

PERBANDINGAN HASIL PEMODELAN SIKLUS KOMPRESI UAP DENGAN PENGUJIAN KOTAK REFRIGERASI IKAN TENAGA DC MENGGUNAKAN REFRIGERAN R134A

Junaidi, Dwivan Asri

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Komputer

Universitas Harapan Medan

junaidi.sth@gmail.com

Abstrak

Ikan merupakan bahan pangan yang sangat mudah mengalami kerusakan. Penyebabnya adalah kondisi penanganan pasca tangkap yang kurang baik, mulai dari kegiatan penangkapan ikan di laut hingga ke tangan konsumen. Salah satu masalah penanganan tersebut adalah kesulitan pendinginan atau pembekuan ikan untuk mencegah kerusakan yang terjadi saat perjalanan pulang nelayan menuju tempat pelelangan ikan (TPI). Pemakaian es-es balok yang sejauh ini sudah dilakukan oleh kebanyakan nelayan dinilai kurang efektif dan sering menimbulkan kerugian bagi nelayan jika tidak memperoleh ikan saat melaut. Kondisi ini menjadi suatu urgensi yang harus diselesaikan secara efektif, efisien, dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan membuat pemodelan SKU menggunakan software CoolPack dan membandingkan performansnya dengan hasil pengujian langsung yang khusus menggunakan refrigeran R134a. Data pemodelan yang dipakai yaitu suhu evaporator -10°C, suhu kondensor 40°C, daya kompresor 125 W, dan jenis refrigeran R134a. Variabel yang diukur pada pengujian langsung yaitu tekanan kondensasi, tekanan evaporasi, kuat arus listrik, dan waktu uji. Dari hasil pemodelan SKU dan hasil pengujian kinerja SKU secara langsung untuk kotak refrigerasi ikan diperoleh penambahan kebutuhan R134a sebesar 15,14%, peningkatan kapasitas evaporator 18,33%, peningkatan kapasitas kondensor 15,90%, dan peningkatan COP sebesar 11,08% untuk keseluruhan hasil uji langsung.

Kata kunci: pemodelan, uji kinerja, SKU, CoolPack, R134a

Kata Kunci : Tanah Lempung, Kapur, Abu Vulkanik, Stabilisasi.

I. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai negara maritim dengan segala keunggulan yang dimiliki di bidang ekologi dan hasil laut yang diakui secara internasional. Sumber daya ikan yang hidup di wilayah perairan Indonesia dinilai memiliki tingkat keragaman hayati (*bio-diversity*) paling tinggi. Sumber daya tersebut mencakup 37% dari spesies ikan di dunia. Di wilayah perairan laut Indonesia terdapat beberapa jenis ikan bernilai ekonomis tinggi antara lain: tuna, cakalang, udang, tongkol, tenggiri, kakap, cumi-cumi, ikan-ikan karang (kerapu, baronang, udang barong/lobster), ikan hias, dan kekerangan termasuk rumput laut [1]. Sementara itu, potensi perikanan tangkap di Sumatera Utara terdiri dari potensi selat Malaka sebesar 276.030 ton/tahun dan potensi di Samudera Hindia sebesar 1.076.960 ton/tahun. [2]

Ikan merupakan bahan pangan yang sangat mudah mengalami kerusakan. Berbagai jenis bakteri dapat menguraikan komponen gizi ikan menjadi senyawa-senyawa berbau busuk dan anyir. Berbagai bakteri patogen (penyebab penyakit), seperti *salmonella*, *vibrio* dan *clostridium* sering mencemari produk perikanan. Sifat ikan yang sangat mudah rusak ini banyak disebabkan oleh kondisi penanganan pasca tangkap yang kurang baik. Kerusakan mekanis dapat terjadi akibat benturan selama penangkapan, pengangkutan, dan persiapan sebelum pengolahan. Gejala yang timbul akibat

kerusakan mekanis antara lain memar (karena tertindih atau tertekan), sobek, dan terpotong. Kerusakan mekanis ini tidak berpengaruh nyata terhadap nilai gizinya, tetapi cukup berpengaruh terhadap penampilan dan penerimaan konsumen. [3]

Upaya untuk memperpanjang masa simpan ikan segar adalah melalui penyimpanan dalam lemari pendingin atau pembeku, yang mampu menghambat aktivitas mikroba atau enzim. Penyimpanan dingin dalam lemari es/kulkas sangat terbatas pada jumlah dan masa simpan, sedangkan dalam lemari pembeku seperti freezer, ikan dapat diawetkan untuk waktu yang cukup lama. Namun, kedua peralatan ini tidak dapat digunakan di sampan nelayan untuk dibawa saat menangkap ikan karena kendala ketersediaan sumber listrik untuk mengoperasikan kulkas ataupun freezer tersebut.

