

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat setiap tahun seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, ekspansi sektor industri, serta meningkatnya konsumsi rumah tangga. Berdasarkan Statistik Listrik Indonesia 2019–2023 yang diterbitkan BPS, total energi listrik yang dibangkitkan secara nasional naik dari 280.555,81 GWh pada tahun 2019 menjadi 325.855,69 GWh pada tahun 2023, menunjukkan peningkatan permintaan yang konsisten di berbagai sektor (BPS, 2024). Data distribusi listrik menjelaskan bahwa konsumsi terbesar berasal dari sektor rumah tangga (42%) dan industri (31%), mengindikasikan tingginya kebutuhan energi untuk aktivitas domestik dan produksi. Peningkatan kapasitas terpasang pembangkit yang mencapai 73.460,81 MW pada 2023 juga mencerminkan upaya memenuhi kebutuhan listrik yang semakin tinggi, terutama di provinsi-provinsi dengan pertumbuhan industri pesat seperti Jawa Barat, Jawa Tengah, dan Banten (BPS, 2024).

Pemenuhan kebutuhan listrik di Indonesia hingga saat ini masih sangat bergantung pada pembangkit listrik yang menggunakan energi tidak terbarukan, terutama batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Berdasarkan Statistik Listrik Indonesia 2019–2023 yang diterbitkan BPS, kapasitas terpasang pembangkit listrik yang menggunakan energi tidak terbarukan di Indonesia terdiri dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebesar 39.412,84 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) sebesar 13.950,93 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) sebesar 3.911,45 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sebesar 4.221,84 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) sebesar 2.691,23 MW. Sedangkan, kapasitas terpasang pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan di Indonesia terdiri dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sebesar 5.415,42 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi sebesar 2.518,99 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) sebesar 830,82 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebesar 242,33 MW. Data tersebut menunjukkan bahwa kelistrikan Indonesia masih didominasi

sumber energi fosil, dengan batu bara menyumbang sebesar 68% bauran energi pembangkit (BPS, 2024). Ketergantungan ini menimbulkan risiko serius karena bahan bakar fosil merupakan sumber daya yang terbatas dan akan habis jika terus dieksploitasi tanpa transisi energi yang jelas. Kundaryanti et al. (2023) menegaskan bahwa penggunaan berlebihan energi fosil seperti minyak, gas, dan batu bara tidak dapat lagi memenuhi kebutuhan energi jangka panjang. Dengan kebutuhan listrik nasional yang terus meningkat setiap tahun, ketergantungan pembangkit listrik pada energi fosil menunjukkan perlunya percepatan pengembangan energi terbarukan agar Indonesia mampu mencapai ketahanan dan keberlanjutan energi di masa depan.

Energi terbarukan telah menjadi salah satu fokus utama dalam upaya pemenuhan kebutuhan listrik nasional, terutama karena ketersediaannya yang melimpah dan sifatnya yang berkelanjutan. Berdasarkan berbagai penelitian, sumber energi terbarukan yang banyak dikembangkan di Indonesia meliputi energi surya, angin, biomassa, dan air, dengan energi air menjadi salah satu yang paling potensial. Hal ini ditegaskan oleh Sugiharto (2018), yang menyatakan Energi terbarukan menjadi fokus penting dalam pemenuhan kebutuhan listrik nasional karena lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, dan di antara berbagai sumber seperti surya, angin, biomassa, serta air, potensi energi air dinilai sangat besar karena Indonesia memiliki banyak sungai yang belum dimanfaatkan secara optimal untuk pembangkitan listrik skala kecil seperti PLTMH. Pada PLTMH penelitian turbin *Kaplan* 3 sudu, Sirojuddin et al. (2022) menetapkan debit minimum yang digunakan dalam perancangan dan simulasi turbin adalah sebesar 0,125 m³/s. Adapun PLTMH Sungai Air Anak, Dwiyanto, Indriana, & Tugiono (2016) mencatat bahwa debit minimum yang masih dapat dialirkan ke pipa pesat dan digunakan dalam evaluasi kinerja PLTMH adalah sebesar 0,0189 m³/s. Sementara itu, pada sistem PLTA yang berkapasitas besar, debit air yang dibutuhkan dapat mencapai puluhan hingga ratusan meter kubik per detik. Sebagai contoh, PLTA bawah tanah Sigura-Gura pada sungai Asahan memiliki debit rata-rata 110 m³/s (Patty O.F., 1994). Perbandingan ini mempertegas bahwa PLTMH lebih layak diterapkan karena sangat sesuai untuk wilayah pedesaan yang tidak membutuhkan bendungan

besar dan dapat beroperasi hanya dengan memanfaatkan aliran air dengan *head* rendah.

