

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rancangan skema *ORC*, memanfaatkan gas buangan *diesel engine* kapal dan fluida kerja benzena, propana, toluena, fluida campuran benzena dan propana, toluena dan propana, serta melalui 3 variasi tekanan dan temperatur, diperoleh data terkait *work pump*, *work turbine*, *thermal evaporator*, *thermal condenser*, dan *thermal efficiency*.

Hasil analisis pada perhitungan kinerja pompa menunjukkan bahwa variasi data *work pump* bergantung pada perbedaan tekanan fluida kerja selama proses pemompaan, jenis fluida kerja yang digunakan, dan skema mesin yang diaplikasikan. Nilai rata-rata *work pump* tertinggi mencapai 8,63 kJ/kg, diperoleh dari skema *Simple* dan *Regenerator ORC* dengan propana sebagai fluida kerjanya. Lalu, nilai rata-rata *work pump* terendah sebesar 1,5 kJ/kg, diperoleh dari skema *Combined ORC* dengan toluena sebagai fluida kerjanya. Hal ini menunjukkan bahwa campuran antara desain sistem *ORC* dan besarnya tekanan fluida kerja menjadi penentu seberapa besar kebutuhan energi pada proses pemompaan.

Pada analisis kinerja turbin, ditunjukkan bahwa variasi data *work turbine* bergantung pada suhu dan tekanan fluida sebelum masuk turbin, jenis fluida kerja yang digunakan, dan skema mesin yang dirancang. Nilai rata-rata *work turbine* tertinggi mencapai 209,1 kJ/kg, diperoleh dari fluida kerja benzena dengan skema *Simple* dan *Regenerator ORC*. Sebaliknya, nilai rata-rata *work turbine* terendah sebesar 50,87 kJ/kg, diperoleh dari fluida propana dengan skema *Combined ORC*. Jadi, hasil *work turbine* yang maksimal dapat dicapai dari fluida dengan potensi perubahan entalpi yang besar pada suhu tinggi selama melewati turbin.

Dalam analisis kinerja evaporator, terhitung bahwa variasi data *thermal evaporator* bergantung pada kenaikan suhu fluida selama proses evaporasi,

jenis fluida kerja yang digunakan, dan skema mesin yang diterapkan. Nilai rata-rata *thermal evaporator* tertinggi tercatat sebesar 668,24 kJ/kg, dengan penggunaan fluida benzena dalam skema *Simple ORC*. Kemudian, nilai rata-rata *thermal evaporator* terendah tercatat sebesar 277,53 kJ/kg, dengan penggunaan fluida campuran toluena dan propana dengan skema *Regenerator ORC*. Evaporator ini bekerja lebih efektif ketika fluida kerja yang dioperasikan menghasilkan entalpi penguapan yang tinggi dan kestabilan suhu pada titik didihnya selama proses evaporasi berlangsung.

Untuk analisis kinerja kondensor, terhitung bahwa variasi data *thermal condenser* bergantung pada penurunan suhu dan tekanan fluida selama proses kondensasi, jenis fluida kerja yang dioperasikan, dan skema mesin yang diimplementasikan. Nilai rata-rata *thermal condenser* tertinggi diperoleh sebesar 462,57 kJ/kg, dengan penggunaan fluida benzena dalam skema *Simple ORC*. Lalu, nilai rata-rata *thermal condenser* terendah diperoleh sebesar 1,8 kJ/kg, dengan penggunaan fluida toluena dalam skema *Regenerator ORC*. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kemampuan fluida kerja dalam melepas energi panas di kondensor sangat dipengaruhi oleh karakteristik fluida kerja dan konfigurasi sistem yang memprosesnya.

Performa sistem ORC terhitung dari tingkat *thermal efficiency*. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa *thermal efficiency* sangat dipengaruhi oleh karakteristik dari jenis fluida kerja yang digunakan dan skema ORC yang diimplementasikan. Nilai rata-rata *thermal efficiency* tertinggi mencapai 0,798, diperoleh dari fluida campuran toluena dan propana dengan skema *Combined ORC*. Sementara itu, nilai terendahnya sebesar 0,132 diperoleh dari fluida kerja propana dengan skema *Simple ORC*. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan sistem ORC dengan konfigurasi yang kompleks seperti *Combined ORC*, dapat meningkatkan performa sistem jika dipadukan dengan fluida campuran sebagai fluida kerjanya. Sebaliknya, penggunaan sistem yang sederhana dengan fluida murni menghasilkan performa yang terbatas. Karakteristik termal dengan konfigurasi ini membuat sistem tidak cocok dengan profil suhu dari sumber panas. Dengan demikian,

strategi terbaik dalam peningkatan efisiensi sistem ORC adalah perancangan skema yang kompleks dengan karakteristik fluida yang saling melengkapi.

Penurunan efisiensi turbin dalam sistem ORC berdampak langsung terhadap efisiensi termal sistem secara keseluruhan. Hasil menunjukkan penurunan yang cukup terhadap *thermal efficiency*, berkisar antara 3,1% hingga 16% akibat degradasi pada komponen turbin. Turbin yang berfungsi sebagai konversi utama energi panas menjadi energi mekanik, proses ekspansinya menjadi kurang optimal apabila performanya menurun. Dampaknya output energi yang dihasilkan juga ikut berkurang.

Implementasi terhadap output energi listriknya disimpulkan bahwa penggunaan fluida campuran toluena dan propana pada skema *Combined ORC* menghasilkan output energi tertinggi yaitu 374,243 kW. Sebaliknya, *Simple ORC* dengan propana hanya menghasilkan daya 44,133 kW. Dibandingkan dengan studi sebelumnya oleh (Girgin & Ezgi, 2017), sistem ini menghasilkan peningkatan daya turbin meski persentase pada kondisi degradasi tampak lebih besar akibat perbandingan terhadap nilai awal yang rendah. Namun pada intinya, kedua kondisi tersebut menghasilkan *output* energi listrik yang lebih tinggi. Kapasitas listrik ini dapat memperluas fungsi operasional kapal, mulai dari navigasi hingga dukungan terhadap sistem senjata canggih pada kapal perang.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang perlu diterapkan untuk meningkatkan kualitas penelitian di masa mendatang. Adapun saran tersebut adalah sebagai berikut.

1. Disarankan melakukan studi eksperimen terhadap ORC.
2. Analisis dalam penelitian ini didasarkan atas prinsip-prinsip termodinamika. Diharapkan analisis lebih lanjut di bidang termoeкономи dan optimasi multiobjective
3. Cakupan penelitian ini berfokus terhadap sistem secara internal. Melibatkan aspek lingkungan eksternal dan regulasi maritim menjadi lanjutan analisis yang baik dalam evaluasi sistem ORC di masa mendatang.