Permasalahan utama perikanan rakyat adalah penanganan pasca tangkap yang kurang baik, mulai dari kegiatan penangkapan ikan di laut hingga ketangan konsumen. Salah satu masalah penanganan tersebut yaitu pendinginan atau pembekuan ikan untuk mencegah pembusukan sebelum dijual ke konsumen. Kesulitan pendinginan atau pembekuan ini biasanya terjadi pada saat perjalanan pulang nelayan menuju tempat pelelangan ikan (TPI). Sejalan ini, solusi yang sudah dilakukan nelayan adalah menggunakan es balok yang diletakkan di dalam kotak-kotak ikan. Namun, pemakaian es balok ini masih kurang efektif dan efisien, serta

tidak jarang menimbulkan kerugian bagi nelayan apabila tidak memperoleh ikan pada saat melaut. Kondisi ini menjadi suatu urgensi yang harus diselesaikan secara efektif, efisien, dan berkelanjutan. Untuk itu, skripsi ini akan membahas mengenai pengujian sebuah kotak refrigerasi bertenaga DC (arus searah) yang dapat diterapkan pada perahu nelayan skala kecil.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Pendingin

Masalah yang dihadapi nelayan dan pemilik kapal saat ini yaitu menurunnya kualitas ikan hasil tangkapan yang diakibatkan oleh lamanya waktu penangkapan ikan di laut. Meningkatnya lama trip penangkapan, mengakibatkan kualitas ikan menjadi menurun. Oleh karena itu, diperlukan suatu teknologi pengawetan yang mampu mempertahankan kualitas ikan lebih lama mulai saat ditangkap hingga di daratkan di pelabuhan perikanan. Pengembangan sistem refrigerasi skala mini mulai berkembang dalam sepuluh tahun belakangan. Teknologi DC menjadi pilihan menarik untuk pengaplikasian sistem pendingin portabel yang lebih luas.

Pertama, [5] melakukan studi desain dan eksperimen sebuah miniatur sistem refrigerasi kompresi uap (VCR) untuk mendinginkan perangkat elektronik. Sistem VCR dibangun dari sebuah kompresor, pipa kapiler, kondensor, pelat dingin, dan sirkuit kontrol dengan dimensi 300 x 230 x 70 mm³ dan memiliki kapasitas pendingin 200W. Selanjutnya yang kedua, sistem pendingin kompresi uap miniatur untuk pendinginan CPU berdaya tinggi telah dikembangkan dan diuji oleh [6]. Sistem pendingin ini berukuran sangat kecil sehingga dapat tertanam ke dalam CPU komputer. Refrigeran yang digunakan dalam sistem adalah R-134a.

Ketiga, sebuah miniatur kulkas kompresi uap yang portabel dan praktis telah dikembangkan oleh [7]. Dimensi kulkas yaitu 190 x 190 x 100 (mm) dengan berat 2,75 kg. Sistem dibangun menggunakan miniatur kompresor rotari dengan variabel kecepatan dengan miniatur katup ekspansi elektronik miniatur (EXV) yang beroperasi dengan *pulse width modulation* (PWM). Berikutnya, studi yang sama juga dilakukan oleh [8] yang mengembangkan miniatur sistem refrigerasi kompresi uap untuk pendinginan perangkat elektronik. Sistem terdiri dari empat komponen utama: evaporator, kompresor, kapiler tabung, dan kondensor. Refrigeran yang digunakan yaitu R134a. Evaporator berupa *micro-channel heat sink* dengan 106 penampang saluran persegi panjang.

Dari keempat studi yang telah dilaporkan, dapat disimpulkan bahwa teknologi refrigerasi kompresi uap dengan daya DC merupakan potensi yang bagus untuk pengembangan desain peralatan pendingin yang portabel, praktis, dan kinerja yang dapat diandalkan. Untuk itu, skripsi ini fokus pada pengembangan sistem refrigerasi kompresi uap

bertenaga DC dengan pengaplikasian yang berbeda dari studi yang telah dilaporkan.

2.2. Siklus Kompresi Uap

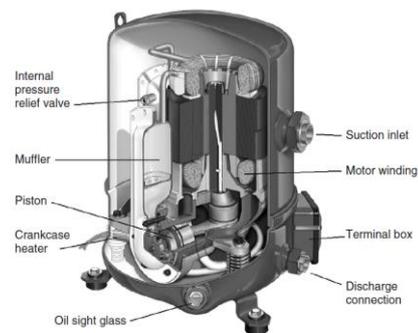
Siklus Kompresi Uap (selanjutnya disingkat SKU) merupakan salah satu siklus termodinamika yang digunakan untuk memindahkan panas dari medium yang bertemperatur rendah ke medium yang bertemperatur lebih tinggi. Fluida kerja yang mengalir selama siklus disebut refrigeran. Pada SKU, selama siklus, refrigeran mengalami perubahan fasa, yaitu menjadi uap (evaporasi) dan menjadi cair (kondensasi). Berdasarkan proses perubahan fasa inilah, maka pada SKU di kenal dua komponen utama yaitu evaporator dan kondensor. Saat ini mesin pendingin yang menggunakan SKU sangat mudah dijumpai, seperti AC, kulkas, *freezer*, dan *cold storage*.

