

Analisis Energi Dan Exergi Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Multi Evaporator

Muhamad Jafri¹⁾, Matheus M. Dwinanto¹⁾, Gusnawati¹⁾, Fransiskus P. D. Sogen¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp: (0380) 881597

Email : cruzchiko04@gmail.com

Abstrak

Analisis energi dan exergi dilakukan pada sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator. Selain melihat kehancuran exergi di setiap komponen, pengaruh temperatur kondensor dan evaporator terhadap koefisien kinerja (COP), efisiensi hukum kedua termodinamika dan total kehancuran exergi juga disajikan. Ditemukan bahwa energi listrik tertinggi yang diserap oleh kompresor mencapai 351,3547 Watt dan terendah 210,5702 Watt. Total kehancuran exergi sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator tertinggi mencapai 275,3783 Watt sedangkan yang paling rendah 177,0727 Watt. Temperatur kondensor dan evaporator memiliki efek yang kuat terhadap kinerja aktual sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator. Kenaikan temperatur kondensor akan meningkatkan total kehancuran exergi sedangkan efisiensi hukum kedua termodinamika dan COP menurun. Total kehancuran exergi menurun seiring meningkatnya temperatur evaporator 1 dan 2 sedangkan COP dan efisiensi hukum termodinamika meningkat namun menurun seiring meningkatnya temperatur evaporator 2. Komponen sistem dengan total kehancuran exergi tertinggi terjadi pada kompresor dan yang paling rendah adalah *Mixing chamber*. Selain itu temperatur ideal penukar kalor yang baik untuk menghasilkan kinerja aktual sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator yang optimal adalah 36°C pada kondensor, -4,3°C pada *freezer compartment* dan -5,8°C pada *fresh-food compartment*. Berdasarkan hasil penelitian, total kehancuran exergi, efisiensi hukum kedua termodinamika dan COP sangat dipengaruhi oleh temperatur kondensor dan temperatur kedua evaporator.

Kata kunci: Energi, Exergi, Koefisien Kinerja (COP), Efisien Hukum Termodinamika, Total Kehancuran Exergi.

PENDAHULUAN

Peranan energi dalam kehidupan manusia sangatlah penting. Bahkan energi menjadi salah satu kebutuhan pokok dalam kehidupan manusia. Sepanjang sejarah munculnya peradaban melalui penemuan-penemuan dalam penggunaan energi, diciptakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Proses pemanasan, pendinginan, dan pengkondisian udara diperlakukan sebagai teknologi energi penting di sebagian besar negara dan proses-proses tersebut bertanggung jawab untuk sebagian besar pemanfaatan energi di negara-negara tersebut [3].

Sistem refrigerasi kompresi uap adalah sistem refrigerasi yang bekerja dengan metode bersiklus. Sistem ini memiliki keunggulan yaitu mudah dioperasikan, kinerja yang baik, dan dapat memenuhi kebutuhan beban pendingin yang relatif besar dengan ukuran yang kecil. Metode mengenai analisis energi sistem

termal tradisional didasarkan pada hukum pertama termodinamika. Metode ini menggunakan neraca energi pada sistem untuk menghitung perpindahan kalor yang terjadi antara sistem dan lingkungan.

Hukum pertama termodinamika memberikan konsep konservasi energi yang menyatakan bahwa energi masuk sistem termal adalah kekal dan tidak dapat dimusnahkan hanya dapat dikonversikan. Exergi adalah ukuran kualitas atau tingkatan energi dan dapat dimusnahkan di dalam sebuah sistem termal. Hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa sebagian dari exergi yang memasuki sistem termal dapat dimusnahkan karena ireversibilitas.

Hukum kedua termodinamika menggunakan keseimbangan exergi untuk menganalisis dan mengoptimisasikan desain sistem termal agar sistem memiliki kinerja yang lebih baik dalam mengkonversi kalor menjadi kerja. Oleh karena itu kombinasi dari analisis

energi dan analisis exergi memberikan pemahaman yang lebih baik terhadap operasi siklus kompresi uap dengan berbagai komponen sistem dan komponen-komponen yang memerlukan modifikasi desain dan operasional untuk meminimasi kerugian-kerugian.

