

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan pertumbuhan populasi, pembangunan infrastruktur, dan perkembangan industri di Indonesia, kebutuhan listrik terus meningkat setiap tahunnya. Semua bidang kehidupan, termasuk rumah tangga, bisnis, dan industri, membutuhkan listrik. Sistem pembangkitan tenaga listrik yang efektif dan ramah lingkungan diperlukan untuk memastikan pasokan listrik yang andal dan stabil. Air adalah salah satu sumber energi yang sangat penting bagi kehidupan manusia karena kemampuannya untuk menghasilkan listrik, yang merupakan salah satu penggunaan energi air yang sangat penting. Karena jumlah air yang melimpah, air dianggap sebagai salah satu sumber energi terbarukan. Karena pertumbuhan penduduk dan kemajuan teknologi, kebutuhan tenaga listrik terus meningkat. Listrik adalah salah satu jenis tenaga yang paling banyak digunakan oleh masyarakat. Sedangkan sebagian besar listrik yang dikonsumsi masyarakat masih berasal dari pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan batubara dan minyak bumi, yang merupakan sumber energi yang tidak terbarukan dan menghasilkan emisi yang relatif tinggi. Sebagai upaya dalam mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil pemerintah Indonesia melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) untuk mengutamakan penggunaan energi terbarukan dengan sasaran 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050[1]. Indonesia memiliki potensi tenaga air yang sangat besar karena topografinya yang bergunung dan berbukit serta adanya danau dan waduk sebagai hulu aliran sungai. Meskipun potensi tenaga air Indonesia sebesar 75.091 MW yang tersebar di seluruh negeri, namun hanya 7,2% yang digunakan, sebagian besar digunakan untuk pembangkit listrik. Pembangkit listrik energi air (PLTA) yang diuji coba ini menyumbang 66% dari total 7 GW pembangkit listrik energi baru dan terbarukan.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah salah satu pembangkit listrik yang banyak dikembangkan di Indonesia. PLTA menggerakkan turbin, yang kemudian memutar generator untuk menghasilkan energi listrik. PLTA memainkan peran penting dalam sistem energi nasional, terutama dalam mendukung transisi menuju sumber daya yang lebih bersih dan berkelanjutan. Hal ini disebabkan oleh banyak keunggulan yang ditawarkan oleh pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dibandingkan dengan pembangkit listrik berbahan

bakar fosil. Salah satu pembangkit listrik tenaga air strategis di Kabupaten Blitar, Jawa Timur, adalah PLTA Wlingi, yang dikelola oleh PT PLN (Persero) Unit Pembangkit Brantas. PLTA ini memiliki kapasitas terpasang 2×27 MW dan terhubung ke sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali. Pembangkit ini menghasilkan energi listrik secara konsisten dan efisien dengan menggunakan air dari bendungan Wlingi dan Lodoyo karena berada di Daerah Aliran Sungai Brantas.

Generator adalah bagian penting dari sistem pembangkit listrik PLTA karena berfungsi untuk mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Generator sinkron tiga fase biasanya digunakan karena memiliki keandalan tinggi dan efisiensi kerja yang tinggi dalam kondisi ideal. Namun, banyak komponen operasional generator dapat memengaruhi efisiensi. Beban listrik yang terhubung pada generator adalah salah satunya[2]. Menurut IEC 60034-1 tahun 2017, standar efisiensi generator sinkron di atas 85%[3].

Pembebanan yang berubah-ubah dalam sistem kelistrikan, baik akibat fluktuasi permintaan maupun kebijakan distribusi daya, akan mempengaruhi kinerja generator. Ketika beban terlalu rendah, efisiensi generator bisa menurun karena rugi-rugi yang bersifat tetap (seperti rugi-rugi inti besi) tetap terjadi meskipun daya keluaran kecil. Sebaliknya, pada beban yang sangat tinggi, rugi-rugi tembaga (karena arus tinggi) meningkat signifikan dan juga menurunkan efisiensi sistem. Oleh karena itu, terdapat titik operasi optimal pada generator di mana efisiensi dapat mencapai nilai maksimal[4].

Selain dipengaruhi oleh beban, efisiensi generator juga sangat berkaitan dengan pengaturan eksitasi serta kestabilan tegangan yang dihasilkan. Untuk menjaga agar tegangan output tetap stabil sesuai dengan standar sistem transmisi, diperlukan pengaturan arus eksitasi yang bersifat dinamis sesuai dengan kondisi beban yang ada. Perbedaan antara eksitasi dan beban dapat mengakibatkan ketidakstabilan tegangan serta peningkatan kerugian daya[5].

