

BAB I

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama dalam menunjang kehidupan manusia dan pembangunan suatu negara. Di antara berbagai bentuk energi yang tersedia, energi listrik memiliki peranan yang sangat penting karena hampir seluruh aktivitas rumah tangga, industri, pendidikan, kesehatan, maupun sektor lainnya bergantung pada ketersediaan energi listrik. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk, perkembangan teknologi, serta pertumbuhan sektor industri, kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Oleh karena itu, penyediaan energi listrik yang berkelanjutan menjadi salah satu tantangan utama dalam pembangunan nasional. Kondisi ini mendorong berbagai negara untuk mengembangkan sumber energi yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil yang semakin terbatas [1, 2].

Pemanfaatan energi terbarukan merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik secara berkelanjutan. Dibandingkan dengan energi fosil, energi terbarukan memiliki keunggulan karena berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui serta menghasilkan dampak lingkungan yang lebih rendah. Salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi air. Pemanfaatan energi air sebagai pembangkit listrik tidak hanya mampu menghasilkan energi bersih, tetapi juga memiliki efisiensi konversi energi yang relatif tinggi dibandingkan beberapa sumber energi terbarukan lainnya. Oleh karena itu, pengembangan pembangkit listrik tenaga air skala kecil terus menjadi perhatian dalam mendukung ketahanan energi nasional [3].

Indonesia merupakan negara yang memiliki potensi sumber daya air yang sangat besar, terutama berupa sungai, saluran irigasi, dan aliran air pegunungan yang tersebar hampir di seluruh wilayah. Provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu daerah yang memiliki kondisi geografis berbukit dengan banyak aliran sungai

yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Namun demikian, potensi tersebut masih belum dimanfaatkan secara optimal, khususnya untuk memenuhi kebutuhan listrik pada daerah-daerah yang belum terjangkau jaringan listrik secara memadai. Oleh karena itu, pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil menjadi salah satu alternatif yang menjanjikan karena memiliki investasi yang relatif rendah, ramah lingkungan, serta dapat diterapkan pada wilayah dengan potensi sumber daya air yang tersedia [4].

Salah satu jenis pembangkit listrik tenaga air skala kecil adalah pembangkit listrik tenaga pikohidro yang memiliki kapasitas daya hingga sekitar 5 kW. Sistem ini memanfaatkan energi potensial air menjadi energi mekanik melalui turbin air, kemudian diubah menjadi energi listrik menggunakan generator atau alternator. Keunggulan sistem pikohidro antara lain memiliki konstruksi yang relatif sederhana, biaya operasi yang rendah, mudah dioperasikan, serta sesuai untuk daerah dengan potensi *head* dan debit yang terbatas. Meskipun demikian, salah satu kendala utama dalam pengembangan sistem pikohidro adalah harga turbin air yang relatif mahal serta proses fabrikasinya yang memerlukan ketelitian dan biaya yang cukup tinggi [1].

Turbin air merupakan komponen utama dalam sistem pembangkit listrik tenaga air karena berfungsi mengubah energi hidraulik menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran tersebut selanjutnya digunakan untuk menggerakkan generator atau alternator sehingga menghasilkan energi listrik. Kinerja turbin sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi, seperti *head*, debit aliran, serta karakteristik pembebanan yang diberikan pada sistem pembangkit. Oleh karena itu, diperlukan alternatif turbin yang lebih sederhana, mudah diperoleh, dan memiliki biaya yang lebih rendah tanpa mengurangi kemampuan dalam mengonversi energi air menjadi energi listrik [5].

Salah satu alternatif yang dapat dimanfaatkan sebagai turbin air adalah penggunaan impeller hasil modifikasi yang memiliki karakteristik sudu menyerupai turbin hidraulik. Bentuk sudu pada impeller tersebut memungkinkan energi aliran air diubah menjadi energi mekanik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai penggerak sistem pembangkit listrik skala kecil. Selain mudah diperoleh, komponen ini memiliki biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan turbin air komersial

sehingga berpotensi menjadi solusi ekonomis dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga air skala kecil. Penggunaan turbin air hasil modifikasi tersebut diharapkan mampu menekan biaya investasi tanpa mengurangi fungsi utama sistem pembangkit.

Meskipun beberapa penelitian telah mengkaji pemanfaatan turbin air hasil modifikasi sebagai penggerak sistem pembangkit listrik, kajian mengenai pengaruh variasi *head* dan variasi beban listrik terhadap kinerja sistem masih relatif terbatas. Padahal, perubahan *head* akan memengaruhi energi hidraulik yang tersedia untuk memutar turbin, sedangkan perubahan beban listrik akan memengaruhi torsi elektromagnetik alternator, putaran turbin, tegangan keluaran, daya listrik yang dihasilkan, serta efisiensi sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, analisis terhadap kedua parameter tersebut menjadi penting untuk mengetahui karakteristik operasi sistem pada berbagai kondisi pembebanan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Konversi Energi, Departemen Teknik Mesin, Universitas Andalas, dengan memanfaatkan turbin air hasil modifikasi yang dihubungkan dengan alternator 24 V dan inverter DC-AC sebagai sistem pembangkit listrik skala laboratorium. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan *head* sebesar 6 m, 8 m, 10 m, dan 12 m serta beban listrik secara bertahap menggunakan lampu pijar berdaya nominal 100 W. Variasi beban yang digunakan adalah 100 W, 200 W, 300 W, 400 W, 500 W, dan 600 W, yang masing-masing terdiri dari satu hingga enam lampu. Parameter yang diamati meliputi putaran turbin, tegangan dan arus keluaran DC alternator, daya keluaran DC alternator, tegangan dan arus keluaran AC inverter, daya keluaran AC inverter, serta efisiensi sistem. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik kinerja sistem turbin air pada berbagai kondisi operasi serta menjadi salah satu referensi dalam pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil yang sederhana, ekonomis, dan mudah diterapkan.