KAJIAN TEORI

a) Hukum Pertama dan Kedua Termodinamika

Hukum pertama termodinamika dapat didefinisikan sebagai hukum kekekalan energi, yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan. Hal ini dapat dinyatakan untuk sistem umum sebagai perubahan bersih dalam total energi dari sistem selama proses adalah sama, dengan perbedaan antara total energi masuk dan total energi keluar meninggalkan sistem:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system}$$

Untuk sistem tertutup mengalami proses antara kondisi awal dan kondisi akhir yang melibatkan kalor dan kerja yang berinteraksi dengan lingkungan:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system}$$

$$(Q_{in} + W_{in}) - (Q_{out} + W_{out}) = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

Jika tidak ada perubahan energi kinetik dan potensial maka,

$$(Q_{in} + W_{in}) - (Q_{out} + W_{out}) = \Delta U = \dot{m}(u_2 - u_1)$$

Dengan mempertimbangkan kontrol volume yang melibatkan proses aliran stedi, selama aliran massa fluida kerja masuk dan meninggalkan sistem ada kalor dan kerja yang berinteraksi dengan lingkungan. Selama proses aliran stedi, kandungan energi dari kontrol volume tetap konstan, dan dengan demikian perubahan total energi sistem adalah nol. Maka hukum pertama termodinamika dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{system} = 0$$

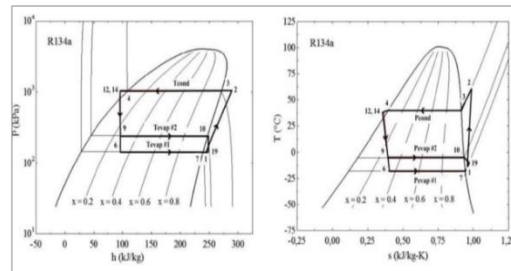
$$E_{in} = E_{out}$$

$$Q_{in} + W_{out} + \dot{m}h_{in} = Q_{out} + W_{out} + \dot{m}h_{out}$$

b) Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Multi Evaporator

Dalam perkembangannya refrigerator kompresi uap dapat menggunakan evaporator

ganda dengan kompresor tunggal dan alat ekspansi dapat disusun bertingkat atau paralel. Sistem ini umumnya diterapkan untuk beban pendinginan yang berbeda namun tekanan hisapnya sama. Untuk mendapatkan tekanan dan temperatur yang berbeda, sebuah katup pengatur tekanan dipasang setelah evaporator bertemperatur tinggi (Back Pressure Valve). Dengan demikian, sistem ini dapat dimanfaatkan sebagai pendingin dan pembeku.



Gambar 2.2. Diagram $P - h$ dan $T - s$

c) Analisis Energi dan Exergi Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Multi Evaporator

Siklus ini terdiri dari 4 proses utama, yaitu (1-2): Kompresi adiabatik dan reversibel uap refrigeran panas lanjut di dalam kompresor. Uap panas lanjut ini akan menuju ke kondensor. (2-3): Pelepasan kalor reversibel pada tekanan konstan, yang menyebabkan penurunan temperatur uap panas lanjut (desuperheating) dan pengembunan refrigeran di dalam kondensor. (3-4) dan (3-5): Ekspansi ireversibel pada entalpi konstan di dalam katup ekspansi 2 dan katup ekspansi 1, (4-6) dan (4-7): Penyerapan kalor reversibel pada tekanan konstan, yang menyebabkan penguapan refrigeran di dalam evaporator 2 dan evaporator 1. Katup pengatur tekanan evaporator yang ditempatkan pada sisi keluar evaporator II digunakan untuk menjaga tekanan yang dibutuhkan di dalam evaporator tersebut, dan juga mengurangi tekanan uap di sisi keluar karena proses *throttling* ($h_6 = h_8$). Laju aliran

massa refrigeran \dot{m}_2 yang melalui evaporator 2 digunakan untuk menyerap kalor Q_{L2} (beban pendinginan) dan laju aliran massa refrigeran

\dot{m}_1 yang melalui evaporator 1 digunakan untuk menyerap kalor Q_{L1} (beban pendinginan). Massa refrigeran yang bersirkulasi di setiap evaporator dapat dihitung sebagai berikut:

Evaporator 1 pada temperatur T_{L1}

$$\dot{m}_1 = \frac{Q_{L1}}{(h_7 - h_5)}$$

Evaporator 2 pada temperatur T_{L2}

$$\dot{m}_2 = \frac{Q_{L2}}{(h_6 - h_4)}$$

Sedangkan Tujuan analisis exergi adalah untuk menentukan kehancuran exergi (exergy destruction) atau irreversibilitas di dalam setiap komponen sistem dan untuk menentukan efisiensi exergi (efisiensi hukum kedua termodinamika). Kehancuran exergi di dalam setiap komponen dapat ditentukan dengan terlebih dahulu menghitung pembangkitan entropi (*entropy generation*) di dalam setiap komponen, yaitu:

$$Ex_{dest} = T_0 S_{gen}$$

Dengan demikian, analisis energi dan exergi pada setiap komponen sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator (dengan asumsi perubahan energi kinetik, energi potensial diabaikan) dan T_0 adalah temperatur lingkungan atau temperatur *dead-state* adalah sebagai berikut:

