

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian tentang optimalisasi desain Flettner rotor terhadap efisiensi aerodinamika menggunakan metode CFD, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model CFD yang dikembangkan dengan pendekatan *steady* RANS dan model turbulensi SST $k - \omega$ menunjukkan akurasi yang sangat baik, terutama dalam memprediksi rasio C_l/C_d dengan error di bawah 1% pada semua titik dengan data eksperimen.
2. *Grid medium* dengan 3,760,127 sel memberikan keseimbangan terbaik antara akurasi dan efisiensi komputasi dengan *error* hanya 0.32% terhadap data eksperimen, serta perbedaan sangat kecil terhadap *grid fine* (ΔC_d - 0.14% dan ΔC_l 0.74%).
3. Perbandingan antara pendekatan *steady* dan *transient* menunjukkan tren yang sama pada seluruh variasi SR, mengindikasikan bahwa pendekatan *steady* sudah cukup memadai untuk simulasi aerodinamika Flettner rotor dalam rentang SR yang diuji.
4. Kondisi *symmetry* menghasilkan prediksi performa yang terlalu berlebihan dengan C_l/C_d yang lebih mendekati kondisi eksperimen. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan kondisi *no-slip* sangat penting untuk simulasi yang merepresentasikan kondisi realistis rotor di atas dek kapal.
5. Variasi ketebalan *disc plate* memberikan pengaruh yang minimal terhadap performa aerodinamika rotor, dengan ketebalan *disc* referensi 0.005 m menunjukkan performa paling optimal, terutama pada SR tinggi.
6. Rotor V dengan konfigurasi *disc* di ujung atas dan bawah terbukti sebagai konfigurasi paling optimal, mampu meningkatkan efisiensi aerodinamika hingga 52% pada SR 2 (C_l/C_d 5.96 vs 3.91) dan 22% pada SR 4 (C_l/C_d

2.76 vs 2.26) dibandingkan rotor referensi. Hal ini dicapai melalui kemampuan *disc* dalam menahan kebocoran aliran di kedua ujung rotor dan menciptakan distribusi tekanan yang merata.

7. Urutan performa berdasarkan rasio C_l/C_d dari tertinggi ke terendah adalah rotor V > rotor Reference > rotor X > rotor W > rotor Z > rotor Y. Rotor Y dan Z dengan konfigurasi tanpa *disc* atau *disc* di tengah tanpa penahan ujung menunjukkan performa terendah akibat kebocoran aliran yang signifikan.
8. Visualisasi pola aliran mengkonfirmasi bahwa konfigurasi *disc* yang optimal (rotor V) mampu menciptakan distribusi tekanan merata dan menahan kebocoran aliran, sementara konfigurasi tanpa penahan di ujung mengalami kebocoran yang menurunkan fungsi dari efek Magnus. Selain itu, pada konfigurasi dengan *disc* di bagian tengah (rotor W, X, Y), terlihat bahwa keberadaan *disc* justru mengganggu perkembangan efek Magnus karena menciptakan gangguan pada pola aliran dan distribusi tekanan, sehingga mengurangi kemampuan rotor dalam menghasilkan perbedaan tekanan

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran untuk penelitian lanjutan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian lanjutan dapat dilakukan pada *spin ratio* di atas 4 untuk mengeksplorasi perilaku rotor pada putaran sangat tinggi, mengingat pada penelitian ini terlihat indikasi perubahan tren pada SR 4.
2. Konfigurasi rotor V yang menunjukkan performa terbaik perlu divalidasi secara eksperimental untuk mengkonfirmasi keakuratan hasil numerik dan potensi aplikasinya pada skala nyata.
3. Penelitian lebih lanjut perlu mempertimbangkan interaksi antara rotor dengan badan kapal (*ship-rotor interaction*) dan pengaruh profil angin *atmosfer* untuk mendapatkan prediksi performa yang lebih realistis dalam aplikasi sesungguhnya.

4. Penelitian lanjutan perlu menyertakan analisis torsi dan konsumsi daya untuk mengevaluasi efisiensi energi secara keseluruhan, tidak hanya efisiensi aerodinamika.
5. Investigasi pengaruh skala rotor terhadap performa aerodinamika perlu dilakukan untuk memastikan hasil penelitian dapat diaplikasikan pada ukuran rotor yang bervariasi.
6. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pengembangan model prediktif untuk memperkirakan performa Flettner rotor berdasarkan konfigurasi *disc* dan parameter operasional.