

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) menggalakkan program *sustainable development goals* (SDGs) yang memiliki salah satu poin tujuan untuk pengadaan energi bersih dan terjangkau menggunakan cara efisiensi energi yang dihasilkan dan juga peningkatan penggunaan energi terbarukan, sehingga meminimalisir emisi gas rumah kaca dan memperluas akses energi listrik (United Nations, 2021). Berdasarkan dokumen *nationally determined contributions* (NDC) Indonesia untuk *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) dalam (Pambudi, et al., 2019), Indonesia menargetkan emisi sektor energi sebesar 1.355 juta ton CO_2 untuk skenario tanpa bantuan internasional dan target emisi sebanyak 1.271 juta ton CO_2 pada kasus adanya bantuan internasional. Dengan demikian, Indonesia perlu mengoptimalkan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) untuk mencapai komitmen tersebut.

Indonesia memiliki potensi tenaga listrik tenaga bayu sebesar 60.647 MW (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2018), sedangkan kapasitas yang sudah terpasang sebanyak 82 MW. Jumlah instalasi pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) ini hanya 1% dari total kapasitas pembangkit EBT (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2019). Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia memiliki jalan yang panjang untuk pengembangan energi bayu dan angin menjadi salah satu solusi penyedia energi EBT Indonesia.

Kecepatan angin rata-rata Indonesia dalam satu tahun ialah 2 m/s-6 m/s, yang termasuk dalam kategori hembusan angin pelan di skala Beaufort. Berdasarkan kecepatan angin tersebut, nilai potensi energi angin Indonesia sesuai untuk PLTB skala kecil (10 kW) dan skala menengah (10-100 kW) (Rachman, 2012). Pembuatan PLTB skala kecil memiliki prospek baik untuk tempat yang jauh dari jaringan listrik PLN dikarenakan nilai investasi yang kecil dan pembangunan relatif

mudah dibandingkan PLTB skala besar (Aditama, 2019). Oleh karena itu, turbin angin TSD-500 dapat digunakan untuk pembuatan PLTB skala kecil dikarenakan memiliki kecepatan angin *cut-in* sebesar 3 m/s dengan power output maksimum sebesar 500 Watt pada kecepatan 12 m/s, sehingga dapat dipakai di sebagian besar daerah Indonesia (Lentera Bumi Nusantara, 2020).

Bilah ialah salah satu komponen penting untuk turbin angin yang bertugas untuk mengonversikan energi angin menjadi energi mekanik. Kuntara melakukan penelitian mengenai rancang bangun bilah *taper*, *taperless*, dan *inverse taper* menggunakan kayu mahoni. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa daya listrik rata-rata per hari yang dihasilkan bilah jenis *inverse taper* sebesar 1311,53 Wh, bilah jenis *taper* senilai 899 Wh, dan bilah jenis *taperless* seharga 654,96 Wh (Dirgantini, 2021). Saoke, et al. meneliti tentang pemodelan bilah *inverse taper airfoil* Clark Y dengan metode *particle image velocimetry* (PIV). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa bilah *inverse taper* lebih efektif dalam mengubah tenaga angin daripada bilah *taper* (Saoke, et al., 2015). Dirgantini melakukan penelitian mengenai bilah *inverse taper airfoil* NACA 4418 berbahan kayu pinus. Hasil penelitiannya menemukan bahwa daya output optimal sebesar 1025 watt pada kecepatan putar 573 rpm dan mampu mengekstraksi energi angin sebesar 49% (Dirgantini, 2021). Hal ini membuktikan bahwa bilah *inverse taper* memiliki performa dalam mengubah energi angin lebih baik daripada bilah tipe *taper* dan *taperless*.

Pemilihan *airfoil* yang digunakan mempunyai korelasi terhadap gaya aerodinamis yang dimiliki bilah. Pangestu meneliti bilah *taperless airfoil* USA 40 dan USA 35-B dengan metode simulasi berbasis *blade element momentum* (BEM) dan diobservasi di Ciheras, Jawa Barat. Hasil penelitiannya menampilkan bahwa bilah *airfoil* USA 40 memiliki *coefficient of power* (C_p) maksimum 0,49 pada *tip speed ratio* (TSR) sebesar 4,5 dengan daya keluaran simulasi senilai 1086 W dan pada pengujian lapangan sebesar 132,81 W. Sedangkan bilah *airfoil* USA 35-B memiliki C_p maksimal 0,46 pada TSR 4,5 dengan daya keluaran pada simulasi sebesar 980 W dan pada pengujian lapangan senilai 114,67 W (Pangestu, 2021). Sihombing melakukan penelitian tentang bilangan Reynold terhadap kecepatan putar turbin Gorlov *Hydrofoil airfoil* NACA 64-015 dengan sudut kemiringan 37° .