- **Kompresor**

$$W_{Comp.} = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)(h_2 - h_1)$$

dan analisis exergi sebagai berikut:

$$Ex_{dest,1-2} = T_0 S_{gen,1-2} = \dot{m} T_0 (s_2 - s_1)$$

- **Kondensor**

$$Q_H = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2)(h_2 - h_3)$$

dengan Q_H adalah tingkat kalor yang dilepakan oleh kondensor ke udara lingkungan. Analisis exergi pada kondensor sebagai berikut:

$$Ex_{dest,2-3} = T_0 S_{gen,2-3} = \dot{m} T_0 \left(s_3 - s_2 + \frac{q_H}{T_H} \right)$$

- **Katup Ekspansi Termostatik 2**

$$\dot{m}_2 h_3 = \dot{m}_2 h_4$$

$$h_3 = h_4$$

Analisis exergi pada katup ekspansi termostatik 2 adalah:

$$Ex_{dest,3-5} = T_0 S_{gen,3-5} = \dot{m} T_0 (s_5 - s_3)$$

- **Katup Ekspansi Termostatik 1**

$$\dot{m}_1 h_3 = \dot{m}_1 h_5$$

$$h_3 = h_5$$

Analisis exergi pada katup ekspansi termostatik 2 adalah:

$$Ex_{dest,3-5} = T_0 S_{gen,3-5} = \dot{m} T_0 (s_5 - s_3)$$

- **Evaporator 1**

$$Ex_{dest,5-7} = T_0 S_{gen,5-7} = \dot{m} T_0 \left(s_7 - s_5 - \frac{q_{L1}}{T_{L1}} \right)$$

- **Evaporator 2**

$$Ex_{dest,4-6} = T_0 S_{gen,4-6} = \dot{m} T_0 \left(s_6 - s_4 - \frac{q_{L2}}{T_{L2}} \right)$$

Total kehancuran exergi di dalam siklus dapat ditemukan dengan penjumlahan kehancuran exergi dari masing-masing komponen:

$$Ex_{dest,Total} = W_C - Ex_{Q_L}$$

Sedangkan efisiensi hukum kedua termodinamika (η_{II}) atau efisiensi exergi dari siklus didefinisikan sebagai:

$$\eta_{II} = \frac{Ex_{Q_L}}{W_C} = \frac{W_{min}}{W_C} = 1 - \frac{Ex_{dest,Total}}{W_C}$$

METODOLOGI PENELITIAN

a) Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan dalam beberapa proses, proses awal yakni proses pemvakuman sistem pendingin untuk mengeluarkan/menghilangkan uap air dalam sistem dan selanjutnya proses pengisian refrigeran kedalam sistem refrigerasi. Proses selanjutnya adalah tahap pengambilan data. Data-data yang diambil adalah data temperatur pada 22 titik yang telah dipasang termokopel pada sistem refrigerasi, data tekanan, data kuat arus listrik dan data tegangan listrik.

