

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterbatasan bahan bakar fosil dan kekhawatiran terhadap keberlanjutan mengharuskan perubahan dalam cara energi dihasilkan dan digunakan. Berbagai jenis sumber energi terbarukan tersedia di seluruh dunia, seperti tenaga surya, angin, panas bumi, dan tenaga air yang menyumbang 22,8% dari produksi listrik global [1][2][3][4]. Meskipun peluang untuk pembangkit listrik tenaga air skala besar telah habis [5], pembangkit tenaga air tetap menjadi sumber energi terbarukan utama. Terdapat potensi besar untuk produksi tenaga air skala kecil di sungai kecil, sistem irigasi, jaringan air minum, jaringan limbah, sistem pendingin, dan lainnya. Banyak negara baru-baru ini mulai memasang pembangkit tenaga air skala kecil, seperti yang dilaporkan dalam [6]. Namun, produksinya hanya menyumbang 3–4% dari total kebutuhan energi [7], yang berarti hanya sebagian kecil dari potensi yang ada memadai.

Salah satu teknologi yang paling potensial untuk kondisi ini adalah *archimedes screw turbine* (Archimedes Screw), yang dikenal mampu beroperasi secara efisien pada *head* dan debit air yang rendah [7]. Selain menjadi struktur yang ramah lingkungan dan ramah ikan untuk pembangkitan tenaga dengan instalasi sederhana dan sedikit pekerjaan sipil, perbandingan antara AST dan turbin Kaplan untuk pembangkit tenaga air skala kecil menunjukkan bahwa AST menghasilkan lebih banyak energi (15%) dengan biaya lebih rendah (10%). Selain itu, AST dapat digunakan bersama dengan sumber daya lainnya, seperti matahari, seperti yang diteliti dalam [8].

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengkaji pengaruh parameter desain terhadap kinerja *archimedes screw turbine* (AST). Simmons et al. [9] menunjukkan bahwa sudut kemiringan berpengaruh terhadap daya keluaran AST pada kondisi *head* konstan. Selain sudut kemiringan, parameter geometri dan operasi seperti *pitch ratio*, *radius ratio*, diameter luar, debit aliran, dan jumlah *blade* juga menjadi aspek penting dalam kajian desain AST [10][11][12]. Dalam penelitian ini, sudut peletakan turbin ditetapkan sebagai parameter tetap, sedangkan jumlah *blade* dipilih sebagai variabel utama yang dianalisis.

Kajian mengenai jumlah *blade* pada AST telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Maulana et al. [12] menganalisis pengaruh jumlah *blade* terhadap pola aliran dan distribusi tekanan pada AST menggunakan pendekatan CFD dengan variasi 1, 2, 3, dan 4 *blade*. Model geometri yang digunakan dalam penelitian tersebut ditampilkan dalam posisi horizontal, sedangkan fokus utama kajiannya adalah perubahan distribusi tekanan akibat variasi jumlah *blade*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan jumlah *blade* memengaruhi distribusi tekanan di sepanjang turbin, serta bahwa konfigurasi dua *blade* menghasilkan distribusi penurunan tekanan yang lebih seragam sehingga dinilai lebih stabil. Erinofiardi et al. [13] menggunakan metode eksperimen dengan meneliti variasi 1, 2, dan 3 *blade* pada kondisi *head* sangat rendah, serta menunjukkan bahwa peningkatan jumlah *blade* dapat meningkatkan efisiensi turbin pada kondisi operasi tertentu. Pada analisis model yang lebih luas, penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa daya keluaran tidak selalu meningkat secara terus-menerus seiring bertambahnya jumlah *blade*. Anggara [14] mengkaji variasi 4, 6, dan 9 *blade* menggunakan simulasi CFD pada AST posisi horizontal. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan jumlah *blade* dapat meningkatkan torsi, tetapi juga diikuti oleh peningkatan *pressure loss*. Dengan demikian, jumlah *blade* merupakan parameter penting yang berpengaruh terhadap performa AST, namun pengaruhnya bergantung pada konfigurasi geometri, posisi turbin, metode simulasi, dan kondisi operasi yang digunakan.

Berdasarkan beberapa kajian tersebut, masih terdapat celah pengetahuan mengenai pengaruh variasi jumlah *blade* secara berurutan terhadap performa AST pada konfigurasi sudut tertentu. Penelitian terdahulu belum secara khusus membandingkan variasi jumlah *blade* 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 pada konfigurasi sudut peletakan turbin yang sama menggunakan pendekatan CFD dengan metode *Multiple Reference Frame*. Padahal, variasi berurutan diperlukan untuk melihat kecenderungan perubahan torsi dan daya secara bertahap, serta untuk mengidentifikasi kemungkinan jumlah *blade* yang memberikan performa terbaik sebelum penambahan *blade* berpotensi meningkatkan hambatan aliran. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan untuk menganalisis pengaruh variasi jumlah *blade* 1 sampai 6 terhadap torsi, daya, efisiensi turbin, dan kenaikan daya AST. Sudut

peletakan turbin 22° digunakan sebagai parameter tetap agar pengaruh jumlah *blade* dapat diamati secara lebih terarah.