Tingkat efisiensi yang rendah pada generator akan secara langsung mempengaruhi kinerja sistem pembangkitan secara keseluruhan, semakin tinggi efisiensi pada generator akan mengindikasikan kinerja generator yang lebih efektif. Sebaliknya, jika efisiensi kerja tidak optimal, kinerja generator menjadi kurang efektif. Efisiensi dapat diartikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (*output*) dan daya masukan (*input*) dalam suatu proses. Ini adalah konsep kunci dalam termodinamika yang membantu menilai sejauh mana

konversi energi yang efisien[6]. Pada proyek besar seperti PLTA Wlingi, penurunan efisiensi beberapa persen saja dapat menyebabkan hilangnya energi dalam jumlah yang signifikan serta menghasilkan kerugian ekonomi yang berarti dalam jangka panjang. Dengan demikian, analisis terhadap efisiensi generator dan faktor-faktor yang mempengaruhinya menjadi penting sebagai dasar evaluasi dan untuk perbaikan sistem operasi pembangkit.

Mengingat pentingnya efisiensi generator dalam sistem pembangkit listrik tenaga air (PLTA), serta adanya tanda bahwa kondisi pembebanan mempengaruhi efisiensi tersebut, maka diperlukan kajian dan analisis yang lebih mendalam. Penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh pembebanan terhadap efisiensi generator di PLTA Wlingi, dengan harapan dapat memberikan data yang tepat dan praktis guna meningkatkan efisiensi operasi pembangkit. Dengan mengetahui bagaimana perubahan efisiensi generator dipengaruhi oleh variasi beban yang diterima, pengelola pembangkit dapat menyusun strategi operasional yang lebih baik, baik dari segi teknis maupun ekonomi. Dalam penelitian ini, fokus analisis efisiensi ditujukan pada generator unit 1 sebagai generator utama, mengingat bahwa unit 2 tidak beroperasi secara konsisten dan hanya diaktifkan saat kebutuhan energi tidak dapat dipenuhi oleh unit 1 sendirian, serta generator unit 1 dan unit 2 memiliki spesifikasi yang sama.

Untuk mendukung analisis kinerja sistem pembangkit listrik dengan lebih tepat, penggunaan perangkat lunak simulasi menjadi langkah yang penting. Salah satu perangkat lunak yang umum digunakan di bidang teknik elektro adalah ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*). ETAP merupakan *software* berbasis komputer yang dirancang untuk melakukan simulasi, analisis, dan optimasi sistem tenaga listrik, baik dalam kondisi normal maupun gangguan. ETAP menyediakan berbagai modul analisis seperti *power flow*, *short circuit*, *transient stability*, *harmonic analysis*, serta analisis efisiensi sistem distribusi dan pembangkitan.

Dalam penelitian ini, ETAP digunakan untuk melakukan simulasi terhadap kondisi operasi generator sinkron pada PLTA Wlingi dengan berbagai variasi pembebanan. Dengan menggunakan data nyata dari *logsheet* operasional harian, simulasi ini dapat menunjukkan bagaimana efisiensi generator berubah seiring perubahan tingkat beban. *Output* dari simulasi ETAP berupa parameter-parameter kelistrikan seperti tegangan, faktor daya, dan rugi-rugi daya, akan menjadi dasar dalam evaluasi performa generator. Dengan analisis ini,

diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai titik operasi optimal yang menghasilkan efisiensi tertinggi.

Keunggulan ETAP terletak pada akurasi perhitungan serta antarmuka grafis yang memudahkan dalam pemodelan sistem nyata. Selain itu, ETAP telah banyak digunakan dalam industri ketenagalistrikan, sehingga hasil dari simulasi yang dilakukan dapat dijadikan sebagai acuan praktis dalam pengambilan keputusan teknis. Oleh karena itu, penggunaan ETAP dalam penelitian ini menjadi alat bantu yang krusial dalam mengidentifikasi hubungan antara pembebanan dan efisiensi kerja generator secara komprehensif dan berbasis data.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dan penjelasan yang telah disampaikan pada latar belakang, maka rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini yaitu:

- a. Seberapa besar rugi-rugi generator pada PLTA Wlingi?
- b. Seberapa besar efisiensi generator pada kondisi beban rendah, menengah dan tinggi?
- c. Bagaimana pengaruh pembebanan terhadap efisiensi generator pada PLTA Wlingi?
- d. Bagaimana hasil perbandingan antara perhitungan manual dengan simulasi menggunakan *software* ETAP?

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menghitung nilai rugi-rugi generator pada PLTA Wlingi.
- b. Menghitung nilai efisiensi generator pada kondisi beban rendah, menengah dan tinggi.
- c. Menganalisis pengaruh pembebanan terhadap efisiensi generator pada PLTA Wlingi.
- d. Untuk menguji hasil perbandingan antara perhitungan manual dengan simulasi menggunakan *software* ETAP.