b) Analisis Data

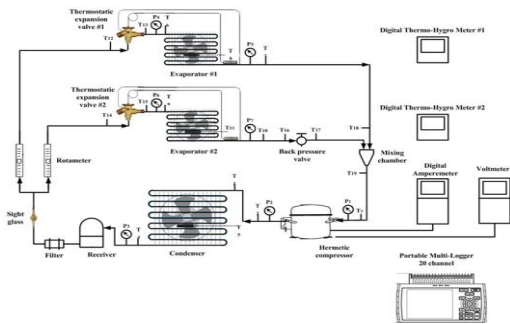
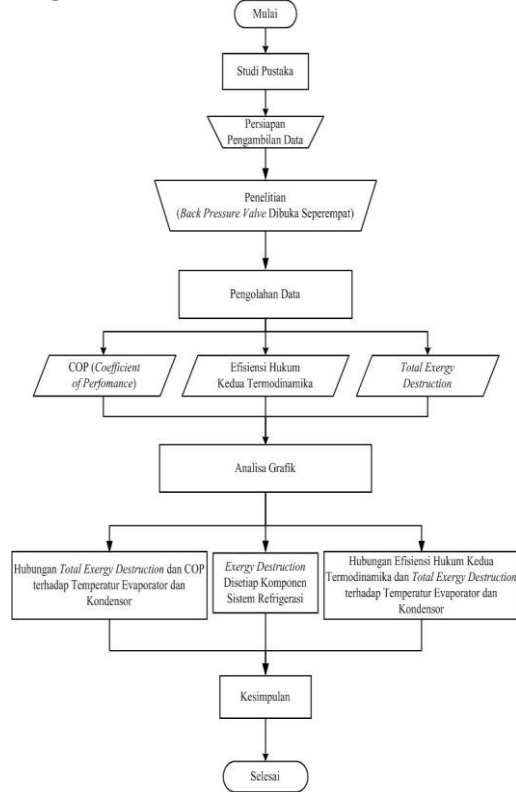
Berdasarkan data diperoleh, analisis energi dan exergi sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator dilakukan menggunakan data-data yang terekam setiap 5 menit pada jam pertama (sistem bekerja selama 2 jam). Analisis yang akan dilakukan menggunakan data pada jam pertama karena untuk mengetahui peningkatan dan penurunan COP sistem, efisiensi hukum kedua termodinamika sistem dan *exergy destruction* yang terjadi dalam sistem dan masing-masing komponen sistem selama 1 jam sistem beroperasi. Analisis energi dan exergi sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator yang dilakukan sebagai berikut:

1. Kompresor
 - Menghitung Daya Sistem dan Daya Kompresor.
 - Menghitung Laju Aliran Massa Refrigeran Dalam Siklus.
 - Pembangkitan entropi yang dihasilkan di kompresor.
 - Kehancuran exergi yang terjadi di kompresor.
2. Kondensor
 - Menghitung Tingkat Kalor yang Dibuang.
 - Pembangkitan entropi yang dihasilkan di kondensor.
 - Kehancuran exergi yang terjadi di kondensor.
3. Katup Ekspansi Termostatik 1
 - Pembangkitan entropi yang dihasilkan di katup ekspansi termostatik 1.

- Kehancuran exergi yang terjadi di katup ekspansi termostatik 1.
4. Katup Ekspansi Termostatik 2
 - Pembangkitan entropi yang dihasilkan di katup ekspansi termostatik 2.
 - Kehancuran exergi yang terjadi di katup ekspansi termostatik 2.
 5. Evaporator 1
 - Menghitung beban pendingin di evaporator 1.
 - Pembangkitan entropi yang dihasilkan di evaporator 1.
 - Kehancuran exergi yang terjadi di evaporator 1.
 - Exergi pulih (exergi yang dipindahkan dari medium bertemperatur rendah) di evaporator 1.
 6. Evaporator 2
 - Menghitung beban pendingin di evaporator 2.
 - Pembangkitan entropi yang dihasilkan di evaporator 2.
 - Kehancuran exergi yang terjadi di evaporator 2.
 - Exergi pulih (exergi yang dipindahkan dari medium bertemperatur rendah) di evaporator 2.
 7. *Back Pressure Valve*
 - Pembangkitan entropi yang dihasilkan di *back pressure valve*.
 - Kehancuran exergi yang terjadi di *back pressure valve*.
 8. *Mixing Chamber*
 - Kehancuran exergi yang terjadi di *mixing chamber*.

Setelah menganalisis energi dan exergi di setiap komponen sistem, selanjutnya yang akan dilakukan adalah menghitung COP sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator, efisiensi hukum kedua termodinamika sistem dan total kehancuran exergi sistem.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Skematik Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Multi Evaporator

PEMBAHASAN

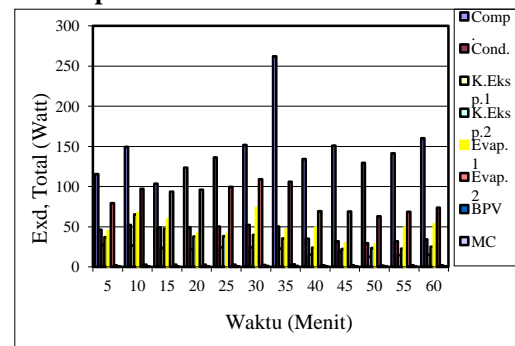
a) Koefisien Kinerja Sistem, Efisiensi Hukum kedua Termodinamika Sistem dan Kehancuran Exergi Sistem

Tujuan dalam studi ini adalah untuk menyelidiki kinerja aktual optimal dari sistem

refrigerasi kompresi uap multi evaporator berdasarkan koefisien kinerja sistem (COP), efisiensi hukum kedua termodinamika sistem dan total kehancuran exergi sistem. Berdasarkan hasil analisis diketahui kinerja aktual optimal dari sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator berdasarkan koefisien kinerja sistem, efisiensi hukum kedua termodinamika sistem dan total kehancuran exergi sistem. Efisiensi hukum kedua termodinamika (efisiensi exergi) sistem tertinggi diperoleh pada menit ke 25 dengan nilai 41,99% , COP sistem 4,18 dan total kehancuran exergi sistem 196,4 Watt dengan daya input 338,7627 Watt.

