

BAB I

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga air bukanlah teknologi baru di Indonesia, seperti yang terlihat dari penggunaannya di Indonesia. Pembangkit listrik tenaga air tetap menjadi teknologi terbarukan yang hemat biaya dan dapat diandalkan (Kurniawan, Pradheksa and Saleh, 2024). Di Indonesia, 10,68% dari total energi listrik dihasilkan oleh sistem pembangkit tenaga air. Sistem pembangkit tenaga air yang dapat menghasilkan daya hingga 100 kW disebut Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) (Anugrah *et al.*, 2015). PLTMH memiliki komponen utama sebagai penghasil energi listrik antara lain yaitu air sebagai sumber energi listrik, pipa *penstock*, turbin, dan generator. Energi potensial air dirubah menjadi energi kinetik pada pipa *penstock* sehingga dapat memutarakan turbin dan menghasilkan energi listrik. Oleh sebab itu, daya yang dihasilkan oleh PLTMH bergantung pada debit dan ketinggian air jatuh (*head*) (Albar and Windarta, 2022).

1.1. Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga air merupakan energi terbarukan dan pendekatan berkelanjutan untuk menghasilkan energi. Pada skala mikro hidro (PLTMH), dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk menghasilkan listrik di beberapa daerah terpencil (Zamora-Juárez *et al.*, 2023). Pemanfaatan energi PLTMH terdapat berbagai jenis yang biasanya banyak digunakan yaitu kincir air, turbin *Crossflow*, dan turbin Pelton (Yafid Effendi , Ali Rosyidin, 2020). Turbin Pelton termasuk dalam kelompok jenis turbin *impuls* dengan prinsip kerja aliran air masuk menuju

runner turbin pada tekanan atmosfer sehingga dapat memutar turbin tersebut. Turbin Pelton dirancang untuk beroperasi dalam kondisi debit dan aliran fluida tinggi. Menurut (Suyesh *et al.*, 2019) turbin Pelton sangat efektif dalam menghasilkan energi dari gaya *impuls* air yang bergerak, menjadikan pilihan yang tepat untuk digunakan di daerah dengan kemiringan aliran yang curam.

Studi eksperimental yang dilakukan oleh (Elgammi and Hamad, 2022), menunjukkan bahwa konversi energi kinetik dan potensial air menjadi energi yang bermanfaat dapat dicapai melalui sistem turbin Pelton. Lebih lanjut, penelitian yang dilakukan (Wisnaningsih and Tarmizi, 2021) mengungkapkan bahwa turbin merupakan bagian penting dari sistem yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi energi putaran/energi mekanik. Proses konversi energi terjadi ketika air dilepaskan melewati turbin Pelton yang kemudian akan memutar sumbu turbin Pelton yang terhubung dengan generator untuk menghasilkan energi listrik.

Komponen utama dari turbin Pelton terdiri dari sistem aliran air, *nozzle*, dan *runner*. Aliran air berfungsi untuk menghasilkan energi kinetik yang bertujuan untuk menggerakkan turbin, sedangkan *nozzle* berfungsi memancarkan aliran sehingga mengonversikan energi tekanan menjadi energi kinetik berkecepatan tinggi. *Head* yang semakin tinggi menciptakan tekanan air yang tinggi saat mencapai *nozzle*, yang mengubah semburan air menjadi semburan kinetik berkecepatan tinggi (Setyawan *et al.*, 2024). Semburan air ini kemudian digunakan untuk memutar *runner* turbin Pelton, di mana *runner* dan *bucket* mengkonversi momentum semburan air menjadi energi mekanik.

Turbin Pelton bekerja secara efektif dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti tinggi *head* air, sudut sudu (*angle of deflection*), kecepatan aliran, jumlah *nozzle*, jumlah sudu, berat turbin, dan lain-lain (Mahardika *et al.*, 2024). Jumlah sudu turbin Pelton berdampak pada gaya tangensial turbin, sehingga menghasilkan gaya resultan lebih besar yang memungkinkan untuk pengurangan gaya tangensial pada setiap sudu (Mafruddin *et al.*, 2020). Hal ini memungkinkan peningkatan putaran, daya, dan efisiensi pada turbin Pelton.

Turbin Pelton memiliki efisiensi yang dianggap sekitar 82-85% dalam kondisi laboratorium, tetapi secara matematis, hingga 96% energi dapat dimanfaatkan (Suyesh *et al.*, 2019). Dalam konteks alat uji laboratorium (*test bed*) turbin Pelton, *test bed* telah dirancang untuk memungkinkan pengembangan teknologi cerdas, dengan fokus khusus pada sistem turbin Pelton poros horizontal untuk mengintegrasikan instrumen pengukuran dan peralatan pengujian penelitian konversi energi yang komprehensif (Helu and Hedberg, 2015). Sistem *test bed* turbin Pelton merupakan rangkaian komponen yang terintegrasi untuk simulasi dan pengujian performa turbin.

Saat ini di Laboratorium Konversi Energi Program Studi Sarjana Terapan Rekayasa Perancangan Mekanik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro belum tersedia *test bed* turbin Pelton, sehingga pemahaman tentang potensi *renewable energy* khususnya PLTMH belum dipahami secara maksimal. *Test bed* turbin Pelton ini berfungsi sebagai sarana mahasiswa agar memahami pembelajaran dan praktikum prinsi kerja turbin Pelton. Komponen-komponen *test bed* turbin Pelton mencakup pengumpulan data sistematis melalui instrumen seperti *flowmeter*, *pressure gauge*, *tachometer*, dan *torque meter*.

Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Asrori, Adikusuma and Yudiyanto, 2022) menunjukkan bahwa pada kondisi tekanan maksimum aliran fluida pada *penstock* sebesar 2 bar, debit air berkisar 10 – 24 liter/menit, diameter *nozzle* 0,5 inci, dan 1 (satu) *nozzle* diperoleh daya *output* generator sebesar 75,7 watt. Sedangkan pada penelitian (Mafruddin *et al.*, 2020) menyatakan daya turbin maksimal yang diperoleh dengan menggunakan jumlah sudu 21, debit air 0,06 m³/s, dan diameter *nozzle* 8 mm didapatkan daya sebesar 2,15 watt. Sedangkan jumlah sudu 23, dan diameter *nozzle* 10 mm menghasilkan daya sebesar 1,41 watt dalam skala laboratorium. Oleh karena itu jumlah sudu dan diameter *nozzle* berpengaruh terhadap daya turbin Pelton.

Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, rancang bangun *test bed* turbin Pelton yang dirancang oleh penulis dalam penelitian ini memiliki kebaruan yaitu, sistem poros horizontal untuk fleksibilitas pengujian, penggunaan sistem konfigurasi seri-paralel pada pompa sentrifugal untuk kondisi *head* dan debit yang berbeda, jumlah *bucket* yang divariasikan, dan konfigurasi 2 (dua) *nozzle* untuk optimasi efisiensi.

1.2. Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah untuk tugas akhir penulis dengan judul “Rancang Bangun *Test Bed* Turbin Pelton Poros Horizontal dan Uji Kinerja pada *Head* 10 Meter”:

1. Bagaimana merancang (perhitungan, *drawing*, dan pabrikan) *test bed* turbin Pelton poros horizontal yang sesuai untuk digunakan pada skala laboratorium?

2. Bagaimana pengaruh variasi debit air terhadap kinerja turbin Pelton pada *test bed* yang telah dirancang?
3. Bagaimana pengaruh variasi jumlah *bucket* pada *runner* terhadap performa turbin Pelton?

1.3. Batasan Masalah

1. Perancangan *test bed* turbin Pelton dengan poros horizontal dibuat untuk skala laboratorium,
2. Material yang digunakan untuk *bucket* yaitu resin eSUN *hard-tough*,
3. Pengujian variasi debit air yang digunakan yaitu $2 \text{ m}^3/\text{h}$ sampai $6 \text{ m}^3/\text{h}$ dengan rentang $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$,
4. Sudut defleksi *bucket* (*angle of deflection*) bernilai 8° ,
5. Pengujian dilakukan pada kondisi *head* 10 meter dengan jenis pompa sentrifugal diameter *outlet* $1 \frac{1}{2}$ inch.

1.4. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun *Test Bed* Turbin Pelton Poros Horizontal dan Uji Kinerja pada *Head* 10 Meter” yaitu:

1. Merancang dan membangun *test bed* turbin Pelton poros horizontal yang sesuai untuk keperluan penelitian dan pembelajaran pada skala laboratorium,
2. Menganalisis pengaruh variasi debit air terhadap efisiensi sistem turbin Pelton pada *test bed* yang telah dirancang,
3. Mengidentifikasi dampak variasi jumlah *bucket* pada *runner* terhadap performa turbin Pelton.

1.5. Luaran

Berikut adalah luaran yang diharapkan dari tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun *Test Bed* Turbin Pelton Poros Horizontal dan Uji Kinerja pada *Head* 10 Meter”:

1. Laporan proyek akhir
2. Hak Kekayaan Intelektual (HKI)

Pengajuan pendaftaran HKI untuk video pembelajaran *test bed* turbin Pelton poros horizontal sesuai inovasi alat uji yang dapat digunakan dalam penelitian dan pembelajaran di skala laboratorium.

3. Artikel ilmiah

Publikasi artikel ilmiah yang berisi hasil penelitian mengenai perancangan, pengujian, dan analisis kinerja *test bed* turbin Pelton termasuk pengaruh berbagai parameter seperti debit air, jumlah *bucket*, dan *head* terhadap performa turbin Pelton.

4. Modul praktikum

Pembuatan modul praktikum yang berisi panduan dan materi terkait penggunaan *test bed* turbin Pelton untuk keperluan praktikum atau penelitian di laboratorium. Modul ini mencakup teori dasar, prosedur uji, serta kolom pengambilan data uji.

5. Prototipe *test bed* turbin Pelton

Prototipe *test bed* turbin Pelton poros horizontal yang telah dirancang dengan skala laboratorium. Prototipe ini digunakan untuk melakukan pengujian dan analisis kerja turbin dalam berbagai kondisi operasi.

1.6. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari Proyek Akhir ini yang berjudul “Rancang Bangun *Test Bed* Turbin Pelton Poros Horizontal dan Uji Kinerja pada *Head* 10 Meter”, yaitu:

1. Terwujudnya semangat civitas akademik Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro dalam memperluas jangkauan pembelajaran serta nilai-nilai Universitas Diponegoro dalam *renewable energy* dan inovasi teknologi,
2. Mahasiswa mampu merancang, memodifikasi, merakit, dan menguji *test bed* mikro hidro skala laboratorium sebagai tugas akhir,
3. Mahasiswa mampu menganalisis pengaruh jumlah *bucket* dan debit air terhadap daya turbin Pelton yang dihasilkan pada skala laboratorium,
4. Sebagai referensi untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut dalam rancang bangun PLTMH.

1.7. Sistematika Laporan Proyek Akhir

Dalam penyusunan Proyek Akhir ini, yang bertujuan mengarahkan pembaca agar fokus pada pokok permasalahan. Penulis membuat sistematika penulisan laporan proyek akhir sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan laporan proyek akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, penulis membahas secara detail tentang studi literatur yang berkaitan dengan judul laporan proyek akhir ini. Pembahasan ini mencakup berbagai teori, konsep, penelitian terdahulu, serta kebaruan penelitian yang dilakukan oleh penulis sesuai dengan topik yang diangkat. Penulis mengulas berbagai sumber referensi termasuk buku, jurnal, artikel ilmiah, dan komponen lainnya yang mendukung pemahaman terhadap masalah yang sedang diteliti. Dengan mengkaji literatur yang ada, penulis bertujuan untuk memberikan gambaran yang komperhensif mengenai dasar teori dan penelitian sebelumnya, serta bagaimana studi ini dapat menawarkan perspektif baru dalam bidang yang dibahas.

BAB III PROSEDUR PELAKSANAAN PROYEK AKHIR

Dalam bab ini penulis membahas secara rinci terkait berbagai aspek yang berkaitan dengan tugas akhir ini. Penulis akan menjelaskan diagram alir proyek akhir yang mencakup studi literatur, perhitungan dan perancangan, pembuatan desain, fabrikasi *test bed*, pengujian, variabel pengujian, serta pengambilan data proyek akhir. Selanjutnya, penulis akan membahas secara mendalam perhitungan desain sudu turbin Pelton skala laboratorium. Pembuatan *test bed* ini berguna sebagai alat uji kinerja turbin Pelton sehingga dapat memberikan pemahaman bagi pembaca tentang peningkatan pengembangan teknologi PLTMH.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, penulis akan menjelaskan secara rinci tentang deskripsi hasil penelitian dan pengambilan data yang telah dilakukan berdasarkan rumusan masalah yang sebelumnya diajukan. Penjelasan hasil dan pembahasan ini mencakup data-data yang dikumpulkan selama penelitian, analisa hasil perhitungan, pengambilan data, dan uji kinerja *test bed* turbin Pelton poros horizontal. Pada bab ini penulis menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian, memberikan pemahaman yang menyeluruh tentang penelitian *test bed* turbin Pelton poros horizontal, dan memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi PLTMH yang ada.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam bab ini penulis memberikan hasil kesimpulan dari rangkaian perancangan alat *test bed* turbin Pelton dan saran terhadap pengembangan alat.