1.3.2 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bagi Peneliti

Sebagai sebuah salah satu syarat mutlak untuk menyelesaikan pendidikan di S-1 Teknik Elektro Universitas Trunojoyo Madura.

b. Bagi Pengelola PLTA

Memberikan informasi teknis yang dapat dijadikan pertimbangan dalam pengoperasian generator agar dapat bekerja pada kondisi efisiensi optimal.

c. Bagi Akademisi

Menjadi referensi tambahan dalam pengembangan penelitian sejenis di bidang teknik elektro, terutama pada subbidang sistem pembangkitan tenaga listrik.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari pembahasan penelitian ini adalah:

- a. Analisis dilakukan hanya pada generator utama di PLTA Wlingi.
- b. Parameter utama yang dianalisis adalah arus, tegangan, faktor daya dan daya keluran.
- c. Faktor eksternal seperti kondisi mekanik turbin dan sistem kontrol tidak dianalisis secara rinci.
- d. Data yang dianalisis merupakan data operasional harian dengan interval pencatatan setiap satu jam dan dalam rentang waktu 7 hari.

1.5 Metodologi Penulisan Skripsi

Metodologi penulisan skripsi ini disusun untuk memberikan gambaran sistematis mengenai langkah-langkah yang ditempuh dalam penyusunan karya ilmiah ini. Penulisan skripsi dilakukan berdasarkan metode studi literatur dan analisis data sekunder dari lapangan, dengan mengikuti kaidah ilmiah dan sistematika penulisan yang berlaku di lingkungan akademik.

a. Studi Literatur

Penulis melakukan penelusuran terhadap berbagai referensi ilmiah seperti buku teks, jurnal, artikel, standar teknis, laporan penelitian terdahulu, serta dokumen terkait pembangkit listrik tenaga air, generator sinkron, efisiensi energi, dan sistem pembebanan listrik. Tujuannya adalah untuk memperoleh dasar teori dan memperkuat landasan konseptual penelitian.

b. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam skripsi ini diperoleh dari dokumentasi atau *logsheet* harian operasional PLTA Wlingi, yang mencakup parameter kelistrikan dan hidrolik. Data ini digunakan untuk keperluan analisis efisiensi berdasarkan variasi pembebanan.

c. Perhitungan Data

Data yang sudah di kumpulkan kemudian dihitung untuk mengetahui nilai efisiensi pada generator tersebut. Kemudian hasil yang sudah didapatkan akan dilakukan analisa.

d. Simulasi Model Sistem

Untuk mendukung analisis, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP. Model sistem yang dibuat meliputi representasi generator sinkron, variasi pembebanan, dan karakteristik operasional PLTA Wlingi. Simulasi bertujuan untuk memprediksi efisiensi generator pada kondisi pembebanan berbeda serta membandingkan hasil simulasi dengan data aktual lapangan.

e. Tahap Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan untuk mengetahui perbandingan hasil perhitungan menggunakan rumus dengan data yang lapangan dengan hasil simulasi menggunakan ETAP.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan skripsi ini disusun dalam lima bab, dengan sistematika penyajian pada masing-masing bab sebagai berikut:

a. BAB I: PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penulisan, serta sistematika penulisan.

b. BAB II: TEORI PENUNJANG

Berisi tentang teori pendukung penelitian yang akan dilakukan. Teori tersebut ialah teori dengan hasil dari penelitian yang sudah ada sebelumnya

c. BAB III: METODE PENELITIAN

Akan membahas mengenai sumber data beserta bentuk prosedur atau langkah-langkah pengujian yang akan digunakan dalam penelitian ini.

d. BAB IV: HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas terkait analisis serta pembahasan untuk hasil dan perbandingan terhadap teori yang sudah dijabarkan untuk menghasilkan pernyataan yang akan menjawab rumusan masalah serta mencapai tujuan dari penelitian ini. Dengan demikian, manfaat yang diharapkan dapat tercapai.

e. BAB V: PENUTUP

Berisi hasil dari penelitian yang sudah dicapai serta kesimpulan yang didapatkan dari penelitian yang telah dilakukan.

1.7 Jadwal Pelaksanaan

Tabel berikut merupakan jadwal pelaksanaan dalam pengerjaan proposal skripsi sampai dengan sidang skripsi

Tabel 1.1 Jadwal Pelaksanaan

No	Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1.	Studi Literatur						
2.	Pengajuan Proposal Skripsi						
3.	Pelaksanaan Penelitian						
4.	Penyusunan Laporan Skripsi						
5.	Pemeriksaan Laporan Skripsi						
6.	Sidang Skripsi						