Parameter desain penukar kalor sangat berpengaruh pada kinerja aktual sistem refrigerasi kompresi uap karena dapat dimanipulasi untuk memperoleh kinerja komponen yang maksimal dengan meminimalkan pembangkitan entropi. Perbedaan temperatur dan penurunan tekanan akibat aliran fluida pada penukar kalor maka terjadi ireversibilitas sebagai akibat pembangkitan entropi pada penukar kalor [6]. Berdasarkan hasil penelitian maka temperatur refrigeran saat melewati penukar kalor yang baik untuk operasi sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator adalah pada temperatur 36,4⁰C untuk kondensasi, temperatur evaporasi -4,3⁰C pada *freezer compartment* dan temperatur evaporasi -5,8⁰C pada *fresh-food compartment* karena menghasilkan kinerja aktual sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator yang optimal.

b) Kehancuran Exergi Di Setiap Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Multi Evaporator



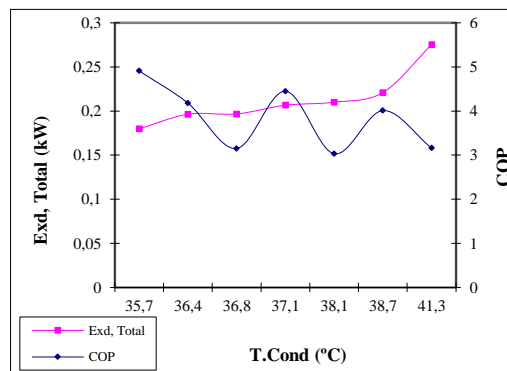
Gambar 4.1. Kehancuran Exergi di Setiap Komponen Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Multi evaporator selama 1 Jam Operasi

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa komponen sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator dengan kehancuran exergi tertinggi adalah kompresor, di ikuti evaporator 2, evaporator 1, kondensor, katup ekspansi termostatik 2, katup ekspansi termostatik 1, *back pressure valve* dan *mixing chamber*. Kehancuran exergi tertinggi terjadi di kompresor dari pada komponen sistem refrigerasi yang lain, hal ini terjadi karena proses kompresi yang terjadi di kompresor menyebabkan peningkatan temperatur dan tekanan refrigeran sehingga perubahan nilai entropi yang representasikan dalam bentuk nilai pembangkitan entropi menjadi tinggi. Selain itu, terlihat pada grafik bahwa kehancuran exergi yang terjadi pada kompresor lebih tinggi pada saat menit ke 35, hal ini terjadi karena daya listrik yang diserap oleh kompresor meningkat menyebabkan peningkatan laju aliran massa refrigeran diikuti dengan peningkatan nilai pembangkitan entropi yang dihasilkan sehingga menyebabkan peningkatan kehancuran exergi pada kompresor.

Ahamed [1], menemukan bahwa kerugian exergi lebih tinggi terjadi pada kondensor dari pada evaporator, demikian juga dengan Joybari [9] juga menemukan bahwa kehancuran exergi lebih tinggi terjadi pada kompresor diikuti kondensor. Berbeda dengan hasil penelitian mereka, dalam studi analisis energi dan exergi sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator ini ditemukan bahwa kehancuran exergi yang terjadi pada evaporator 2 (*fresh-food compartment*) dan evaporator 1 (*freezer compartment*) lebih tinggi dari pada kehancuran exergi yang terjadi pada kondensor. Hal ini disebabkan oleh perpindahan kalor yang terjadi antara medium yang akan didinginkan dengan refrigeran pada evaporator 1 dan evaporator 2 menghasilkan perubahan nilai entropi yang direpresentasikan dalam bentuk nilai pembangkitan entropi. Pembangkitan entropi yang dihasilkan di evaporator 2 dan evaporator 1 lebih tinggi dari pada

