

BAB I PENDAHULUAN

peningkatan emisi gas rumah kaca akibat pembakaran bahan bakar fosil dan aktivitas industri menyebabkan terperangkapnya radiasi panas di atmosfer, yang mengarah pada pemanasan global. Pentingnya pengurangan emisi CO₂ dan transisi menuju energi terbarukan untuk menghindari dampak buruk yang lebih parah dari perubahan iklim (Hansen et al., 2008).

Dalam beberapa tahun terakhir, pemanasan global telah menjadi isu yang semakin mendapatkan perhatian di seluruh dunia, karena dampaknya yang semakin terasa dan serius. Banyak ilmuwan dan organisasi lingkungan memperingatkan bahwa jika kita tidak mengambil tindakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, maka suhu bumi dapat terus meningkat dan membawa dampak yang lebih serius lagi di masa depan (Masson-Delmotte, 2023).

Banyak yang menyarankan bahwa mengurangi dampak-lingkungan dari pemanfaatan sumber daya energi dan mencapai peningkatan efisiensi pemanfaatan sumber daya paling baik dilakukan dengan mempertimbangkan eksergi. Eksergi adalah kerja teoritis maksimal yang dapat diperoleh dari keseluruhan sistem yang terdiri dari suatu sistem dan lingkungan ketika sistem mencapai kesetimbangan dengan lingkungannya (*Dead State*) (Moran & Shapiro, 2021).

Pemanfaatan panas buang dari sistem refrigerasi untuk menghasilkan energi terbarukan memiliki beberapa keuntungan. Pertama, ini dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya energi konvensional yang bersifat tidak terbarukan seiring berjalannya waktu akan habis dan semakin mahal. Kedua, ini dapat mengurangi emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada pemanasan global dan perubahan iklim. Dengan memanfaatkan panas buang, limbah panas dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan, mengurangi dampak negatif pada lingkungan (Bahrami & Sheikhi, 2015).

salah satu metode yang umum digunakan adalah dengan menggunakan turbin uap dan turbin gas untuk mengubah panas buang menjadi energi mekanik, yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan generator Listrik (Ahamed et al., 2011). Namun, Proses mengubah panas buang menjadi energi mekanik masih memerlukan peningkatan dalam hal efisiensi untuk memaksimalkan potensi energi yang dapat dihasilkan. Selain itu, masalah teknis seperti desain sistem, kontrol operasional, dan perawatan juga perlu diperhatikan untuk memastikan keberhasilan pemanfaatan panas limbah ini (Vankeirsbilck et al., 2011). Salah satu metode yang umum digunakan adalah penerapan turbin uap dan turbin gas untuk mengonversi panas limbah menjadi energi mekanik, yang kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan generator Listrik (Ahamed et al., 2011).

Namun, proses konversi panas limbah menjadi energi mekanik masih memerlukan peningkatan efisiensi untuk memaksimalkan potensi energi yang dapat dihasilkan. Selain itu, masalah teknis seperti desain sistem, kontrol operasional, dan pemeliharaan juga harus diselesaikan untuk memastikan keberhasilan pemanfaatan panas limbah (Vankeirsbilck et al., 2011). Oleh karena itu, di era modern ini telah dikenal siklus rankine organik. Siklus rankine organik adalah siklus rankine konvensional yang menggunakan fluida kerja organik yang dapat bekerja pada titik didih rendah. Hal ini, sangat bermanfaat karena dapat digunakan pada skala-skala industri menengah kebawah. *Organic Rankine Cycle* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan sistem pemulihan panas limbah lainnya. Hal ini meliputi potensi pemanfaatan yang besar, kemudahan pembuatan, ketersediaan komponen yang mudah, fleksibilitas, serta biaya perawatan yang lebih murah dan aman (Wahile et al., 2020).

Panas limbah dari kegiatan industri dapat dimanfaatkan kembali untuk meningkatkan efisiensi sistem energi. Siklus Rankine Organik (ORC) yang digerakkan oleh panas merupakan siklus yang menjanjikan untuk konversi energi termal menjadi kerja mekanik atau energi listrik. ORC dapat diintegrasikan dengan siklus refrigerasi kompresi uap (VCR) untuk menghasilkan listrik atau sistem pendinginan (Sun et al.,

2017). Pemilihan fluida kerja untuk sistem Rankine Organik-refrigerasi kompresi uap (ORC-VCR) sangat penting. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk memilih fluida kerja berdasarkan efisiensi termal sistem (Saleh, 2016). Analisis energi, entropi, dan eksergi dapat memberikan gambaran keseluruhan tentang kinerja sistem (Kanoğlu et al., 2004). Mempelajari kinerja sistem ORC-VCR dengan menggunakan R123, R134a, R245fa, R600a, R600, dan R290 sebagai fluida kerja. Sistem ini didukung oleh energi panas bumi untuk pendinginan udara atau oleh panas buangan kapal penangkap ikan untuk produksi es. Hasil penelitian menunjukkan bahwa R600a adalah fluida kerja yang paling sesuai. Sistem gabungan pendinginan dan pembangkit listrik yang menggunakan fluida kerja biner amonia-air yang digerakkan oleh panas bersuhu rendah sudah diteliti secara eksperimental oleh (Li et al., 2013a).

Sebuah penelitian telah dilakukan terhadap sistem ORC yang dikombinasikan dengan sistem pendingin udara mobil untuk pemanfaatan panas buangan, menggunakan R134a, R245fa, siklopentana, dan n-propane sebagai fluida kerja. Hasil penelitian menunjukkan bahwa R134a adalah fluida kerja yang paling efisien (Yue et al., 2016). Sistem terintegrasi ORC-VCR yang digerakkan oleh energi matahari menawarkan pendekatan yang menjanjikan untuk menghasilkan daya dan pendinginan secara bersamaan (Ashwni & Sherwani, 2022). Menganalisis sistem VCR dengan satu dan dua evaporator yang digerakkan oleh ORC menggunakan R134a, R227ea, R600a, dan R1234ze (E) sebagai fluida kerja. R600a ditemukan sebagai fluida kerja terbaik. Nilai maksimum COP dan η_{ex} masing-masing ditentukan sebesar 0,78 dan 19,4%. Selain itu, bahwa penambahan evaporator tambahan dalam sistem menyebabkan penurunan kinerja energetik dan eksergetik dibandingkan dengan sistem yang hanya menggunakan satu evaporator (Saleh et al., 2019).

Dalam penelitian ini, siklus rankine organik digunakan karena adanya panas buang dari mesin produksi yang dimiliki PT Ceramic sango. Panas buang yang dimanfaatkan kembali untuk membangkitkan boiler dalam sistem refrigerasi kompresi uap yang terintegrasi siklus rankine organik.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan pemilihan fluida kerja yang optimal untuk sistem ORC-VCR dengan beberapa permasalahan yang akan di kaji di dalam penelitian ini, Antara lain :

1. Bagaimana perbandingan kinerja berbagai jenis refrigeran (R1234ze(E), R152a, RC318, R236fa, RE245cb2, R600a, R236ea, R245fa) berdasarkan efisiensi termal, efisiensi eksergi, dan karakteristik operasional pada sistem ORC-VCR
2. Bagaimana kinerja keseluruhan sistem dan efisiensi eksergi pada sistem gabungan *Vapor Compression Refrigeration* (VCR) dan *Organic Rankine Cycle* (ORC)?
3. Bagaimana pengaruh variasi suhu evaporator, kondensor, boiler, efisiensi kompresor dan efisiensi turbin terhadap nilai destruksi eksergi pada setiap komponen sistem gabungan ORC-VCR?

