

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemandirian energi merupakan aspek krusial bagi kedaulatan suatu negara dan menjadi bagian penting dari ketahanan nasional. Di Indonesia, sektor pembangkit listrik menjadi tulang punggung ekonomi dan kesejahteraan masyarakat, dengan energi listrik sebagai motor aktivitas sehari-hari dari pabrik hingga rumah tangga. Berdasarkan data Kementerian ESDM hingga tahun 2022, Indonesia memiliki berbagai jenis pembangkit dengan kapasitas terpasang yang signifikan, meliputi PLTU dengan kapasitas 42.343,26 MW, PLTGU dengan kapasitas 13.397,82 MW, PLTS dengan kapasitas 283,14 MW, dan PLTG dengan kapasitas 4.456,74 MW (Sansuadi, Nur Mazidah, 2022). Di antara berbagai jenis pembangkit tersebut, Pembangkit Listrik Tenaga Gas memiliki beberapa keunggulan strategis, antara lain efisiensi penggunaan lahan yang lebih baik, emisi gas rumah kaca yang lebih rendah dibandingkan pembangkit berbasis batu bara, waktu start-up yang cepat. Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang beroperasi di Indonesia, dengan tujuan memanfaatkan energi secara lebih efisien untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat. Diketahui bahwa efisiensinya akan naik seiring dengan peningkatan beban operasional (Tara Difpaa, Nabilah M, 2024).

PT PLN Nusantara Power UP Muara Karang merupakan salah satu aset pembangkitan yang menyuplai kebutuhan listrik wilayah vital seperti Jakarta dan sekitarnya dengan kapasitas 2.154 MW. Dalam konteks operasional Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) yang berbasis siklus *Brayton* yang memanfaatkan energi termal dari hasil pembakaran bahan bakar gas untuk menghasilkan energi mekanik yang kemudian menggerakkan generator listrik, khususnya pada Blok 1 Muara Karang yang menggunakan tipe gas turbin *General Electric Machine Series 9001E* diketahui bahwa efisiensi termal turbin gas menjadi parameter kunci yang menentukan kinerja keseluruhan pembangkit. Efisiensi termal yang tinggi tidak hanya mengoptimalkan produksi listrik, tetapi juga secara

signifikan mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik, menurunkan biaya operasional, dan mengurangi emisi gas rumah kaca per kWh energi listrik yang dihasilkan.

Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi termal turbin gas yaitu karakteristik bahan bakar yang digunakan. Komposisi bahan bakar memiliki pengaruh signifikan terhadap parameter-parameter kritis pembakaran seperti nilai kalor, suhu nyala api, kecepatan pembakaran, dan efisiensi pembakaran di ruang bakar turbin. Di PLTG Muara Karang Blok 1 menggunakan bahan bakar gas yang bersumber dari Pertamina Hulu Energi (PHE) dan Nusantara Regas (NR). Gas dari PHE umumnya merupakan gas yang telah melalui proses pengolahan di kilang dengan komposisi yang lebih kompleks, dan NR merupakan gas alam konvensional yang didominasi oleh metana dengan kandungan 88-94% (Marcogaz Aisbl, 2024). Secara eksisting, operasi PLTG Muara Karang Unit 1.2 pada periode penelitian menunjukkan penggunaan bahan bakar gas NR sebagai bahan bakar utama pada berbagai tingkat beban operasi. Secara teoritis, gas NR dengan kandungan metana yang lebih tinggi diasumsikan memiliki potensi menghasilkan efisiensi termal yang lebih baik karena mendukung proses pembakaran yang lebih stabil dan bersih. Namun, dalam praktik operasional, penerapan gas campuran PHE-NR juga telah dilakukan sebagai bagian dari strategi pemanfaatan pasokan bahan bakar, yang menunjukkan adanya variasi karakteristik termodinamika dan pola pembakaran pada kondisi eksisting yang belum sepenuhnya dievaluasi terhadap pengaruhnya pada kinerja turbin gas.