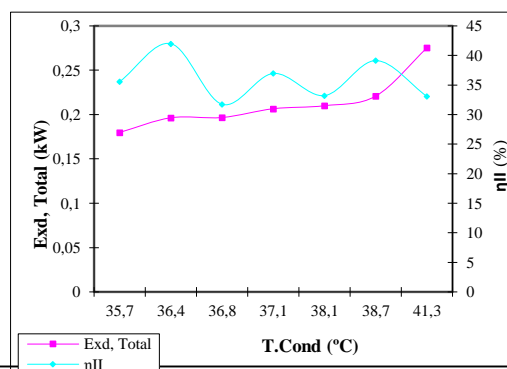
pembangkitan entropi yang dihasilkan di kondensor.

c) Pengaruh Temperatur Penukar Kalor Terhadap Kinerja Aktual Sistem Refrigerasi Kompresi Uap Multi Evaporator



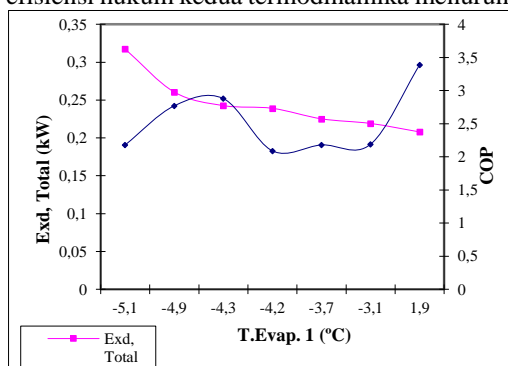
Gambar 4.2. Hubungan Antara Total Kehancuran Exergi dan COP Sebagai Fungsi Temperatur Kondensor

Kondensor merupakan satu-satunya komponen yang berfungsi membuang kalor ke lingkungan dalam sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator, selama proses tersebut terjadi perubahan fasa dengan perbedaan temperatur yang besar antara kondensor dan lingkungan, semakin tinggi perbedaan temperatur antara lingkungan dan kondensor menyebabkan lebih besar kerugian exergi [1], hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini bahwa semakin tinggi temperatur kondensor maka total kehancuran exergi semakin meningkat. Sedangkan COP menurun karena daya listrik yang diserap kompresor meningkat dan beban pendingin menurun.



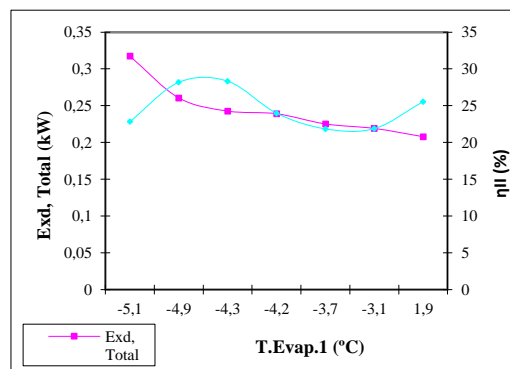
Gambar 4.3. Hubungan Antara Total Kehancuran Exergi Sistem dan Efisiensi Hukum Kedua Termodinamika Sebagai Fungsi Temperatur Kondensor

Kehancuran exergi berbanding terbalik dengan efisiensi hukum kedua termodinamika, semakin tinggi kehancuran exergi maka efisiensi hukum kedua termodinamika akan menurun dan sebaliknya kehancuran exergi menurun maka efisiensi hukum kedua termodinamika akan meningkat. Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa temperatur kondensor juga sangat mempengaruhi efisiensi hukum kedua termodinamika dimana saat temperatur kondensor meningkat total kehancuran exergi semakin tinggi menyebabkan efisiensi hukum kedua termodinamika menurun.



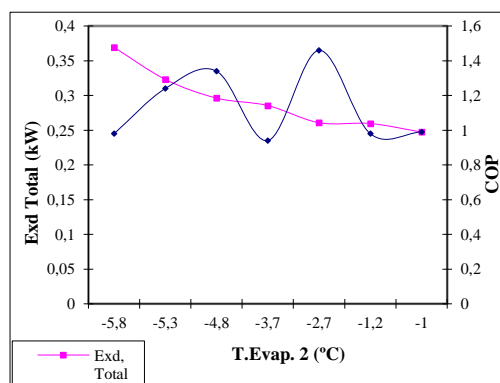
Gambar 4. 4. Hubungan Antara Total Kehancuran Exergi dan COP Sebagai Fungsi Temperatur Evaporator 1

Faktor utama yang mempengaruhi kehancuran exergi di evaporator 1 adalah aliran entropi, selama temperatur evaporator meningkat menyebabkan aliran entropi yang melintasi evaporator menurun seperti yang ditunjukkan pada gambar diagram $T-s$ [6]. Oleh karena itu, total kehancuran exergi berkurang dengan naiknya temperatur evaporator 1. Berdasarkan hasil analisis maka dapat diketahui bahwa total kehancuran exergi dan COP juga dipengaruhi oleh temperatur evaporator 1 dimana peningkatan temperatur evaporator 1, kehancuran exergi menurun menyebabkan COP meningkat.



