

BAB I

PENDAHULUAN

Turbin air adalah turbin yang menggunakan fluida kerja air. Air mengalir dari tempat tinggi ke tempat rendah. Dalam hal tersebut air memiliki energi potensial. Dalam proses aliran di dalam pipa energi potensial berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin, energi kinetik air diubah menjadi energi mekanis, di mana air memutar roda turbin (Dietzel, 1993). Salah satu turbin air yang sudah dikembangkan adalah PLMTH. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik tenaga air yang memiliki kapasitas listrik tidak lebih dari 200 kW. PLTMH memiliki komponen utama sebagai penghasil energi listrik antara lain yaitu air sebagai sumber energi listrik, turbin, dan generator. Salah satu contoh jenis PLTMH yang biasanya banyak digunakan yaitu kincir air, turbin *crossflow*, dan turbin Pelton (Effendi et al., 2020). Salah satu penerapannya adalah penggunaan turbin Pelton sebagai jenis PLTMH. Lebih lanjut, Daya keluaran turbin memiliki hubungan linear dengan ketinggian jatuh air dan debit aliran, dimana kinerja dinamis dapat berubah ketika pembangkit listrik tenaga air dioperasikan pada kecepatan yang berubah-ubah (Reigstad and Uhlen, 2020). Variabel geometris seperti ketinggian turbin (Hasanzadeh et al., 2021) berperan penting dalam optimasi sistem, mengingat Model Euler mempertimbangkan ketergantungan aliran air pada kecepatan putar turbin dan menghitung daya turbin sebagai fungsi non-linear dari aliran air, kecepatan putar turbin, dan bukaan baling-baling pemandu (Reigstad dan Uhlen, 2020). Peningkatan ketinggian turbin

memberikan efek positif pada efisiensi sistem (Hasanzadeh et al., 2021). Optimasi desain turbin berdasarkan karakteristik aliran dan kondisi operasional spesifik dapat menghasilkan peningkatan signifikan dalam efisiensi keseluruhan sistem.

1.1 Latar Belakang

Turbin air merupakan perangkat yang sangat penting dalam konversi energi, berfungsi untuk mengubah energi kinetik dan potensi dari aliran air menjadi energi mekanis. Dalam konteks pembangkit listrik, turbin air digunakan untuk memanfaatkan sumber daya air yang tersedia, baik di daerah dengan kemiringan aliran yang curam maupun di lokasi di mana waduk dapat dibangun. Dengan memanfaatkan energi air secara efisien, turbin air berkontribusi signifikan terhadap penyediaan energi terbarukan.

Salah satu jenis turbin air adalah turbin Pelton. Turbin Pelton termasuk dalam kelompok jenis turbin impuls dengan karakteristik pemasukan sebagian aliran air ke dalam *runner* pada tekanan atmosfer. Turbin ini dirancang khusus untuk beroperasi dalam kondisi di mana air mengalir dengan kecepatan tinggi dan memiliki *head* yang besar. Menurut (Bhattarai et al., 2019) turbin Pelton sangat efektif dalam mengekstrak energi dari impuls air yang bergerak, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi di daerah dengan kemiringan aliran yang curam. Daya turbin air bergantung pada ketinggian air jatuh (*head*), kapasitas aliran air dan putaran turbin (Soplanit et al., 2016).

Komponen utama dari turbin Pelton terdiri dari sistem pompa, nosel, dan *runner*. Sistem pompa berfungsi untuk menghasilkan energi kinetik fluida,

sedangkan nosel berperan dalam meningkatkan efisiensi dengan mengonversikan energi tekanan menjadi energi kinetik berkecepatan tinggi. *Head* yang signifikan menciptakan tekanan air yang tinggi saat mencapai nosel, yang mengubah air menjadi jet kinetik berkecepatan tinggi (Setyawan et al., 2024). Jet air ini kemudian digunakan untuk memutar *runner* turbin Pelton, di mana *runner* dan sudu mengkonversi momentum jet air menjadi energi mekanik. Turbin Pelton memiliki efisiensi yang dianggap sekitar 82-85% dalam kondisi laboratorium, tetapi secara matematis, hingga 96% energi dapat dimanfaatkan (Bhattarai et al., 2019).

Turbin Pelton dituntut memiliki desain yang mampu mengakomodir proses konversi energi dari momentum jet air menjadi energi mekanik. Sebagai konverter momentum jet air menjadi energi mekanik, turbin harus mampu menerima tumbukan jet air berkecepatan tinggi serta bekerja dengan pembebanan yang bersifat kontinu, khususnya pada bagian sudu yang menerima gaya dan pembebanan secara langsung. Sudu-sudu turbin yang terus menerus mengalami kontak dengan *water jet* seiring berjalannya waktu dapat mengalami kerusakan. Gaya jet ini menghasilkan beban kelelahan utama yang mengulangi siklus beban selama operasi sehingga timbul tegangan-tegangan pada sudu hingga menjadi kelelahan (Li Ji-Qing, 2017). Dalam studi komprehensif yang dilakukan, (Egusquiza et al., 2018) mengidentifikasi bahwa kerusakan akibat kelelahan material pada sudu *runner* merupakan masalah yang paling kritis. Kelelahan yang terjadi dapat menyebabkan deformasi dan kerusakan pada sudu turbin. Dengan terjadinya kerusakan tersebut, kinerja turbin akan menurun sehingga daya yang dihasilkan oleh putaran turbin tidak maksimal. Hasil investigasi (Egusquiza et al.,

2018) menunjukkan bahwa permasalahan *fatigue* umumnya dapat dipicu oleh desain *runner* yang kurang optimal, operasi di luar kondisi desain, atau ketidaksesuaian antara sudu *runner* dengan *water jet*, yang dapat mengakibatkan pembebanan aksial tidak seimbang dan berpotensi menimbulkan keretakan. Perancangan turbin, terkhusus pada komponen sudu turbin menjadi tahapan yang krusial untuk menjamin kesesuaian kemampuan turbin terhadap kondisi kerja sebenarnya yang mungkin terjadi pada sistem turbin Pelton.