Metode yang digunakan adalah simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan *ANSYS Fluent* dengan pendekatan *Multiple Reference Frame* (MRF). *Multiple Reference Frame* (MRF) adalah metode dalam simulasi CFD yang digunakan untuk mensimulasikan aliran fluida pada sistem yang melibatkan bagian yang berputar, seperti turbin. Dalam metode ini, seluruh domain simulasi dibagi menjadi beberapa zona, di mana masing-masing zona menggunakan sistem referensi yang berbeda. Dengan cara ini, aliran fluida di sekitar komponen yang berputar dapat dianalisis tanpa memerlukan perhitungan dinamis waktu nyata yang kompleks. Hal ini mengurangi waktu komputasi, tetapi tetap memberikan hasil yang cukup akurat untuk aplikasi seperti turbin atau pompa yang berputar.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi secara teoretis dan praktis. Secara teoretis, penelitian ini mengisi celah literatur mengenai hubungan antara jumlah *blade* dan kinerja AST. Secara praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan awal dalam perancangan AST dengan jumlah *blade* yang lebih optimal, sehingga dapat mendukung pemanfaatan energi air ber-*head* rendah sebagai sumber energi terbarukan skala kecil hingga menengah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disampaikan, maka rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah *blade* (1-6) pada *archimedes screw turbine* (AST) terhadap torsi dan daya yang dihasilkan dalam kondisi operasi yang sama?
2. Bagaimana pengaruh variasi jumlah *blade* terhadap efisiensi turbin dan kenaikan daya *archimedes screw turbine* (AST), serta konfigurasi jumlah *blade* mana yang menghasilkan performa terbaik pada rentang variasi yang diuji?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah, sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi jumlah *blade* (1-6) pada turbin *archimedes screw turbine* (AST) terhadap torsi dan daya yang dihasilkan dalam kondisi operasi yang sama.
2. Menganalisis efisiensi turbin dan kenaikan daya dari setiap variasi jumlah *blade* untuk menentukan konfigurasi jumlah *blade* yang menghasilkan performa terbaik pada rentang variasi yang diuji.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Memberikan pemahaman mengenai pengaruh jumlah *blade* terhadap torsi, daya, dan efisiensi *Archimedes screw turbine* (AST), khususnya pada kondisi operasi dan geometri turbin yang dijaga konstan.
2. Menjadi acuan awal dalam perancangan AST dengan variasi jumlah *blade* yang lebih optimal untuk pemanfaatan energi air ber-*head* rendah.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada perancangan dan simulasi *Archimedes screw turbine* (AST) dengan variasi jumlah *blade* 1, 2, 3, 4, 5, dan 6. Parameter geometri utama pada model turbin dijaga konstan agar pengaruh jumlah *blade* terhadap torsi, daya, efisiensi turbin, dan kenaikan daya dapat diamati secara terarah.
2. Simulasi dilakukan menggunakan ANSYS Fluent 2021R2 dengan pendekatan Computational Fluid Dynamics (CFD) melalui metode Multiple Reference Frame (MRF). Kondisi operasi simulasi dijaga tetap, yaitu sudut peletakan turbin 22° , laju aliran massa inlet 1,2 kg/s, serta kecepatan sudut rotor 106 rpm atau 11,10 rad/s.
3. Simulasi dilakukan pada domain tiga dimensi (3D) menggunakan model turbulensi $k-\omega$ SST dalam kondisi *steady-state*. Penelitian ini tidak mencakup simulasi transient, pembuatan prototipe fisik, pengujian eksperimental, analisis struktur, analisis biaya, sistem transmisi, maupun generator.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, yaitu:

1. Bab I Pendahuluan: memuat latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan penelitian, serta sistematika penulisan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka: berisi penjelasan mengenai teori-teori, konsep dasar, serta hasil penelitian terdahulu yang relevan sebagai landasan ilmiah dalam menyusun tugas akhir ini.
3. Bab III Metode Penelitian: memuat penjelasan mengenai simulasi, langkah pelaksanaan, serta cara analisis data.
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan: pada bab ini, menjelaskan tentang hasil dari simulasi analisis torsi, daya optimal dan efisiensi dari variasi jumlah *blade*
5. Bab V Penutup: bab ini berisi kesimpulan dari penelitian yang merangkum jawaban atas rumusan masalah dan pencapaian tujuan penelitian.