Gambar 4.5. Hubungan Antara Total Kehancuran Exergi dan Efisiensi Hukum Kedua Termodinamika Sebagai Fungsi Temperatur Evaporator 1

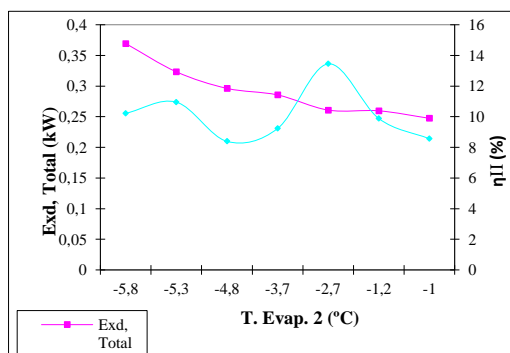
Total kehancuran exergi menurun maka efisiensi hukum kedua termodinamika akan meningkat, saat kehancuran exergi dalam sistem semakin berkurang maka kinerja aktual sistem akan meningkat. Penurunan daya kompresor dan disertai dengan penurunan exergi pulih di evaporator 1 menyebabkan efisiensi hukum kedua termodinamika menurun. Berdasarkan hasil analisis maka dapat diketahui bahwa temperatur evaporator 1 juga mempengaruhi efisiensi hukum kedua termodinamika dimana efisiensi hukum kedua termodinamika meningkat seiring meningkatnya temperatur evaporator 1 dan total kehancuran exergi menurun.



Gambar 4.6. Hubungan Antara Total Kehancuran Exergi dan COP Sebagai Fungsi Temperatur Evaporator 2

Kehancuran Exergi dan COP Sebagai Fungsi Temperatur Evaporator 2.

Total kehancuran exergi menurun seiring peningkatan temperatur evaporator 2 karena pengaruh aliran entropi yang melewati evaporator 2 semakin menurun sehingga kehancuran exergi menurun. Saat temperatur evaporator meningkat, transfer kalor antara refrigeran yang masuk ke dalam tabung evaporator dan medium yang akan didinginkan juga meningkat yang akhirnya meningkatkan beban pendingin sehingga kehancuran exergi menurun [1]. Peningkatan temperatur evaporator 2, total kehancuran exergi menurun sedangkan COP lebih cenderung fluktuatif sehingga dapat dikatakan nilai COP sebagai akibat dari pengaruh temperatur evaporator 2 merata selama temperatur evaporator 2 meningkat.



Gambar 4.7. Hubungan Antara Total Kehancuran Exergi dan Efisiensi Hukum Kedua Termodinamika Sebagai Fungsi Temperatur Evaporator 2.

Efisiensi hukum kedua termodinamika cenderung menurun saat temperatur evaporator 2 meningkat meskipun sebelumnya mengalami peningkatan, hal ini perlu dipelajari karena saat kehancuran exergi menurun maka efisiensi hukum kedua termodinamika meningkat. Penurunan daya kompresor disertai dengan exergi pulih yang terjadi di evaporator 2 menurun menyebabkan efisiensi hukum kedua termodinamika menurun. Berdasarkan hasil analisis dapat diketahui bahwa pada pengaruh temperatur evaporator 2, total kehancuran exergi menurun seiring meningkatnya temperatur evaporator 2 sedangkan efisiensi

