BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemilihan fluida kerja memiliki dampak signifikan terhadap kinerja siklus ORC, baik dalam aspek kerja pompa, kalor masuk, kerja turbin, kalor keluar, *output* daya, serta efisiensi termal. Setiap fluida mempunyai sifat khas yang mempengaruhi performa sistem, di mana R717 memiliki daya dan kalor masuk maksimum tetapi efisiensi yang rendah, sementara campuran R290/R22 menawarkan keseimbangan optimal antara daya dan efisiensi.

Dari aspek kerja pompa aktual (WPA) dan kerja ideal pompa (WPS), fluida kerja R717 memiliki nilai WPA yang lebih tinggi dibandingkan fluida yang lain. Sementara itu, campuran fluida seperti (0.7)R290/(0.3)R22 menunjukkan WPA lebih rendah dibandingkan R717 tetapi lebih tinggi dibandingkan R22, yang menunjukkan bahwa kombinasi R290 dengan R22 dapat mengoptimalkan kinerja pompa tanpa secara signifikan meningkatkan konsumsi energi. Dari aspek WPS, fluida yang memiliki kapasitas kalor lebih tinggi akan menghasilkan kerja ideal yang lebih besar, yang pada gilirannya memengaruhi daya yang dihasilkan oleh sistem.

Dalam aspek Q_{in} , perbedaan paling signifikan terlihat pada R717 yang memiliki Q_{in} paling tinggi dibandingkan dengan fluida lainnya. Ini menunjukkan bahwa R717 memerlukan lebih banyak energi untuk mengubah fluida kerja menjadi uap, yaitu 1435 kJ/kg, sedangkan Q_{in} terendah ada pada R22 dengan nilai 417.9 kJ/kg. Campuran R290/R22 memiliki Q_{in} yang terletak di antara kedua fluida itu, menandakan bahwa pencampuran fluida dapat mengatur kebutuhan energi panas yang masuk agar tidak terlalu tinggi, tetapi tetap memadai untuk menghasilkan daya optimal. Q_{in} yang besar tidak selalu menguntungkan, karena sebagian besar energi yang masuk juga akan terbuang sebagai panas buangan (Q_{out}), yang mengurangi efisiensi sistem.

Dalam aspek kerja turbin actual (WTA) dan kerja turbin ideal (WTS), R717 masih meraih peringkat tertinggi karena perbedaan entalpi yang signifikan, yang menghasilkan WTA lebih tinggi dibandingkan dengan fluida lainnya. WTA

tertinggi ini memiliki hubungan langsung dengan produksi daya yang besar, yakni 6.296 kW. Namun, serupa dengan aspek Q_{in} , WTA yang tinggi juga berarti sebagian besar energi tersebut masih akan hilang sebagai kalor buang (Q_{out}). Sebaliknya, R22 menghasilkan WTA terendah, sehingga daya yang dihasilkannya juga lebih sedikit, yaitu hanya 0.973 kW. Campuran (0.7)R290/(0.3)R22 menunjukkan WTA yang lebih tinggi dibandingkan R22, tetapi tetap lebih rendah daripada R717, sehingga tetap lebih efisien dalam menghasilkan energi dibandingkan dengan fluida tunggal seperti R22.

Dalam hal Q_{out} , grafik menunjukkan bahwa R717 memiliki Q_{out} tertinggi, yaitu 1207 kJ/kg, sedangkan R22 memiliki Q_{out} terendah, yaitu 201,1 kJ/kg. Ini menunjukkan bahwa meskipun R717 menyerap sejumlah besar kalor masuk, sebagian besar energi itu tidak diubah menjadi daya, melainkan terbuang sebagai panas yang dilepaskan ke lingkungan. R22 memiliki Q_{out} yang lebih rendah, namun daya yang dihasilkan juga jauh lebih sedikit, sehingga efisiensinya tetap tidak maksimal. Campuran (0.7)R290/(0.3)R22 menghasilkan Q_{out} yang lebih rendah dibandingkan R717, tetapi lebih tinggi dibandingkan R22, menandakan bahwa fluida campuran ini memiliki keseimbangan antara penggunaan energi masukan dan pelepasan panas yang dibuang.

Dalam hal daya yang dihasilkan, nilai maksimum dicapai oleh R717 dengan 6.296 kW, sementara nilai minimum ada pada R22 dengan 0.973 kW. *Output* daya yang dihasilkan tergantung secara langsung pada WTA dan laju aliran massa yang stabil di 100 m/s dan 200 m/s. Kombinasi R290/R22 menghasilkan energi yang lebih besar daripada R22 murni, namun masih di bawah R717, karena pengaruh pencampuran R290 yang meningkatkan kapasitas kalori fluida kerja, memungkinkan lebih banyak energi diubah menjadi tenaga. Namun, karena daya yang tinggi tidak selalu menunjukkan efisiensi yang lebih baik, perlu dilakukan penilaian efisiensi termal untuk menentukan fluida yang paling optimal.

