan karena peningkatan tersebut tidak diikuti oleh kenaikan temperatur *steam*, sehingga proses perpindahan panas tidak berlangsung lebih efektif dan efisiensi eksergi *Heat exchanger* tetap tidak mengalami peningkatan.

Penelitian ini memberikan kontribusi melalui analisis eksergi dan efisiensi pada komponen *combustor* dan *heat exchanger* dengan mempertimbangkan variasi kondisi operasi, seperti laju aliran superheater dan beban operasional. Analisis difokuskan pada kedua komponen tersebut untuk mengidentifikasi bagian yang memberikan pengaruh paling signifikan terhadap kehilangan eksergi. Dengan memanfaatkan data operasional aktual dari PLTU sebagai studi kasus, penelitian ini bertujuan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai perilaku eksergi pada boiler dalam berbagai kondisi operasi,

sehingga dapat menjadi dasar dalam upaya peningkatan efisiensi termodinamika pada sistem pembangkit listrik tenaga uap.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah yang disusun berdasarkan pendahuluan yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh kondisi beban operasi 325 MW, 450 MW, dan 650 MW terhadap efisiensi eksergi pada *Combustor* dan *Heat exchanger* PLTU?
2. Bagaimana pengaruh variasi beban operasi (325MW, 450 MW, dan 650 MW) terhadap *Exergy destruction* pada *Combustor* dan *Heat exchanger*?
3. Bagaimana hasil analisis eksergi pada *Combustor* dan *Heat exchanger* dapat digunakan sebagai dasar untuk memberikan rekomendasi peningkatan efisiensi termodinamika pada sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan yang diharapkan setelah melakukan penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Menentukan nilai efisiensi eksergi serta besarnya *Exergy destruction* pada *Combustor* dan *Heat exchanger* di PLTU pada kondisi beban operasi 325MW, 450 MW, dan 650 MW.
2. Menganalisis pengaruh beban operasi (325MW, 450 MW, dan 650 MW) terhadap besarnya kehilangan eksergi (*Exergy destruction*) pada komponen utama boiler.
3. Memberikan rekomendasi teknis untuk peningkatan efisiensi termodinamika boiler berdasarkan hasil analisis eksergi, yang dapat dijadikan dasar dalam upaya optimasi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat terhadap beberapa pihak yaitu sebagai berikut.

1. Terhadap PT. XYZ, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat nyata dalam mendukung untuk meningkatkan efisiensi eksergi pada PLTU.
2. Melalui penelitian ini mahasiswa dapat mengembangkan kemampuan dalam melakukan analisis data operasi aktual, perhitungan eksergi serta pemodelan hubungan antara variabel operasi dan performa sistem.

3. Hasil penelitian diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan referensi dan rujukan ilmiah bagi mahasiswa dan dosen dalam mengembangkan penelitian sejenis di masa mendatang, khususnya terkait efisiensi pembangkit listrik dan analisis eksergi.

1.5 Batasan Masalah

Berikut adalah batasan masalah yang akan digunakan selama melakukan penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Objek Penelitian akan dilakukan pada Boiler yang digunakan pada PT.XYZ.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data operasi aktual PLTU yang diperoleh dari dokumen teknis dan catatan operasional.
3. Analisis tidak mencakup aspek ekonomi, biaya operasional, maupun dampak lingkungan secara langsung melainkan terbatas pada kajian kinerja termodinamika dan efisiensi eksergi pada *Heat exchanger* dan *Combustor*.
4. Pengambilan data berlangsung selama 30 hari yang dilakukan di *Central Control Room* (CCR) pada PT.XYZ.
5. Pada penelitian ini akan difokuskan pada Eksergi tanpa melakukan perhitungan pada energi seperti energi potensial dan kinetik.
6. Analisis pada penelitian ini dilakukan dengan sistem beroperasi dalam kondisi tunak (*steady state*) sehingga perubahan parameter terhadap waktu tidak diperhitungkan.
7. Data yang digunakan dalam perhitungan yaitu data dengan kondisi pembakaran sempurna.