

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai perbandingan antara *Toroidal Propeller* dan *Wageningen B-Series Propeller* menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dalam berbagai kondisi operasional, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik Aliran Fluida
karakteristik aliran fluida di sekitar *Toroidal Propeller* dan *Wageningen B-Series Propeller* menunjukkan perbedaan yang signifikan. Simulasi hidrodinamis menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) memperlihatkan bahwa *Wageningen B-Series* memiliki distribusi tekanan yang lebih stabil serta performa yang optimal dalam kondisi operasional pada RPM rendah hingga tinggi. Sebaliknya, *Toroidal Propeller* mengalami pembentukan vorteks dan turbulensi yang lebih tinggi di sekitar bilah, terutama akibat desain lingkaran penuh yang menyebabkan peningkatan hambatan fluida. Selain itu, potensi kavitasi lebih besar pada RPM tinggi sehingga mempengaruhi performa dorong propeller.
2. Perbandingan Performa Propulsi
Hasil simulasi menunjukkan bahwa *Wageningen B-Series Propeller* memiliki performa superior dalam menghasilkan *Thrust* tinggi dan efisiensi propulsi yang konsisten di seluruh kecepatan operasi. *Thrust* B-Series pada RPM 1500 mencapai 2610 N, jauh lebih besar dibandingkan *Toroidal Propeller* yang hanya menghasilkan 654 N, dengan selisih sebesar 1956 N (299,08%). Pada RPM 3000, *Thrust* B-Series sebesar 3101 N tetap lebih unggul dibandingkan *Toroidal* yang menghasilkan 1591 N, dengan selisih 1510 N (94,94%). Dalam hal efisiensi propulsi, B-Series juga unggul dengan nilai efisiensi 0,742 pada RPM 3000, dibandingkan dengan *Toroidal* yang hanya mencapai 0,184193, menghasilkan selisih efisiensi sebesar 0,557807 (302,88%). Di sisi lain, *Toroidal Propeller* menunjukkan keunggulan dalam distribusi torsi pada RPM rendah hingga sedang. Pada RPM 1500, *Toroidal* hanya membutuhkan torsi sebesar 67 Nm, lebih rendah dibandingkan B-Series yang membutuhkan 102 Nm, dengan selisih 35 Nm (52,24%). Namun, pada RPM tinggi, torsi *Toroidal* meningkat hingga 205 Nm pada RPM 3000, lebih besar dibandingkan B-Series yang hanya 138,58 Nm, dengan selisih negatif -66,42 Nm (-47,93%). *Wageningen B-Series Propeller* lebih unggul dalam menghasilkan *Thrust* besar dan efisiensi maksimal, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi maritim. Sebaliknya, *Toroidal Propeller* lebih cocok untuk aplikasi yang memprioritaskan stabilitas torsi pada RPM rendah hingga sedang, meskipun performanya menurun pada kecepatan tinggi.
3. Rekomendasi untuk Industri Maritim
Berdasarkan hasil analisis perbandingan performa pada propeller, *Wageningen B-Series Propeller* direkomendasikan untuk aplikasi yang membutuhkan *Thrust* tinggi dan efisiensi maksimal pada berbagai kecepatan operasional, sehingga lebih sesuai untuk meningkatkan performa kapal secara keseluruhan. Di sisi lain, *Toroidal Propeller* dapat menjadi pilihan untuk kebutuhan distribusi torsi yang lebih stabil, terutama dalam konteks aplikasi yang mengutamakan pengurangan kebisingan atau kondisi operasional khusus. Rekomendasi ini memberikan solusi optimal yang dapat diterapkan sesuai kebutuhan dalam industri maritim.

5.2 Saran

5.2.1 Rekomendasi untuk Industri Maritim

Berdasarkan hasil penelitian, *Wageningen B-Series Propeller* direkomendasikan untuk industri maritim karena memiliki performa propulsi lebih unggul, dengan *Thrust*, torsi, dan efisiensi yang stabil pada berbagai kondisi operasional. Efisiensi tertinggi tercatat 1,468 pada 1500 RPM, dengan penurunan wajar pada RPM lebih tinggi, menjadikannya ideal untuk kapal kargo, tanker, dan transportasi jarak jauh yang membutuhkan performa tinggi dan efisiensi bahan bakar. Sementara itu, *Toroidal Propeller* memiliki keunggulan dalam mengurangi kebisingan dan getaran, menjadikannya cocok untuk kapal penumpang atau kapal riset. Namun, performanya masih rendah akibat *Blade Area* dan *Expanded Area Ratio* (EAR) yang kecil. Untuk menyamakan *Blade Area* dengan *Wageningen B-Series* (27.924,18 mm²), panjang *chord* perlu ditingkatkan menjadi 76,81 mm ($Z = 4$) atau 61,46 mm ($Z = 5$), dengan EAR mencapai 0,689. Optimasi ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi propulsi *Toroidal Propeller* agar lebih kompetitif di industri maritim.

5.2.2 Saran untuk Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa rekomendasi untuk penelitian lanjutan terkait *Toroidal Propeller*. Pertama, optimasi geometri bilah perlu dilakukan, seperti meningkatkan panjang *chord* dan jumlah bilah (Z), untuk menyamakan *Expanded Area Ratio* (EAR) dan *Blade Area* dengan *Wageningen B-Series*. Penyesuaian ini bertujuan untuk meningkatkan performa *Thrust* dan efisiensi propulsi. Analisis numerik menunjukkan bahwa jika jumlah bilah tetap ($Z = 4$), panjang *chord* harus dinaikkan menjadi 76,81 mm untuk menyamakan *Blade Area* sebesar 27.924,18 mm². Jika jumlah bilah ditingkatkan menjadi $Z = 5$, panjang *chord* cukup ditingkatkan menjadi 61,46 mm, sehingga EAR baru mencapai 0,689, sama seperti *B-Series*.

Kedua, validasi simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) melalui uji eksperimental di laboratorium diperlukan untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Ketiga, penelitian tentang kavitasi dan *tip vortex* pada *Toroidal Propeller* harus dilanjutkan guna memahami potensinya dalam mengurangi kebisingan, getaran, dan resistensi rotasi. Terakhir, analisis material bilah yang lebih ringan dan kuat direkomendasikan untuk mengatasi peningkatan torsi pada RPM tinggi, sekaligus mengeksplorasi penerapan desain *Toroidal Propeller* pada jenis kapal atau kondisi operasional tertentu di industri maritim. Hal ini menunjukkan bahwa melalui optimasi desain dan pengujian lanjutan, performa dorong *Toroidal Propeller* dapat ditingkatkan agar lebih kompetitif dengan *B-Series*.