Meskipun PLTMH telah banyak dikembangkan di berbagai daerah di Indonesia, pemanfaatannya masih belum optimal karena sebagian besar sistem yang terpasang masih menggunakan turbin *Pelton*, *Francis*, dan *Crossflow*, yang sebenarnya bukan pilihan paling efisien untuk lokasi dengan *head* rendah dan debit kecil kondisi yang justru mendominasi sungai-sungai Indonesia. Dalam kajian potensi energi air, Taufiqurrahman & Windarta (2020) menegaskan bahwa PLTMH yang ada cenderung menggunakan teknologi lama yang belum disesuaikan dengan karakteristik hidrologi lokal, sehingga kinerjanya belum mencapai efisiensi maksimal (Taufiqurrahman & Windarta, 2020). Agus Sugiharto (2018) menjelaskan bahwa PLTMH umumnya menggunakan turbin *Pelton*, *Francis*, atau *Crossflow* sesuai rentang *head* umum, namun belum mengoptimalkan jenis turbin yang lebih cocok untuk *head* sangat rendah, seperti *Kaplan* (Sugiharto, 2018). Turbin *Pelton*, misalnya, merupakan turbin impuls yang dirancang untuk *head* tinggi hingga 2000 meter yang cocok digunakan untuk PLTA, sehingga pada lokasi dengan *head* rendah yang umum pada PLTMH, turbin ini tidak bekerja efisien karena kehilangan energi pada jet dan tidak mampu memanfaatkan tekanan aliran (Soplanit, 2016). Selain itu, *pelton* juga sensitif terhadap kavitasi dan keausan nosel, yang dapat menurunkan efisiensi dan menyebabkan kerusakan komponen (Soplanit, 2016). Di sisi lain, turbin *francis* juga belum ideal untuk PLTMH karena dirancang untuk PLTA dengan *head* menengah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Edison (2017) menunjukkan bahwa turbin yang diteliti memiliki *head* 303 m dengan kapasitas terpasang 43,75 MW. Sementara itu, turbin *crossflow* banyak digunakan pada pembangkit skala kecil karena desainnya sederhana dan mudah dibuat, namun hasil penelitian menunjukkan efisiensinya masih relatif lebih rendah, yaitu sekitar 75%, sehingga performanya belum seoptimal turbin lain terutama ketika kondisi aliran tidak ideal atau debit berubah-ubah (Yahya et al., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa dominasi penggunaan *Pelton*, *Francis*, dan *Crossflow*

pada PLTMH belum mampu dijadikan solusi kebutuhan optimasi energi di lokasi dengan *head* rendah.

Untuk menjawab permasalahan rendahnya performa PLTMH akibat penggunaan turbin *pelton*, *francis*, dan *crossflow* yang kurang sesuai untuk kondisi *head* rendah, maka pengembangan desain turbin *kaplan* yang optimal menjadi solusi paling tepat. Hal ini karena turbin *kaplan* secara kinematik dan hidrolis dirancang untuk bekerja sangat baik pada *head* rendah dan debit besar, dengan efisiensi yang dapat melebihi 90% ketika sudut sudu dan dimensi runner dirancang dengan benar (Saputra & Liichan, 2018). Penelitian lain oleh Sugiyanto dan Tugimin (2020) juga menunjukkan bahwa penyesuaian geometri seperti diameter runner dan profil sudu dapat meningkatkan putaran turbin secara signifikan pada variasi debit, sehingga menghasilkan performa yang jauh lebih stabil pada PLTMH ber-*head* rendah (Sugiyanto, 2020). Dengan demikian, optimalisasi desain turbin *kaplan* merupakan langkah strategis untuk meningkatkan efisiensi PLTMH sekaligus memaksimalkan pemanfaatan potensi energi air sebagai energi terbarukan nasional.