Hasil penelitiannya bahwa variasi bilangan Reynold yang digunakan yaitu 16700, 13500, dan 12000 berturut-turut menghasilkan kecepatan putar turbin sebesar 3,259 rad/s, 2,936 rad/s, dan 2,730 rad/s (Sihombing, 2013). Salgado, et al. telah menguji 189 jenis *airfoil* untuk kecepatan angin rendah agar sesuai desain turbin angin skala kecil yang memiliki *start-up* 2 m/s dan mampu beroperasi secara stabil pada kecepatan 4 m/s hingga 6 m/s dengan metode simulasi dalam enam nilai Reynold yakni 1×10^5 ; $1,3 \times 10^5$; $1,5 \times 10^5$; $1,8 \times 10^5$; $2,5 \times 10^5$; dan $3,3 \times 10^5$. Hasil penelitian mendapatkan tiga *airfoil* terbaik pada bilangan Reynold dalam rentang kecepatan rendah, yaitu S1210, S2091, dan SD7034 (Salgado, et al., 2016). Hal ini membuktikan *airfoil* S1210, S2091, dan SD7034 memiliki pengaruh baik kepada performa bilah pada kecepatan rendah.

Disaat merancang bilah turbin, terdapat permasalahan dalam menilai TSR optimal yang dapat digunakan untuk perhitungan perancangan, sehingga menghasilkan grafik performa bilah CP terhadap TSR yang baik. TSR perancangan turbin angin 3 bilah disarankan menggunakan antara 7 dan 8, tetapi dalam praktiknya umumnya mengambil nilai 7. TSR optimal dipengaruhi oleh jenis profil dan jumlah bilah yang digunakan (Yurdusev, et al., 2006). Augustiantyo & Setiawan melakukan penelitian terhadap bilah *taper* turbin angin *airfoil* SG6043 dengan metode variasi linearisasi *chord* dan *twist*. Hasil pengujian menampilkan bahwa bilah dengan variasi linearisasi yang digunakan, menghasilkan Cp tertinggi sebesar 52,6% pada TSR optimal 4,5 (Augustiantyo & Setiawan, 2021). Aji meneliti tentang bilah *inverse taper airfoil* S1210 pada *horizontal axis wind turbine* (HAWT) dengan variasi TSR dan rasio *chord*, sehingga penelitian menggunakan seleksi lebar hub dan seleksi rentang TSR pada Cp target untuk memilih rancangan yang terbaik. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa bilah yang terpilih memiliki Cp maksimal 0,4 pada TSR 3,3 dan kecepatan *cut-in* pada pengujian lapangan di turbin TSD-500 sebesar 1,35 m/s (Aji, 2019). Hal ini membuktikan bahwa diperlukan penggunaan variasi TSR perancangan dan metode seleksinya, untuk memilih rancangan bilah terbaik yang sesuai dengan kondisi alam dan turbin angin yang digunakan.

Desain geometri bilah pada dasarnya diatur untuk mengoptimalkan dalam ekstraksi energi angin. Untuk mendapatkan efisiensi tinggi dan kemudahan produksi bilah, bilah dapat dilakukan optimasi dengan linearisasi pada *chord* dan *twist*. Gibran, et al. melakukan penelitian tentang bilah *taperless* NACA 4415 berbahan kayu pinus dengan optimasi linearisasi *twist* 50% dan 75%, beserta penggunaan penambahan *pitch* pada TSR 5. Hasil penelitiannya mendapatkan bahwa bilah dengan menerapkan optimasi dalam geometri bilah tersebut, memiliki C_p pada kisaran 50,94% hingga 53,17% pada rentang TSR 4 sampai 6 dan terbukti aman dalam kondisi penelitian tersebut dengan *factor of safety* (FoS) sebesar 5,43 (Gibran, et al., 2016). Xiongwei, et al. melakukan penelitian tentang turbin HAWT bilah *taper airfoil* DU93W210 dengan linearisasi *chord* dan *twist* terhadap performa *annual energy production* (AEP). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa linearisasi pada desain bilah awal dapat melinierkan profil bilah awal sehingga mudah diproduksi dan dapat mengubah AEP dalam *annual mean wind speed* (AMWS) dengan peningkatan AEP yang signifikan pada seluruh rentang kecepatan angin rata-rata tahunan dari 4 m/s hingga 7 m/s, dikarenakan kurva daya rotor turbin angin terhadap kecepatan angin dari bilah awal dan bilah optimal menjelaskan output bilah optimal lebih tinggi dari bilah awal dengan pengecualian untuk kecepatan angin antara 7 m/s dan 7,6 m/s (Xiongwei, et al., 2013). Hal ini membuktikan bahwa desain bilah dengan linearisasi dapat meningkatkan performa bilah dan mempermudah produksi bilah.