hukum kedua cenderung fluktuatif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Rata-rata koefisien kinerja sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator adalah 3,80 dan koefisien kinerja sistem tertinggi terjadi menit ke 5 saat sistem mulai beroperasi yakni 4,91 sedangkan koefisien kinerja sistem terendah terjadi pada menit ke 60 saat sistem beroperasi yakni 3,03.
- Rata-rata total kehancuran exergi yang terjadi pada sistem refrigrasi kompresi uap multi evaporator adalah 204,093 Watt, dengan total kehancuran exergi tertinggi mencapai 275,3783 Watt dan yang terendah 177,0727 Watt.
- Rata-rata efisiensi hukum kedua termodinamika atau efisiensi exergi sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator 35,17% dan efisiensi exergi tertinggi terjadi pada menit ke 25 saat sistem beroperasi yakni 41,99% sedangkan efisiensi terendah terjadi pada menit ke 50 saat sistem beroperasi yakni 30,23%.
- Kinerja aktual optimal dari sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator berdasarkan koefisien kinerja, efisiensi hukum kedua termodinamika dan total kehancuran exergi sistem adalah pada menit ke 25 saat sistem beroperasi dengan koefisien kinerja 4,18, efisiensi hukum kedua termodinamika 41,99%, total kehancuran exergi 0,1964 kW dengan daya input 338,7627 Watt.
- Total kehancuran exergi sistem meningkat seiring meningkatnya temperatur kondensor sedangkan COP dan efisiensi hukum kedua termodinamika menurun.
- Total kehancuran exergi sistem menurun saat temperatur evaporator 1 meningkat sedangkan COP dan efisiensi hukum kedua termodinamika meningkat.
- Total kehancuran exergi sistem menurun saat temperatur evaporator 2 meningkat sedangkan COP dan efisiensi hukum kedua termodinamika cenderung fluktuatif pada saat temperatur evaporator 2 semakin meningkat.

SARAN

- a) Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai analisis energi dan exergi sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator dengan variasi perlakuan yang berbeda agar dapat diketahui kinerja sistem pendingin yang lebih optimal.
- b) Perlu dilakukan pemodelan dan optimasi komponen alat penukar kalor khususnya evaporator pada sistem refrigerasi kompresi uap multi evaporator guna menghasilkan desain sistem yang memiliki kinerja yang efisien dalam mengkonversi kalor menjadi kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahamed., Saidur R., Masjuki, H.H., (2011), A Review on Exergy Analysis of Vapor Compression Refrigeration System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 1593-1600. Kuala Lumpur, Malaysia.
- [2] Dincer, I., Mehmet., (2010). *Refrigeration Systems and Applications*. Edisi kedua. Jhon Wiley & Sons. India.
- [3] Dincer, I., Rosen., (2015). *Exergy Analysis of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning*. Elsevier Inc. Netherlands.
- [4] Dossat., Roy, J., (1961), *Principles of Refrigeration*. John Wiley & Sons. Jepang.
- [5] Dupont Suva, *Thermodynamic Properties of HFC-134a*.
- [6] Dwinanto, M.M., Suhanan., Prajitno., (2017), Exergy Analysis of a Dual-Evaporator Refrigeration System. *American Institute of Physics*.
- [7] Effendy., Marwan., (2005). Pengaruh Kecepatan Putar Poros Kompresor Terhadap Prestasi Kerja Mesin Pendingin AC. *Media Mesin* (6) 2 : 55-62
- [8] Effendy., Marwan., (2005), Pengaruh Kecepatan Udara Pendingin Kondensor Terhadap Koefisien Prestasi Air Conditioning. *Jurnal Teknik Gelagar* (16) 1 : 51-58
- [9] Joybari, M.M., Hatamipour, M.S., Rahimi, A., Modarres, F.G., (2013), Exergy Analysis and Optimization of R600a as a Replacement of R134a in a Domestic Refrigerator System. *International Journal of Refrigeration* xxx (2013) 1-10, Iran.
- [10] Kim., Man-Hoe., Piotr A., Domaski and David A Didion., (1997), Performance of R- 22 Alternative Refrigerants in a System with Cross-flow and Counter-flow Heat Exchanger. *National Institute of Standards and Technology*. Gaithersburg.
- [11] PT. PLN (PERSERO). *Teori Dasar Listrik*
- [12] Stoecker, W.F., (1998). *Industrial Refrigeration Handbook*. McGraw Hill Book Co. Singapura.
- [13] Stoecker, W.F., J.W Jones., (1982). *Refrigeration and Air Conditioning*. McGraw Hill Book Co. Singapura.
- [14] Sumanto., (1996). *Dasar-dasar Mesin Pendinginan*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- [15] Trott, A.R., (1989). *Refrigeration and Air Conditioning*. Butterworths, Cambridge, UK.
- [16] Yataganbaba, A., Kilcarslan, A., Kurtbas, I., (2015), Exergy Analysis of R1234yf and R1234ze as R134a Replacements in Two Evaporator Vapour Compression refrigeration System. *International Journal of Refrigeration* 60 (2015) 26-37. Turkey.
- [17] Yumrutas, R., Kunduz, M., Kanoglu, M., (2002), Exergy Analysis of Vapor Compression Refrigeration System. *Exergy, an International Journal* 2 (2002) 266-272. Turkey.
- [18] www.airconditioningsystems.com/R134a.html diakses pada tanggal 26 Januari 2017 Pukul 21.19 Wita.