

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis performa *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* tipe NREL Phase VI dengan variasi desain *tip blade backward sweep winglet* pada berbagai sudut ( $25^\circ$ ,  $50^\circ$ , dan  $60^\circ$ ) menggunakan pendekatan simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dapat disimpulkan beberapa hal penting sebagai berikut:

1. Variasi desain *tip blade* dengan *backward sweep winglet* terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja aerodinamis turbin angin pada kondisi kecepatan angin rendah. Perubahan sudut *backward sweep* memengaruhi pola aliran, pembentukan vorteks ujung *blade*, serta distribusi gaya aerodinamis, yang selanjutnya berdampak langsung pada nilai torsi dan koefisien daya ( $C_p$ ) turbin.
2. Hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics (CFD)* menunjukkan bahwa penggunaan *tip blade* dengan *backward sweep winglet* mampu meningkatkan efisiensi aerodinamis turbin dibandingkan desain konvensional pada kecepatan angin rendah. Peningkatan efisiensi ini ditunjukkan oleh nilai koefisien daya ( $C_p$ ) yang lebih tinggi, khususnya pada kecepatan angin 5 m/s, serta karakteristik aliran yang lebih stabil dengan intensitas vorteks ujung yang lebih rendah.
3. Berdasarkan perbandingan seluruh variasi desain, *tip blade* dengan *backward sweep winglet* sudut  $60^\circ$  direkomendasikan sebagai desain paling optimal untuk turbin angin lepas pantai pada kondisi kecepatan angin rendah. Desain ini menghasilkan nilai  $C_p$  tertinggi, menunjukkan kemampuan terbaik dalam mengekstraksi energi angin, serta memberikan pengendalian aliran yang lebih baik di daerah ujung *blade* dibandingkan sudut  $25^\circ$  dan  $50^\circ$ .

Dengan demikian, penggunaan *tip blade backward sweep winglet* terbukti mampu meningkatkan efisiensi *offshore wind turbine* dan cocok diterapkan pada wilayah perairan dengan karakteristik kecepatan angin rendah seperti Indonesia.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut adalah:

1. Eksplorasi desain *tip* lainnya, seperti *forward sweep* atau konfigurasi *winglet hybrid* (misalnya winglet melengkung ganda), untuk mengetahui kemungkinan peningkatan efisiensi lebih lanjut.
2. Penggunaan variasi bentuk *airfoil* lain selain S809 untuk melihat pengaruhnya terhadap performa turbin pada kondisi angin rendah.
3. Integrasi analisis struktural dan kelelahan material, karena penambahan *tip blade* dapat mempengaruhi beban dan umur struktur *blade* dalam jangka panjang.
4. Eksperimen fisik di terowongan angin atau uji lapangan sangat disarankan untuk memvalidasi hasil simulasi CFD dan mempertimbangkan efek lingkungan nyata seperti turbulensi dan kelembaban.
5. Perluasan rentang kecepatan angin serta variasi kondisi lingkungan laut (seperti kecepatan angin tidak stabil, arah angin, dan gelombang laut) agar simulasi lebih realistik terhadap kondisi Indonesia.