Dari perspektif efisiensi termal, diemukan bahwa campuran (0.7)R290/(0.3)R22 mencapai efisiensi tertinggi sebesar 0.06617 (6.617%), sementara R22 memperoleh efisiensi terendah yaitu 0.04435 (4.435%). R717, meskipun memiliki tenaga terbesar, tidak memiliki efisiensi termal terbaik, karena perbandingan antara Q_{out} dan Q_{in} masih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa

efisiensi sistem tidak hanya dipengaruhi oleh daya yang dihasilkan, tetapi juga oleh cara energi yang masuk dimanfaatkan secara optimal untuk menghasilkan kerja mekanik. Campuran R290/R22 menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi karena Q_{out} yang lebih rendah jika dibandingkan dengan R717, serta daya yang lebih besar dibandingkan R22, sehingga menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk sistem OTEC berbasis siklus ORC.

Dengan pendekatan yang memfokuskan pada pencampuran fluida kerja R290/R22 dalam berbagai proporsi dan variasi tekanan sistem, penelitian ini tidak hanya memperluas cakupan analisis dari penelitian sebelumnya, tetapi juga menyumbangkan wawasan baru dalam pemilihan fluida kerja yang lebih efisien, ramah lingkungan, serta sesuai dengan karakteristik suhu perairan tropis. Penelitian ini juga secara khusus memperhatikan perairan Papua Barat sebagai lokasi simulasi termodinamika, yang belum menjadi fokus utama oleh banyak penelitian sebelumnya. Dengan demikian, hasil simulasi dalam penelitian ini memiliki potensi menjadi dasar awal bagi pengembangan teknologi OTEC skala *prototype* di Indonesia, sekaligus menawarkan strategi alternatif optimasi fluida kerja yang lebih praktis, realistis, dan sesuai dengan kondisi geografis lokal yang sesungguhnya. Penelitian ini berhasil mengisi celah penelitian (*research gap*) dan membuktikan hipotesis bahwa campuran R290/R22 mampu meningkatkan efisiensi termal sistem OTEC-ORC secara signifikan di daerah tropis.

Pemilihan fluida kerja sangat berpengaruh terhadap efisiensi dan kinerja sistem ORC dalam OTEC. R717 menghasilkan tenaga maksimum tetapi memiliki efisiensi termal yang rendah, di sisi lain R22 menghasilkan tenaga minimal dengan efisiensi yang juga rendah. Campuran R290/R22 menawarkan keseimbangan antara daya yang cukup tinggi dan efisiensi yang lebih baik daripada fluida tunggal, menjadikannya pilihan yang lebih baik untuk aplikasi OTEC. Oleh sebab itu, pemanfaatan campuran R290/R22, khususnya dengan proporsi (0.7)R290/(0.3)R22, bisa menjadi solusi terbaik dalam meningkatkan efisiensi termal dan daya *output* pada sistem ORC yang didasarkan pada OTEC di perairan Papua Barat.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, ada beberapa saran yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan mutu penelitian di masa yang akan datang sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat menginvestigasi lebih banyak variasi komposisi campuran R290/R22 atau bahkan mencampurkan fluida lain, seperti R600a (isobutana) atau R1270 (propena). Dengan menguji berbagai rasio campuran fluida, dapat ditemukan komposisi yang memberikan keseimbangan optimal antara daya keluaran, efisiensi termal, tekanan kerja, dan stabilitas sistem guna mengadaptasi sifat fluida sesuai dengan kondisi lingkungan tertentu di lokasi penerapan sistem ORC berbasis OTEC
2. Penelitian mendatang dapat terfokus pada pemanfaatan fluida kerja alami dengan potensi pemanasan global (GWP) rendah dan tidak merusak lapisan ozon, seperti R744, R717, R600a, atau campuran hidrofluoroolefin (HFO). Pemilihan cairan yang lebih ramah lingkungan dapat meningkatkan daya tahan sistem ORC dalam jangka panjang dan memastikan kesesuaian dengan standar lingkungan internasional
3. Selain menentukan fluida kerja yang terbaik, penelitian mendatang bisa diarahkan pada pengoptimalan parameter operasional, seperti tekanan evaporasi, tekanan kondensasi, dan suhu masuk-keluar dari fluida kerja.
4. Penelitian mendatang dapat difokuskan pada pengujian lapangan di perairan Papua Barat atau lokasi lain yang memiliki karakteristik temperatur laut yang relevan. Dengan melaksanakan pengujian langsung di lingkungan nyata, kehandalan sistem dapat dinilai lebih tepat, mencakup aspek kinerja jangka panjang, ketahanan bahan, dan stabilitas operasional di kondisi lautan yang berubah-ubah.