

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai “Studi Sistem Propulsi *Hybrid Smart Passenger Ship* Untuk Mengurangi Emisi Gas Karbon”, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Prinsip Kerja dan Komponen Sistem

Sistem propulsi pada kapal penumpang bekerja dengan mengombinasikan mesin pembakaran dalam, khususnya mesin diesel, dengan motor listrik yang mendapatkan suplai energi dari baterai. Sistem ini tersusun atas beberapa komponen utama, yaitu prime mover, sistem transmisi, alat gerak (*propulsor*), serta sistem penyimpanan energi (*Energy Storage System*) berupa baterai lithium-ion. Integrasi antar komponen tersebut memungkinkan kapal beroperasi dalam beberapa mode, sehingga lebih adaptif terhadap kondisi pelayaran.

2. Karakteristik Sistem Propulsi Kapal Penumpang

Penggunaan motor listrik pada sistem propulsi memberikan dampak positif terhadap tingkat kenyamanan penumpang. Operasi kapal menjadi lebih senyap dan minim getaran dibandingkan dengan kapal yang sepenuhnya menggunakan mesin diesel, sehingga meningkatkan kualitas layanan dan kenyamanan selama pelayaran.

3. Efisiensi Penggunaan Bahan Bakar dan Pengurangan Emisi Gas Buang

Sistem propulsi *hybrid* mampu mengoptimalkan penggunaan mesin diesel hanya pada saat benar-benar dibutuhkan (kecepatan tinggi di laut lepas), serta beralih ke sistem elektris saat beroperasi pada kecepatan rendah atau di wilayah terbatas, sehingga tidak terjadi pembakaran bahan bakar pada mesin diesel. Sementara itu, sistem konvensional yang dalam hal ini menggunakan mesin diesel MAN D2862 tetap menghasilkan gas buang sebesar 8900 kg/jam pada semua kondisi operasi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa

sistem propulsi *hybrid* memberikan keuntungan signifikan dalam mengurangi emisi gas buang pada kondisi operasi rendah dan manuver di area pelabuhan, sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan sistem propulsi konvensional. Namun, pada kondisi pelayaran laut lepas dengan beban maksimum, kedua sistem menunjukkan performa emisi yang relatif sama.

Strategi ini secara signifikan menurunkan total emisi operasional kapal, mengurangi pencemaran udara di area pelabuhan dan perairan darat, serta meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan. Oleh karena itu, dibandingkan sistem diesel konvensional yang selalu mengandalkan mesin pembakaran dalam setiap kondisi operasi, sistem *hybrid* memberikan kinerja yang lebih efisien dan lebih ramah lingkungan. Penerapan sistem propulsi terbukti mampu menurunkan emisi gas buang secara signifikan, di antaranya emisi CO₂, NO_x, dan SO_x, dibandingkan dengan sistem propulsi diesel konvensional. Penggunaan mode operasi listrik penuh (*zero emission mode*), terutama ketika kapal beroperasi di area pelabuhan, perairan terbatas, atau pada kondisi kecepatan rendah, memberikan kontribusi besar dalam mengurangi pencemaran udara serta dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh aktivitas pelayaran. Selain itu, kemampuan sistem dalam mengoptimalkan kerja mesin pada titik efisiensi terbaik juga berperan dalam menekan konsumsi bahan bakar, sehingga emisi gas karbon yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Kondisi ini menunjukkan bahwa penerapan sistem propulsi tidak hanya meningkatkan efisiensi energi kapal, tetapi juga mendukung upaya pemenuhan regulasi lingkungan maritim internasional yang ditetapkan oleh International *Maritime Organization* (IMO), khususnya ketentuan dalam MARPOL Annex VI mengenai pembatasan emisi gas buang dari kapal. Penerapan sistem propulsi terbukti mampu meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar dibandingkan dengan sistem propulsi diesel konvensional. Peningkatan efisiensi ini terjadi karena mesin diesel dapat dioperasikan pada kondisi beban optimal, sementara motor listrik digunakan saat kapal beroperasi pada kecepatan rendah atau ketika melakukan manuver. Dengan demikian, konsumsi bahan bakar fosil dapat ditekan secara signifikan.

4. Tantangan Implementasi

Meskipun memiliki banyak keunggulan, penerapan sistem propulsi masih menghadapi beberapa tantangan, terutama terkait tingginya biaya investasi awal untuk pengadaan komponen kelistrikan dan baterai. Selain itu, ketersediaan infrastruktur pendukung seperti fasilitas pengisian daya di pelabuhan juga menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan agar sistem dapat beroperasi secara optimal.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan Infrastruktur Pendukung

Diperlukan kerja sama yang lebih erat antara operator kapal, pengelola pelabuhan, dan pemerintah terkait untuk menyediakan fasilitas pengisian baterai (*charging station*) di pelabuhan. Infrastruktur ini sangat penting untuk mendukung pengoperasian kapal penumpang dengan sistem propulsi secara maksimal.

2. Integrasi Energi Terbarukan

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji kemungkinan integrasi sumber energi terbarukan, seperti panel surya, pada struktur kapal. Pemanfaatan energi terbarukan ini diharapkan dapat membantu pengisian baterai secara mandiri serta semakin mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

3. Peningkatan Kompetensi Sumber Daya Manusia

Mengingat kompleksitas sistem propulsi, diperlukan pelatihan khusus bagi kru kapal dan teknisi, terutama dalam pengoperasian, pemeliharaan sistem kelistrikan, serta pengelolaan sistem manajemen daya (*Power Management System*). Hal ini bertujuan untuk menjamin keselamatan dan keandalan operasional kapal.

4. Analisis Ekonomi Lanjutan

Penelitian ini masih berfokus pada aspek teknis dan lingkungan. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya disarankan dilakukan analisis ekonomi yang lebih mendalam, khususnya terkait biaya investasi, biaya operasional, serta perhitungan payback period guna menilai kelayakan ekonomi penerapan sistem propulsi secara menyeluruh.