Analisis struktur pada desain sudu turbin menjadi bagian penting dalam rangkaian proses perancangan turbin Pelton. Analisis struktur dilakukan pada model tiga dimensi sudu dengan menggunakan *software* ANSYS. Metode analisis struktur yang digunakan yaitu dengan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA). Simulasi ini memungkinkan untuk memvisualisasikan evaluasi desain, kekuatan struktural, deformasi, dan faktor keamanan komponen (Fajrin et al., 2022). Melalui simulasi FEA, rancangan desain sudu turbin disimulasikan sesuai dengan parameter-parameter pada kondisi sebenarnya seperti material yang digunakan, kondisi batas yang terjadi, maupun gaya-gaya yang bekerja pada sudu turbin tersebut. Dengan demikian, akan semakin mudah dalam menentukan desain yang sesuai sekaligus mengidentifikasi *properties* dari desain yang dirancang, sebelum melanjutkan ke proses fabrikasi.

Saat ini di Laboratorium Konversi Energi Program Studi Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro belum tersedia *test bed* turbin Pelton, sehingga pemahaman tentang prinsip kerja turbin Pelton dan energi terbarukan belum maksimal. *Test bed* telah dirancang untuk memungkinkan

pengembangan teknologi manufaktur cerdas dengan fokus khusus pada sistem turbin Pelton poros horizontal yang mengintegrasikan instrumen pengukuran dan peralatan pengujian untuk penelitian konversi energi yang komprehensif. Maka dari itu dilaksanakan proyek akhir berupa rancang bangun *test bed* turbin Pelton poros horizontal untuk lab konversi energi.

Pada proyek akhir ini, analisis kekuatan struktur dan *fatigue* desain sudu turbin Pelton menjadi fokus utama. Analisis tersebut merupakan salah satu tahap perancangan turbin dalam rancang bangun *test bed* turbin Pelton poros horizontal. Dengan demikian, melalui proyek akhir ini diharapkan bahwa desain sudu turbin yang akan diimplementasikan mampu mengakomodir kinerja sistem turbin pada rancangan *test bed* turbin Pelton poros horizontal.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah untuk proyek akhir dengan judul "Analisis Kekuatan Struktur Sudu Turbin Pelton Poros Horizontal":

- a. Bagaimana memodelkan sudu turbin Pelton poros horizontal untuk simulasi FEA?
- b. Bagaimana performa kekuatan struktur pada desain sudu turbin Pelton poros horizontal berdasarkan hasil simulasi FEA?
- c. Bagaimana geometri desain sudu yang optimal untuk sistem *test bed* turbin Pelton poros horizontal?

1.3 Tujuan

Tujuan dari proyek akhir dengan judul "Analisis Kekuatan Struktur Sudu Turbin Pelton Poros Horizontal":

- a. Memodelkan sudu turbin Pelton poros horizontal untuk simulasi FEA.
- b. Mengidentifikasi kekuatan struktur sudu turbin berdasarkan interpretasi hasil simulasi FEA yang telah dilakukan.
- c. Menentukan desain sudu yang optimal untuk sistem *test bed* turbin Pelton poros horizontal.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diterapkan pada proyek akhir dengan judul “Analisis Kekuatan Struktur Sudu Turbin Pelton Poros Horizontal”:

- a. Perancangan *test bed* turbin Pelton dengan poros horizontal dibuat untuk skala laboratorium.
- b. Terdapat tiga geometri sudu turbin Pelton yang berbeda sebagai opsi desain yang akan digunakan.
- c. Simulasi FEA dilakukan pada setiap desain sudu turbin menggunakan *software* ANSYS.
- d. Pengaturan simulasi FEA yang diaplikasikan berdasarkan kondisi kerja maksimum sistem *test bed* turbin Pelton poros horizontal yang dirancang.
- e. Gaya yang terjadi pada permukaan sudu diterapkan pada lima sampel posisi sudu ketika terkena gaya.

- f. Sudu difabrikasi dengan bahan resin fotopolimer *hard-tough* menggunakan mesin 3D *printer*.

1.5 Luaran

Berikut adalah luaran yang diharapkan dari proyek akhir dengan judul "Analisis Kekuatan Struktur Sudu Turbin Pelton Poros Horizontal":

- a. Hak Kekayaan Intelektual (HAKI):

Pengajuan pendaftaran HAKI untuk desain dan rancangan *test bed* turbin Pelton poros horizontal sebagai inovasi alat uji yang dapat digunakan dalam penelitian dan pembelajaran di laboratorium konversi energi.

- b. Modul Pembelajaran

Pengembangan modul pembelajaran yang berisi panduan dan materi terkait penggunaan *test bed* turbin Pelton untuk keperluan praktikum atau penelitian di laboratorium konversi energi.

- c. *Test bed* Turbin Pelton

Prototipe *test bed* turbin Pelton poros horizontal yang telah dirancang dan dibangun untuk melakukan pengujian dan analisis kinerja turbin dalam berbagai kondisi operasi di laboratorium konversi energi.

- d. Artikel Ilmiah

Penyusunan artikel ilmiah tentang analisis struktur sudu turbin Pelton yang selanjutnya dipublikasikan di jurnal/konferensi yang relevan.