

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang dilakukan, perbandingan antara *contra-rotating* propeler toroidal dan berbagai variasi *contra-rotating* propeler konvensional dengan penampang yang identik menunjukkan bahwa:

1. Daya dorong (thrust) pada *contra-rotating* propeler toroidal menghasilkan rata-rata 15% lebih tinggi dibanding *contra-rotating* propeler konvensional. Puncak daya dorong *contra-rotating* propeler toroidal mencapai 3193 N pada putaran 3000 RPM. Angka ini melampaui performa empat propeler konvensional lain yang memiliki *pitch* lebih tinggi.
2. Koefisien thrust (KT) rata-rata pada *contra-rotating* propeler toroidal tercatat sebesar 0,47. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata *contra-rotating* propeler konvensional yang berada di sekitar 0,40. Nilai terendah dimiliki oleh *contra-rotating* propeler konvensional dengan pitch 336 mm dengan angka 0,38. Hal ini menunjukkan terdapat selisih sekitar 17% antara *contra-rotating* propeler toroidal dan rata-rata koefisien thrust *contra-rotating* propeler konvensional.
3. Torque rata-rata pada *contra-rotating* propeler toroidal sekitar 12% lebih tinggi dibandingkan *contra-rotating* propeler konvensional. Nilai torque tertinggi yang dihasilkan oleh *contra-rotating* propeler toroidal sebesar 169 Nm pada putaran 3000 RPM. Nilai torque meningkat seiring dengan kenaikan RPM.
4. Koefisien torque (KQ) tertinggi pada *contra-rotating* propeler toroidal adalah 0,11, sama dengan *contra-rotating* propeler konvensional dengan pitch 336 mm. Nilai KQ terendah, yaitu 0,08, diperoleh pada *contra-rotating* propeler konvensional dengan pitch 264 mm. Selisih antara

koefisien torque *contra-rotating* propeler toroidal dan rata-rata *contra-rotating* propeler konvensional adalah sekitar 12%.

5. Efisiensi rata-rata *contra-rotating* propeler toroidal menghasilkan angka 68,74%, sedangkan *contra-rotating* propeler konvensional dengan pitch 264 mm memiliki efisiensi rata-rata tertinggi sebesar 78,31%. Meskipun demikian, *contra-rotating* propeler toroidal tetap menghasilkan daya dorong sekitar 13,8% lebih tinggi dibanding *contra-rotating* propeler konvensional.
6. Simulasi CFD pada propeler *contra-rotating* konvensional menunjukkan pola aliran fluida yang relatif konsisten meskipun RPM meningkat, mengindikasikan bahwa RPM tidak terlalu memengaruhi bentuk aliran. Namun, model dengan *pitch* 264 mm pada 1000 RPM secara spesifik mencapai efisiensi tertinggi, menegaskan bahwa perbedaan *pitch* adalah faktor penentu efisiensi yang lebih krusial daripada RPM. Di sisi lain, desain bilah melingkar pada propeler toroidal *contra-rotating* terbukti umumnya lebih efisien dalam menghasilkan aliran fluida dibandingkan propeler konvensional *contra-rotating*, kecuali untuk kasus propeler konvensional ber-*pitch* 264 mm.
7. Drag force menunjukkan tren peningkatan yang sangat kuat seiring bertambahnya kecepatan inlet fluida. Peningkatan rpm dari 1000 hingga 3000 rpm menyebabkan kecepatan inlet meningkat secara signifikan, yang secara langsung meningkatkan energi kinetik fluida. Dengan luas penampang aliran yang dijaga konstan, kenaikan drag force terutama dipengaruhi oleh kenaikan kecepatan aliran, sesuai dengan teori dasar gaya hambat yang menyatakan bahwa drag force berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan fluida.
8. Lift force yang dihasilkan oleh *contra-rotating* toroidal propeller menunjukkan nilai negatif pada seluruh variasi rpm, yang menandakan bahwa arah gaya angkat berlawanan dengan arah referensi yang ditetapkan dalam analisis. Seiring dengan meningkatnya kecepatan inlet fluida,

magnitudo lift force negatif semakin besar, terutama pada rpm di atas 2000. Peningkatan magnitudo lift force ini mengindikasikan adanya perubahan karakteristik aliran pada kecepatan tinggi, khususnya akibat interaksi aliran antara dua sistem propeller yang berputar berlawanan arah. Penggunaan nilai mean koefisien lift (Cl) terbukti memberikan representasi yang lebih stabil terhadap kondisi rata-rata gaya angkat, sekaligus menunjukkan bahwa kecepatan inlet fluida merupakan faktor utama yang mengontrol besar kecilnya lift force, dibandingkan fluktuasi Cl itu sendiri.

9. Hasil kontur velocity menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan inlet fluida menyebabkan percepatan aliran yang semakin signifikan di sekitar bilah, terutama pada sisi hisap. Percepatan ini menghasilkan perbedaan tekanan yang lebih besar antara sisi tekan dan sisi hisap bilah, sebagaimana ditunjukkan pada kontur pressure. Distribusi tekanan tersebut merupakan sumber utama terbentuknya lift force bilah, yang selanjutnya berkontribusi terhadap thrust propeller. Pada desain toroidal, aliran yang lebih halus dan slipstream yang lebih stabil menandakan peredaman tip vortex, sehingga meskipun drag force meningkat akibat kecepatan aliran yang lebih tinggi, dibandingkan propeller konvensional.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa saran yang dapat diajukan untuk mengoptimalkan studi ini ke depannya. Saran-saran dari penulis adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya menggunakan satu model *contra-rotating* propeler toroidal tanpa variasi langsung. Oleh karena itu, untuk studi selanjutnya, perlu ditambahkan variasi pada parameter seperti pitch, skew, rake, atau *blade-area ratio*, baik pada *contra-rotating* propeler toroidal maupun *contra-rotating* propeler konvensional.
2. Model yang digunakan oleh peneliti masih memiliki deviasi yang cukup besar dibanding referensi yang mengakibatkan hasil dari penelitian ini

diragukan dan kurang tepat, sehingga penelitian selanjutnya diharapkan memiliki model yang valid.

3. Simulasi CFD dalam penelitian ini menggunakan analisis *steady-state*, yang tidak memperhitungkan perubahan seiring waktu. Untuk hasil yang lebih akurat, analisis *transient* disarankan karena dapat mempertimbangkan dinamika waktu.
4. Penelitian selanjutnya diharapkan tidak hanya menganalisis efisiensi, drag force, dan lift force dari *toroidal propeller* tetapi juga menganalisis kavitas.
5. Penelitian lanjutan disarankan untuk menganalisis lebih mendalam penyebab perbedaan hasil antara propeler toroidal dan propeler konvensional.