

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh rangkaian hasil penelitian, simulasi numerik menggunakan perangkat lunak Maxsurf Resistance, serta verifikasi manual menggunakan metode empiris Holtrop & Mennen mengenai studi komparatif hambatan total kapal nelayan berhaluan Ulstein X-Bow, didapatkan beberapa kesimpulan mendalam. Hasil pengujian secara konsisten menunjukkan adanya perubahan sifat hidrodinamika yang dialami lambung kapal seiring dengan meningkatnya kecepatan operasional dari 10 hingga 20 knot. Pada rentang kecepatan rendah sampai sedang, yaitu antara 10 hingga 14 knot, kurva kenaikan hambatan total kapal masih cenderung landai karena kondisi aliran fluida didominasi penuh oleh gaya viscous air laut (viscous-dominated flow). Beban utama kapal pada rezim ini hanya berfokus untuk mengatasi hambatan gesek (RF) antara molekul air dengan kulit permukaan basah lambung kapal. Namun, situasi fisis berubah drastis ketika kapal melaju kencang pada rentang kecepatan tinggi antara 16 hingga 20 knot. Akibat pengaruh langsung dari fungsi kuadratik kecepatan (V^2), grafik hambatan total melonjak sangat tajam secara eksponensial hingga gaya hambatan gesek manual mencapai nilai puncaknya sebesar 102,11 kN pada kecepatan maksimum 20 knot. Kondisi kenaikan beban hambatan tersebut juga memunculkan fenomena korelasi fluida yang unik pada lambung kapal. Nilai Koefisien Hambatan Gesek (CF) justru ditemukan semakin mengecil secara logaritmik seiring bertambahnya kecepatan, yaitu dari 0,00181 turun menjadi 0,00165. Penurunan koefisien ini dipicu oleh lonjakan Angka Reynolds (R_n) yang merepresentasikan penipisan sub-lapisan batas laminer (boundary layer sub-layer) akibat aliran air di sekitar pelat lambung yang berubah menjadi sangat turbulen. Meskipun nilai koefisiennya mengecil, nilai akhir gaya hambatan gesek absolut dalam satuan Kilonewton (kN) tetap melonjak sangat tajam karena faktor pengali kuadrat kecepatan di dalam rumus standar ITTC-1957 jauh lebih kuat dalam mendominasi jalannya perhitungan. Penerapan bentuk haluan inovatif Ulstein X-Bow (inverted bow) terbukti memberikan keunggulan yang sangat signifikan dalam memotong beban hambatan sisa, terutama hambatan gelombang (RW) dan hambatan transom (RTR), saat kapal berada pada batas kecepatan tingginya. Geometri X-Bow yang tajam dan melengkung ke belakang mampu mendistribusikan volume lambung depan secara merata ke arah bawah garis air. Melalui efek penembusan ombak (wave-piercing), haluan kapal memotong air dengan sudut masuk garis air yang sangat ramping sehingga meminimalkan pembentukan sistem gelombang haluan (bow wave system). Profil melengkung ini juga efektif meredam gerakan anggukan vertikal kapal (pitching) saat menghadapi ombak besar (slamming mitigation), sehingga Luas Permukaan Basah (S) kapal selalu berada dalam kondisi stabil di angka desain idealnya tanpa mengalami fluktuasi ekstrem, yang secara langsung mencegah terjadinya lonjakan hambatan seketika di tengah laut lepas.

Seluruh temuan fenomena hidrodinamika ini diperkuat oleh hasil uji silang (cross-validation) yang menunjukkan tingkat konvergensi yang sangat tinggi antara perhitungan numerik komputer dengan kalkulasi manual metode Holtrop. Dengan angka margin kesalahan (error rate) yang konsisten berada di bawah ambang batas toleransi ilmiah perkapalan, yaitu kurang dari 5%, hasil ini memberikan jaminan bahwa pemodelan lambung 3D Ulstein X-Bow dalam penelitian ini memenuhi kaidah hukum hidrodinamika secara sah, tepat, dan akurat. Oleh karena itu, angka hambatan total (RT) yang diperoleh sangat andal untuk dijadikan landasan utama dalam menghitung kebutuhan daya efektif mesin kapal (Effective Horse Power / EHP) pada tahapan perencanaan sistem propulsi selanjutnya.

5.2 Saran

Demi pengembangan ilmu pengetahuan serta kesempurnaan implementasi desain lambung kapal ini di masa depan, terdapat beberapa saran akademis dan teknis yang dapat direkomendasikan. Pertama, perlu dilakukan penelitian lanjutan yang berfokus pada analisis olah gerak kapal (seakeeping analysis) dan tingkat kenyamanan kru kapal pada berbagai variasi arah datang gelombang (heading angle), guna menguji kemampuan haluan Ulstein X-Bow ini dalam meredam gerakan rolling, pitching, dan heaving pada kondisi laut riil yang ekstrem. Kedua, mengingat geometri haluan Ulstein X-Bow memiliki bentuk kelengkungan yang tidak konvensional, sangat disarankan untuk melakukan analisis kekuatan struktur internal pada area tangki haluan depan (forepeak) menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method) guna mengantisipasi beban dinamis air saat kapal menerjang ombak. Terakhir, disarankan pula untuk mengintegrasikan hasil hambatan total dan daya efektif dari penelitian ini ke dalam perhitungan karakteristik interaksi antara lambung dan baling-baling (propeller-hull interaction) serta estimasi konsumsi bahan bakar secara spesifik, sehingga tingkat efisiensi ekonomis dari kapal nelayan berhaluan X-Bow ini dapat terukur secara lebih nyata dan komprehensif.