Perumusan masalah

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi *head* 6 m, 8 m, 10 m, dan 12 m terhadap putaran turbin pada sistem pembangkit listrik tenaga air?
2. Bagaimana pengaruh variasi beban listrik 100 W, 200 W, 300 W, 400 W, 500 W, dan 600 W terhadap putaran turbin dan tegangan keluaran AC inverter?
3. Bagaimana karakteristik daya keluaran DC alternator pada berbagai variasi *head* dan beban listrik?
4. Bagaimana karakteristik daya keluaran AC inverter pada berbagai variasi *head* dan beban listrik?
5. Bagaimana karakteristik efisiensi sistem pada berbagai variasi *head* dan beban listrik serta pada beban berapa diperoleh efisiensi tertinggi pada masing-masing variasi *head*?

1.3 Tujuan

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi *head* 6 m, 8 m, 10 m, dan 12 m terhadap putaran turbin pada sistem pembangkit listrik tenaga air.
2. Menganalisis pengaruh variasi beban listrik 100–600 W terhadap putaran turbin dan tegangan keluaran AC inverter.
3. Menganalisis daya keluaran DC alternator pada berbagai variasi *head* dan beban listrik.
4. Menganalisis daya keluaran AC inverter pada berbagai variasi *head* dan beban listrik.
5. Menganalisis efisiensi sistem pembangkit listrik tenaga air pada berbagai variasi *head* dan beban listrik serta menentukan kondisi pembebanan dengan efisiensi tertinggi pada setiap variasi *head*.

1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai karakteristik kinerja sistem pembangkit listrik tenaga air menggunakan turbin air sebagai penggerak alternator pada berbagai variasi *head* dan beban listrik. Selain

itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kondisi operasi yang menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik berdasarkan parameter putaran turbin, tegangan keluaran AC inverter, daya keluaran alternator, daya keluaran inverter, dan efisiensi sistem. Apabila hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kinerja sistem masih belum optimal, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan dan penyempurnaan desain sistem turbin air pada penelitian selanjutnya sehingga dapat meningkatkan kinerja sistem pembangkit listrik tenaga air skala kecil.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dilakukan pada sistem pembangkit listrik tenaga air menggunakan turbin air sebagai penggerak alternator yang diuji di Laboratorium Konversi Energi, Departemen Teknik Mesin, Universitas Andalas.
2. Variasi *head* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 6 m, 8 m, 10 m, dan 12 m, sedangkan variasi beban listrik yang diberikan adalah 100 W, 200 W, 300 W, 400 W, 500 W, dan 600 W.
3. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi putaran turbin (N), tegangan *output* AC inverter (V_{ac}), daya *output* alternator (P_{dc}), daya *output* inverter (P_{ac}), dan efisiensi sistem (η).
4. Penelitian ini tidak membahas proses perancangan maupun optimasi desain turbin air, alternator, dan inverter, tetapi hanya berfokus pada pengujian dan analisis kinerja sistem berdasarkan variasi *head* dan beban listrik yang diberikan.
5. Penelitian ini tidak melakukan pengujian performa mekanis (*mechanical performance*) turbin air dan alternator, seperti pengukuran torsi, daya poros, maupun efisiensi mekanis, tetapi hanya berfokus pada analisis parameter kinerja listrik sistem.
6. Penelitian ini tidak membahas aspek ekonomi, analisis biaya, umur pakai komponen, maupun kelayakan implementasi sistem pada kondisi lapangan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab utama. Bab I, Pendahuluan, memuat Latar Belakang penelitian, Perumusan Masalah, Tujuan, Manfaat, Batasan Permasalahan, Asumsi-asumsi yang digunakan, serta Sistematika Penulisan laporan secara keseluruhan. Bab II, Tinjauan Pustaka, berisi landasan teori yang relevan dan mendukung eksperimen, sekaligus menjadi acuan dasar dalam proses pengujian dan analisis data. Bab III, Metodologi, menjelaskan tahapan penelitian yang mencakup desain eksperimen, prosedur pengujian, metode pengumpulan data, serta teknik pengolahan dan analisis data yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Selanjutnya, Bab IV, Hasil dan Pembahasan, memaparkan data hasil pengujian, proses pengolahan, serta pembahasan atas temuan yang diperoleh. Terakhir, Bab V, Penutup, menyajikan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta memberikan saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