Bilah rancangan yang dipilih perlu disimulasikan struktur terlebih dahulu agar mengetahui *factor of safety* sehingga bilah rancangan tidak mengalami kegagalan dalam pengoperasiannya. Dahlan melakukan pengujian lapangan bilah *taper* dan *taperless* dengan *airfoil* NACA 4412 dan NACA 4415 berbahan kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla*) dan kayu Pinus (*Pinus merkusii*) di Ciheras, Jawa Barat. Hasil pengujiannya menunjukkan bahwa kayu Mahoni menunjukkan keretakan pada satu bilah sedangkan kayu Pinus tidak terjadi keretakan pada semua bilah (Dahlan, 2016). Raisiyah melakukan penelitian simulasi pembebanan statis dengan *software* berbasis *finite element method* (FEM) pada bilah HAWT tipe *taper airfoil* NACA 4415 berbahan kayu Pinus (*Pinus merkusii*) dan kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla*) terhadap kecepatan putar rotor sebesar 200 rpm, 300 rpm,

dan 400 rpm. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa bila kedua jenis kayu masuk ke dalam kategori aman, karena ditunjukkan oleh nilai FoS lebih besar dari 1 di semua variasi kecepatan putar rotor yang diberikan, yakni bilah kayu pinus sebesar 4,9; 2,3; dan 1,3, serta bilah kayu mahoni sebesar 9,6; 4,5; dan 2,5 (Raisiyah, 2021). Hal ini membuktikan bahwa analisis kekuatan struktur pada bilah turbin angin perlu dilakukan sebelum bilah tersebut dipakai, agar dapat diketahui tingkat keamanannya.

Berdasarkan penjelasan yang telah dipaparkan, penelitian pada tugas akhir ini akan meneliti bilah *inverse taper* turbin HAWT. Bilah optimal akan menggunakan salah satu dari *airfoil* S1210, S2091, dan SD7034 yang lulus seleksi. Variasi TSR rancangan, penambahan *pitch*, serta rasio panjang *chord* ujung dan pangkal bilah akan dilakukan kepada bilah rancangan. Bilah rancangan juga akan dilinearisasikan agar meningkatkan performa dan mempermudah manufaktur. Penelitian ini akan disimulasikan dengan menggunakan data turbin angin TSD-500 sebagai acuan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan variasi bilah dengan efisiensi terbaik dan mampu bekerja pada kecepatan angin rendah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, rumusan masalah yang mendasari penulisan skripsi sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang bilah *inverse taper* agar sesuai dengan kondisi kecepatan rerata angin di Indonesia?
2. Berapa kecepatan angin maksimal bilah rancangan optimal aman digunakan dengan menggunakan simulasi kekuatan struktur?
3. Bagaimana pengaruh variasi *airfoil*, TSR rancangan, rasio panjang *chord* ujung dengan pangkal, pemilihan dua titik elemen bilah untuk linearisasi *twist*, dan penambahan sudut *pitch* terhadap performa bilah *inverse taper* dalam mengonversikan energi angin menjadi energi mekanik?
4. Apakah dengan bentuk bilah *inverse taper* yang dirancang memiliki linearisasi terbaik pada 75% *chord* (elemen 7 dan 8)?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada skripsi ini dibuat agar tidak terlalu meluas pembahasan dan memfokuskan kepada studi kasus yang akan dianalisis, berikut batasan masalah yang digunakan:

1. Turbin angin yang digunakan adalah TSD-500 dengan kapasitas 500 W.
2. Bilah *inverse taper* berbahan kayu *Pinus merkusii*.
3. Turbin 3 sudu berjenis *horizontal axis wind turbine* (HAWT) skala kecil.
4. Jenis *airfoil* yang dianalisis S1210 12%, S2091-101-83, dan SD7034.
5. Simulasi menggunakan *software* berbasis BEM dan FEM.
6. Metode linearisasi tiap dua elemen pada *twist*, serta menggunakan variasi pertambahan sudut *pitch* sebesar 0° , 1° , dan 2° .
7. Variasi rasio panjang *chord* ujung terhadap pangkal 1,1; 1,2; dan 1,3 pada TSR perancangan 4 hingga 10.
8. Pengubahan energi angin menjadi energi mekanik.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian skripsi ini memiliki beberapa tujuan, yaitu:

1. Merancang bilah turbin angin skala kecil berkapasitas 500 W yang sesuai dengan kecepatan angin 3 m/s hingga 6 m/s.
2. Mengetahui kecepatan angin maksimal bilah rancangan optimal aman digunakan dengan menggunakan simulasi kekuatan struktur.
3. Mengetahui hubungan variasi *airfoil*, TSR rancangan, rasio panjang *chord* ujung dengan pangkal, pemilihan dua titik elemen bilah untuk linearisasi *twist*, dan pertambahan sudut *pitch* terhadap performa bilah *inverse taper* untuk mengonversikan energi angin menjadi energi mekanik.
4. Mendapatkan letak titik linearisasi terbaik pada bilah yang dirancang.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi penulis, penelitian ini menjadi sarana untuk penerapan teori yang telah didapatkan dari proses perkuliahan dan Praktik Kerja Lapangan (PKL).

2. Bagi akademik, penelitian dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut terkait kajian turbin angin.
3. Bagi masyarakat dan industri, penelitian dapat digunakan untuk masukan dan referensi dalam pengembangan PLTB skala kecil.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini dikelompokkan menjadi lima bab dan beberapa sub bab. Berikut penjelasan dari tiap bab yang digunakan.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini menguraikan landasan teori yang digunakan dan studi literatur yang berkaitan dengan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan langkah dan prosedur penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian, serta *flow chart* penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini memuat data hasil dan analisa penelitian yang didapatkan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyimpulkan penelitian berdasarkan rumusan masalah dan memberikan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.