Akan tetapi, turbin *kaplan* yang sering digunakan saat ini (turbin *kaplan* konvensional) masih menghadapi sejumlah keterbatasan performa yang disebabkan oleh putaran yang rendah dan masih sensitif terhadap variasi debit, sebagaimana ditunjukkan oleh Sugiyanto & Tugimin (2017) menunjukkan bahwa turbin *kaplan* berbasis sudu tetap (*fixed blade*) sering menghasilkan putaran rendah dan sensitif terhadap variasi debit, sehingga performanya tidak optimal pada kondisi *head* rendah yang fluktuatif. Dengan mempertimbangkan keterbatasan tersebut, desain Turbin *Kaplan* 3 Sudu berbasis profil *National Advisory Committee for Aeronautics* (NACA) 2412 menawarkan solusi yang lebih optimal karena *Airfoil* NACA 2412 memiliki distribusi tekanan yang lebih stabil, serta karakteristik aliran yang lebih halus, sehingga mampu meningkatkan torsi, dan memaksimalkan efisiensi turbin.

Melihat turbin *kaplan* menjadi solusi atas permasalahan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mendesain Turbin *Kaplan* dengan daya 25 kW dengan menggunakan *Airfoil* NACA 2412 dengan menggunakan *software* *AutoCAD* untuk membuat desain 2D, *SolidWorks* untuk membuat desain 3D

dan uji aliran menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada *SolidWorks* agar diketahui besar torsi yang diperoleh pada sudu *runner*. Desain turbin *Kaplan* 3 sudu berbasis profil NACA 2412 paling cocok diterapkan pada sungai-sungai ber*head* rendah yaitu 12 m dengan estimasi debit air sungai mencapai 0,225 m³/s.

Rencana pembelajaran semester sebagai acuan pada penelitian ini yang telah ditentukan oleh Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Beberapa mata kuliah yang telah dipelajari seperti Merencana Mesin, Mesin Konversi Energi, Mekanika Fluida, Desain Berbasis Komputer serta beberapa mata kuliah lainnya.

1.2 Identifikasi Masalah

Dari latar belakang yang telah dijabarkan maka beberapa tujuan yang dapat dijadikan sebagai masalah penelitian adalah sebagai berikut:

1. Belum terpenuhinya kebutuhan listrik di beberapa daerah yang memiliki potensi dengan tinggi jatuh air yang rendah
2. Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang belum maksimal sebagai salah satu Sumber Energi Baru dan Terbarukan.
3. Potensi turbin *kaplan* dalam meningkatkan efisiensi perlu dikembangkan
4. Pendapatan daya yang belum maksimal dari sudu *runner* turbin *kaplan*.

1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini diberikan batasan agar dapat terfokus dan tidak terjadi peluasan masalah. Berikut batasan-batasan tersebut:

1. Fluida yang digunakan pada penelitian adalah air.
2. Turbin yang digunakan adalah turbin *kaplan* dengan debit air 0,225 m³/s, tinggi jatuh air 12 meter dan kecepatan putaran turbin 1500 rpm.
3. Penelitian ini hanya membahas masalah desain turbin *kaplan* dengan kapasitas 25 kW.
4. Jumlah sudu yang digunakan pada penelitian ini adalah 3 buah.

1.4 Perumusan Masalah

Dari permasalahan yang ada dan batasan-batasan yang telah ditentukan maka rumusan masalah ditetapkan sebagai berikut:

Bagaimana mendesain dan pengujian berbasis CFD pada sudu turbin *kaplan* berjumlah 3 dengan bentuk yang optimal untuk mendapatkan daya dengan kapasitas daya 25 kW dengan menggunakan *Airfoil* NACA 2412?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

Mendesain dan pengujian berbasis CFD pada sudu turbin *kaplan* berjumlah 3 dengan bentuk yang optimal sehingga mendapatkan daya dengan kapasitas 25 kW yang menggunakan *Airfoil* NACA 2412.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat memberikan ilmu pengetahuan, wawasan, serta pembelajaran dari proses penelitian yang dimulai dari perancangan, perhitungan, desain hingga penggambaran produk.
2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan referensi mengenai turbin *Kaplan* bagian menyusun profil sudu.
3. Penelitian ini sebagai laporan akhir menyelesaikan studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta