

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pemanasan global yang terkait dengan pembakaran bahan bakar fosil terus mendorong pertumbuhan konsumsi energi yang sangat besar, menurut Borikar *et al.* (2021) adalah yang dapat menciptakan masalah lingkungan tertentu, seperti perusakan lapisan ozon dan terjadinya polusi lingkungan. Menurut Li *et al.* (2014) menyebutkan penggunaan AC meningkat sekitar 30-50% dari total konsumsi listrik di daerah perkotaan. Dampaknya, penggunaan AC telah mempercepat kerusakan iklim perkotaan melalui pembuangan limbah panas. Oleh karena itu, sangat penting untuk melakukan pemulihan panas limbah (*Waste Heat Recovery/WHR*) melalui aplikasi AC guna meningkatkan perlindungan lingkungan dan penghematan energi.

Pemanfaatan limbah panas ini menurut Wahile *et al.* (2022) menyatakan bahwa ada banyak cara lain untuk pemanafaatannya dengan menggunakan bahan pengubah fasa. Sistem Pemulihan Panas Limbah (*Waste Heat Recovery System/WHRS*) adalah metode yang efektif dan ramah lingkungan untuk menghemat energi. Oleh karena itu, penerapan teknologi ini, termasuk siklus termodinamika yang terkait dengan produksi energi listrik dan pengurangan konsumsi, sangat penting. Selain itu, terdapat indikasi peningkatan efisiensi sistem. Studi perbandingan telah membuktikan bahwa penerapan siklus termodinamika dengan Siklus Rankine Organik (*Organic Rankine Cycle/ORC*) lebih efisien dan ekonomis dalam memanfaatkan limbah panas pada suhu rendah hingga sedang.

Sebagai contoh, WHRS yang dapat ditemukan di pabrik semen. Sistem pemulihan panas limbah yang digunakan untuk tungku semen beroperasi menggunakan Siklus Rankine. Siklus termodinamika ini adalah dasar bagi pembangkit listrik termal konvensional dan terdiri dari sumber panas (boiler) yang mengubah fluida kerja cair menjadi uap bertekanan tinggi di pembangkit listrik. Kemudian, uap tersebut diekspansi melalui turbogenerator yang menghasilkan tenaga. Uap bertekanan rendah yang keluar dari turbogenerator dikondensasi kembali menjadi cairan dan kondensat dari kondensor dikembalikan ke pompa air

umpan boiler untuk melanjutkan siklus. Sistem pemulihan panas limbah terdiri dari *heat exchanger* atau *heat recovery steam generator* (HRSG) yang mentransfer panas dari gas buang ke fluida kerja di dalam, turbin, generator listrik, kondensor, dan sistem pendingin fluida kerja. Menurut Yansuri (2018) terdapat tiga sistem pembangkit listrik *waste heat recovery*, salah satunya adalah *Organic Rankine Cycle* (ORC).

Dalam studi terbaru menurut Aphornratana & Sriveerakul (2010) sistem siklus rankine organik telah terbukti efektif untuk memanfaatkan dan memulihkan panas limbah untuk pembangkit listrik. Namun, pada penggunaan ORC ada beberapa keunggulan tertentu dibandingkan dengan sistem pemulihan panas limbah lainnya, seperti dalam penelitiannya Wahile *et al.* (2020) menyebutkan potensi pemanfaatan yang besar, kemudahan dalam pembuatannya, ketersediaan komponen yang mudah, fleksibilitas, serta biaya perawatan yang lebih murah dan aman, karena fluida organik memiliki titik didih yang lebih rendah daripada air, hal ini memungkinkan pemulihan energi dari sumber panas limbah bersuhu rendah. Teknologi *Organic Rankine Cycle* (ORC) merupakan teknologi bersih untuk sumber daya energi yang berkelanjutan. ORC biasanya menggunakan fluida kerja organik bermassa molekul tinggi seperti butana atau pentana yang memiliki titik didih lebih rendah, tekanan uap lebih tinggi, massa molekul lebih tinggi, dan aliran massa lebih tinggi dibandingkan dengan air.

Hal ini memungkinkan efisiensi turbin yang lebih tinggi daripada sistem uap. Sistem ORC dapat digunakan untuk sumber panas limbah serendah 150°C (300°F), sedangkan sistem uap terbatas pada sumber panas yang lebih besar dari 260°C (500°F). Sistem ORC biasanya dirancang dengan dua tahap perpindahan panas. Tahap pertama mentransfer panas dari gas buang ke cairan transfer panas, seperti *thermal transfer oil*. Tahap kedua memindahkan panas dari fluida perpindahan panas antara ke fluida kerja organik. ORC biasanya digunakan untuk menghasilkan tenaga di pembangkit listrik tenaga panas bumi, dan baru-baru ini, dalam aplikasi pemulihan panas kompresor pipa di Amerika Serikat. Sistem ORC telah banyak digunakan untuk menghasilkan tenaga dari sistem biomassa di Eropa. Beberapa sistem ORC telah dipasang di tanur semen. Selanjutnya, sistem ini dianggap

sebagai teknologi yang andal dengan kekhususan menggunakan refrigeran yang bekerja dengan titik didih lebih rendah daripada air. ORC tidak hanya dapat digunakan sebagai unit yang berdiri sendiri untuk menghasilkan listrik tetapi juga dapat dikombinasikan dengan sistem refrigerasi untuk memberikan pendinginan. ORC telah dikombinasikan dengan beberapa sistem pendingin.

Sistem refrigerasi telah digunakan sejak berabad-abad untuk berbagai aplikasi: pendinginan gedung, penyimpanan makanan dan obat-obatan, dan banyak proses pendinginan industri lainnya. Pembangkit listrik dari sumber daya entalpi rendah dimungkinkan dengan siklus Rankine Organik (ORC) yang menggunakan fluida yang sama seperti sistem kompresi uap. Perkembangan teknologi energi terbaru yang didorong oleh ledakan pasar membuat teknologi ini sangat menjanjikan sebagai salah satu solusi energi terdesentralisasi. Sistem pendingin yang terdapat dalam siklus Rankine organik fluida kerja sangatlah penting, banyak pekerjaan yang sedang dilakukan untuk membuat serta mengefisienkan cairan yang ramah lingkungan dengan ODP dan GWP yang rendah.

Metode analisis termal yang paling umum digunakan saat ini ialah analisis energi berdasarkan hukum pertama termodinamika. Akan tetapi, hukum pertama termodinamika kurang menggambarkan aspek-aspek penting dalam pemanfaatan energi. Sehingga, analisis exergi berdasarkan hukum kedua termodinamika dibutuhkan sebagai pelengkap analisis. Dalam penelitiannya Malwe *et al.* (2022) telah melakukan tinjauan komprehensif terhadap penggunaan ORC sebagai metode pemulihan limbah panas. Hasil analisis exergetic ekstraksi panas dari VCRES menggunakan 9 cairan ORC yang berbeda. Dalam penelitian ini, sistem AC dan ORC diintegrasikan untuk memiliki konservasi energi dengan memanfaatkan limbah panas. Dengan memanfaatkan limbah panas dari kondensor sistem AC sebagai sarana pemulihan limbah panas untuk sistem ORC, sehingga menghasilkan output daya dari limbah panas. Selain itu, karakteristik ORC seperti pemilihan fluida kerja, termodinamika, dan dampak lingkungan terhadap kinerja fluida kerja dibahas.

Salah satu yang dapat direncanakan untuk penghematan energi dari sistem AC adalah dengan adanya sistem *waste heat recovery* yang menggunakan panas buangan sisa limbah dari sistem AC ke sistem ORC. Dalam tesis ini diteliti tentang “Analisa Energi dan Exergi Siklus Rankine Organic Terintegrasi Untuk Pemulihan Panas Limbah Dari Sistem AC”. Dengan memanfaatkan panas limbah dari sistem AC, dapat dimanfaatkan menjadi listrik pada sistem ORC. Sehingga, dapat menghemat penggunaan energi.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan pemilihan pasangan fluida yang optimal untuk subsistem AC dan subsistem siklus rankine organik dengan beberapa permasalahan yang akan dikaji di dalam penelitian ini, antara lain:

- 1) Jenis refrigeran apa yang memiliki performa paling baik untuk sistem AC-ORC?
- 2) Bagaimana performa sistem gabungan AC-ORC dengan parameter jenis refrigeran yang berbeda?
- 3) Apa yang akan terjadi jika suhu *chilled water*, kondensor AC dan kondensor ORC divariasikan?

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara perancangan sistem HVAC yang bertujuan untuk:

- 1) Menentukan analisis energi dan analisis eksergi untuk sistem AC dan sistem ORC untuk refrigerant yang berbeda. Refrigeran AC (R22, R290, R134a, R407C, R600a, R410a) dan ORC (R600, R123, R141b, R227ea, R245fa, R1233zd(E)) terhadap kinerja sistem secara keseluruhan.
- 2) Memperoleh nilai performa sistem gabungan AC dan ORC.
- 3) Simulasi sistem gabungan AC-ORC dengan menggunakan parameter energi dan eksergi melalui perbandingan jenis refrigeran untuk mendapatkan performa terbaik dengan menggunakan Software EES.

1.4 MANFAAT PENELITIAN

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain:

- 1) Memberikan informasi tentang pengaruh kombinasi penggunaan sistem AC dan sistem ORC.
- 2) Mendapatkan informasi tentang jenis refrigeran dan rasio komposisi yang baik digunakan dalam sistem gabungan AC dan ORC.
- 3) Sebagai bahan acuan untuk mengembangkan teknologi di bidang refrigerasi pada sistem gabungan AC dan ORC.

1.5 ORISINILITAS PENELITIAN

Banyak penelitian yang telah dilakukan pada pemulihan limbah panas menggunakan sumber panas seperti gas buang dari pembangkit listrik, tenaga surya dan energi panas bumi. Pada tabel 1.1 akan diuraikan bagaimana penelitian terdahulu yang menjadi bahan pertimbangan penelitian ini, sebagai berikut:

Tabel 1.1 Orisinilitas Penelitian

No	Judul Penelitian	Hasil	GAP
1.	<i>Dynamic simulation and exergy analysis of an Organic Rankine Cycle integrated with a vapor compression refrigeration system</i>	Model dinamis khusus dan terverifikasi menggunakan <i>MATLAB-Simulink</i> . Metodologi yang digunakan oleh model dinamis memvariasikan parameter VCRS untuk kombinasi refrigeran <i>VCRS-ORC</i> untuk menghitung COP, efisiensi eksergi dan destruksi eksergi	Tidak adanya <i>chilled water dan cooling water</i> yang mengalir pada evaporator sistem dan kondensor. 150 pasang untuk penelitian
2.	<i>PerencanaanPembangunan WHRPG ditujukan Untuk waste heat Sistem Waste Heat Recovery Power</i>	Untuk memenuhi pasokan energi listrik dan menjadikan listrik ini sebagai pemacu upaya efisiensi menggunakan	pada penelitian ini tidak menggunakan

No	Judul Penelitian	Hasil	GAP
	<i>Generation (WHRPG) Pabrik Semen</i>	operasional dan menekan emisi gas buang, sehingga lebih ramah lingkungan Yansuri (2018).	<i>combine cycle</i> AC-ORC. Tetapi dengan memanfaatkan gas buang sisa produksi dari pabrik semen.
3.	<i>Thermodynamic analysis of simple and modified organic Rankine cycle and vapor compression refrigeration (ORC-VCR) systems</i>	Analisis termodinamika sistem gabungan menggunakan single fluida R245fa dengan memodifikasi jenis fluida. pemodelan sistem VCR-ORC. Analisis dimulai dengan mengevaluasi <i>Cooling Capacity</i> , COP dan efisiensi eksergetik Ashwni, Sherwani and Tiwari (2021)	Pada penelitian VCR-ORC ini ditambah tanki flash dengan satu jenis fluida.