Berdasarkan kondisi eksisting tersebut, terdapat potensi optimasi efisiensi termal yang dapat dicapai melalui pengaturan persentase pembakaran bahan bakar gas pada berbagai tingkat beban. Meskipun asumsi teoritis menunjukkan keunggulan gas NR murni, efisiensi aktual turbin gas dipengaruhi oleh berbagai faktor lain, seperti nilai kalor, karakteristik pembakaran, temperatur gas hasil pembakaran, serta kondisi operasi turbin. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan dengan menganalisis data operasi riil PLTG Muara Karang dan melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak DWSIM untuk mengevaluasi pengaruh persentase pembakaran terhadap efisiensi termal, sehingga diperoleh dasar rekomendasi optimasi operasi pembangkit yang bersifat realistis dan berbasis data.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan bakar gas (100% NR, 5% PHE + 95% NR, dan 20% PHE + 80% NR) berdasarkan data operasi riil terhadap efisiensi termal turbin gas PLTG Muara Karang pada beban 80 MW?
2. Bagaimana perbandingan kinerja termal turbin gas pada masing-masing variasi komposisi bahan bakar yang diterima dari sumber pasokan eksternal?
3. Faktor-faktor apa saja yang paling dominan memengaruhi perubahan efisiensi termal turbin gas, khususnya pada komponen utama seperti kompresor, ruang bakar, dan turbin?
4. Bagaimana pengaruh perbedaan karakteristik bahan bakar gas, seperti kandungan metana dan nilai kalor (LHV), terhadap parameter pembakaran dan kinerja turbin gas?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah di sebutkan di atas, adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis efisiensi termal turbin gas PLTG Muara Karang pada variasi komposisi bahan bakar gas berdasarkan data operasi riil pada beban 80 MW.
2. Membandingkan kinerja termal turbin gas pada masing-masing variasi komposisi bahan bakar yang diterima dari sumber pasokan eksternal.
3. Mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang memengaruhi efisiensi termal turbin gas, khususnya pada subsistem utama seperti kompresor, ruang bakar, dan turbin.
4. Mengevaluasi pengaruh karakteristik bahan bakar gas terhadap parameter pembakaran dan keseimbangan energi dalam siklus turbin gas.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan analisis kinerja sistem pembangkit listrik tenaga gas berbasis data operasi riil, khususnya

dalam memahami dampak variasi komposisi bahan bakar terhadap efisiensi termal turbin gas.

2. Penelitian ini bermanfaat sebagai referensi teknis bagi akademisi dan praktisi industri pembangkitan dalam memahami dampak variasi persentase bahan bakar gas eksisting terhadap kinerja turbin gas.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar evaluasi operasional PLTG Muara Karang berdasarkan kondisi aktual pembangkit.
4. Penelitian ini juga dapat dijadikan referensi dalam pengembangan strategi pemanfaatan sumber daya gas bumi secara berkelanjutan, melalui pendekatan analisis dan simulasi berbasis perangkat lunak DWSIM.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Adapun ruang lingkup didalam penulisan penelitian ini yaitu:

1. Analisis dilakukan pada turbin gas tipe GE MS 9001E yang beroperasi di Blok 1 PLTG Muara Karang pada GT 1.2.
2. Data operasi yang digunakan merupakan data performance test pada periode Desember 2024 serta Juli 2025 dengan fokus analisis pada beban desain 80 MW.
3. Penelitian difokuskan pada analisis efisiensi termal turbin gas berdasarkan variasi komposisi bahan bakar gas yang diterima dari sumber pasokan eksternal, dengan bantuan simulasi DWSIM untuk memodelkan proses termodinamika dan karakteristik pembakaran.
4. Penelitian ini tidak membahas aspek keekonomian maupun perhitungan biaya bahan bakar.

1.6 Kabaharuan

Pada Penelitian ini terdapat beberapa aspek kebaharuan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sebagai Berikut :

1. Penelitian ini mengkaji variasi komposisi bahan bakar gas yang diterapkan secara nyata di lapangan dan menganalisis pengaruhnya terhadap efisiensi termal pada beban desain unit.

2. Pemanfaatan perangkat lunak DWSIM sebagai alat simulasi dalam memodelkan proses pembakaran dan siklus termodinamika berbasis kondisi eksisting pembangkit memberikan pendekatan yang aplikatif dan relevan secara operasional, khususnya dalam konteks pembangkit listrik tenaga gas di Indonesia.

1.7 Hipotesis

Berdasarkan latar belakang dan tujuan penelitian yang ada, maka hipotesis yang diajukan adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan bahan bakar dengan kandungan metana lebih tinggi (100% NR) diasumsikan menghasilkan efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan campuran dengan fraksi PHE lebih besar.
2. Peningkatan fraksi PHE dalam campuran diasumsikan mempengaruhi karakteristik pembakaran dan kerja kompresor sehingga dapat menyebabkan perubahan efisiensi termal turbin gas.