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk memperoleh hasil dari perhitungan menggunakan *Software Engineering Equation Solver* (EES) :

1. Analisis energi sistem ORC-VCR menggunakan refrigerant (R1234ze(E), R152a, RC318, R236fa, RE245cb2, R600a, R236ea, R245fa) untuk mengetahui refrigeran yang terbaik
2. Memperoleh nilai performa kinerja sistem keseluruhan dan efisiensi *organic rankine cycle* (ORC).
3. Memperoleh nilai kerusakan eksergi sistem ORC-VCR dari semua komponen sistem.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain :

1. Memberikan informasi tentang pengaruh kombinasi penggunaan sistem ORC VCR

2. Sebagai bahan acuan dalam pengembangan teknologi di bidang sistem refrigerasi pada sistem gabungan ORC-VCR
3. Sebagai bahan referensi dalam mengembangkan teknologi di bidang refrigerasi pada sistem ORC-VCR

1.4 Orisinalitas Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini benar di buat oleh penulis yang mendapatkan sumber informasi dari jurnal-jurnal terkait maupun buku-buku. Banyak penelitian yang sudah dilakukan pada pemulihan panas sisa menggunakan sumber panas seperti gas buang pembangkit listrik, energi panas bumi dan energi surya. Berikut Tabel 1.1 di bawah ini adalah penelitian yang menjadi bahan pertimbangan penelitian ini :

Tabel 1.1 Orisinalitas Penelitian

No	Judul Penelitian	Hasil	GAP
1	<i>Thermodynamic and Thermo-economic Analysis of Integrated Organic Rankine Cycle for Waste Heat Recovery from Vapor Compression Refrigeration Cycle</i>	Analisis termodinamika dan termoekonomi sistem gabungan AC-ORC menggunakan variasi refrigerant dengan memvariasikan temperatur Chiller dan Cooling Water.	Penelitian ini Tidak ada Boiler dan Mixing Chamber yang mengalir pada kondensor.
2	<i>Thermodynamic Analysis Of Combined ORC-VCR System With Recuperator And Reheater</i>	Analisis termodinamika gabungan sistem VCR-ORC dengan memodifikasi sistem menambahkan recuperator dan reheater serta memvariasikan temperatur Kondensor dan evaporator untuk mencari performa terbaik sistem.	penelitian ini ada penambahan recuperator dan reheater dalam sistem ORC-VCR. Serta hanya ada 4 variable refrigeran yang dilakukan penelitian.
3	<i>Thermodynamic analysis of simple and modified organic Rankine cycle and vapor compression refrigeration (ORC–VCR) systems</i>	Analisis termodinamika sistem gabungan VCR-ORC menggunakan single fluida R245fa dengan memodifikasi pemodelan sistem VCR-ORC. Analisis dimulai dengan mengevaluasi Cooling Capacity, COP dan efisiensi eksergetik	Penelitian ini hanya berfokus pada 1 jenis fluida dan hanya menambahkan tanki flash. Tidak ada Mixing Chamber.
4	<i>Exergy efficiency analysis of ORC (Organic Rankine Cycle) and ORC based combined cycles driven by low-temperature waste heat</i>	Analisis termodinamika sistem gabungan ORC-ERC menggunakan refrigeran R113. Analisis hanya difokuskan meneliti efisiensi sistem gabungan ORC-ERC yang dipengaruhi suhu evaporasi.	Penelitian ini hanya berfokus pada seberapa sistem gabungan ORC-ERC. Ketika suhu evaporasi meningkat.
5	<i>Energy And Exergy Analysis Of A Combined Refrigeration And Waste Heat Driven Organic Rankine Cycle System</i>	Analisis termodinamika sistem gabungan VCR-ORC Waste Heat Recovery menggunakan fluida R123, R600, R600a, R345fa, R141b. Analisis dimulai dari perubahan suhu boiler, evaporator, dan kondensor. Dari hasil tersebut didapatkan R141b adalah fluida yang paling efisiensi.	Penelitian ini hanya berfokus pada tiap komponen yang di analisis. Dan tidak mengevaluasi kerusakan eksergi di setiap komponen

Pada penelitian ini, pembaharuan atau pembeda dari jurnal utama yang dijadikan rujukan dan referensi adalah penelitian ini menggunakan metode sistem siklus rankine organik yang diintegrasikan dengan sistem refrigerasi kompresi uap untuk diterapkan pada mesin pendingin keramik dengan menggunakan delapan refrigeran.