2.3. Komponen Utama Siklus Kompresi Uap

2.3.1 Kompresor

Pada sistem mesin *refrigerasi*, kompresor berfungsi seperti jantung. Kompresor berfungsi untuk mensirkulasikan *refrigeran* dan menaikkan tekanan refrigeran agar dapat mengembun di kondensor pada temperatur di atas temperatur udara sekeliling. Berdasarkan cara kerjanya, kompresor yang biasa dipakai pada sistem *refrigerasi* dapat dibagi menjadi:

1. Kompresor perpindahan (*positive displacement*)
2. Kompresor turbo



Gambar 1. Assembling dari *Rotary Vane Compressor*

2.3.2 Kondensor

Kondensor adalah APK (Alat Penukar Kalor) yang berfungsi mengubah fasa refrigeran dari kondisi *superheat* menjadi cair, bahkan terkadang sampai pada kondisi *subcooled*. Medium pendingin yang biasa digunakan untuk melakukan tugas ini adalah udara lingkungan, air, atau gabungan keduanya. Pembagian kondensor berdasarkan medium yang digunakan dapat dibagi atas 3 bagian, yaitu: (1) kondensor berpendingin udara, (2) kondensor berpendingin air, dan (3) kondensor berpendingin gabungan (*Evaporative Condenser*). Perbedaan lain dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan kondensor berpendingin udara dan air

Parameter	Pendingin Udara	Pendingin Air
Perbedaan temperatur, T_c - Tpendingin	6 s/d 22 oC	6 s/d 12 oC
Laju aliran pendingin per TR	12 s/d 20 m3/mnt	0,007 s/d 0,02 m3/mnt
Luas perpindahan panas per TR	10 s/d 15 m ²	0,5 s/d 1 m ²
Kecepatan fluida pendingin	2,5 s/d 6 m/s	2 s/d 3 m/s
Daya pompa/blower per TR	75 s/d 100W	Kecil

TR = Ton of Refrigerasi (Beban di evaporator) 1TR = 3,5 KW

Sumber, ASHRAE Inc., (2008). *ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. SI Edition. Atlanta.*

2.3.3. Katup Ekspansi

Alat ekspansi yang digunakan pada perancangan ini adalah pipa kapiler. Pipa kapiler terbuat dari tembaga dengan lubang dalam yang sangat kecil (0,2–0,8) mm. Pipa kapiler dipasang sebagai pengganti katup ekspansi. Tahanan dari pipa kapiler inilah yang dipergunakan untuk mentrotel dan menurunkan tekanan. Parameter yang perlu diperhatikan dalam pemilihan pipa kapiler adalah diameter dan panjang pipa, untuk meningkatkan hambatan dalam pipa kapiler dapat dilakukan dengan jalan memperkecil lubangnya atau memperpanjang pipanya, disamping ini pipa kapiler berguna untuk:

1. Menurunkan tekanan bahan pendingin cair yang mengalir didalamnya
2. Mengatur jumlah bahan pendingin cair yang mengalir melaluinya
3. Membangkitkan tekanan bahan pendingin dikondensor.

2.3.4. Evaporator

Pada diagram Ph dari siklus kompresi uap sederhana, evaporator mempunyai tugas merealisasikan garis 4-1. Setelah refrigeran turun dari kondensor melalui katup ekspansi masuk ke evaporator dan diuapkan, dan dikirim ke kompresor. Padaprinsipnya evaporator hampir sama dengan kondensor, yaitu sama-sama APK yang fungsinya mengubah fasa refrigeran. Bedanya, jika pada kondensor refrigeran berubah dari uap menjadi cair, maka pada evaporator berubah dari cair menjadi uap.

2.4. Refrigeran

Refrigeran adalah fluida kerja utama pada suatu siklus refrigerasi yang bertugas menyerap panas pada temperatur dan tekanan rendah dan membuang panas pada temperatur dan tekanan tinggi. Umumnya refrigeran mengalami perubahan fasa dalam satu siklus.

2.5. Software Cool Pack

Cool Pack dikembangkan oleh Departemen Teknik Mesin (MEK), Bagian Energi Termal (TES) di *Technical University of Denmark* (DTU). Pengembangan *Cool Pack* hingga versi 1.33 telah dibiayai oleh Badan Energi Denmark sebagai bagian dari proyek SysSim. IPU menghosting halaman unduhan *CoolPack*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pemodelan Siklus Kompresi Uap menggunakan R134a

a. Utilitas Refrigerasi

Dengan menggunakan fitur Refrigerant Calculator, diperoleh sifat fisik refrigeran R134a dengan menginput suhu dan tekanan untuk kondisi evaporasi dan kondensasi sebagai berikut:

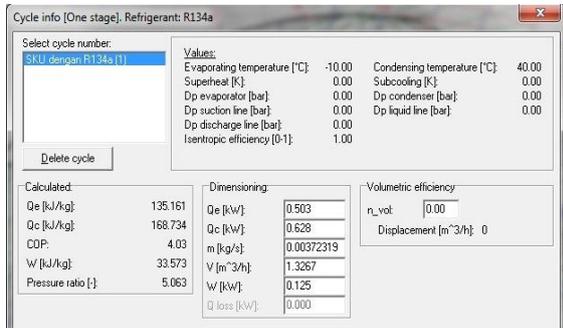
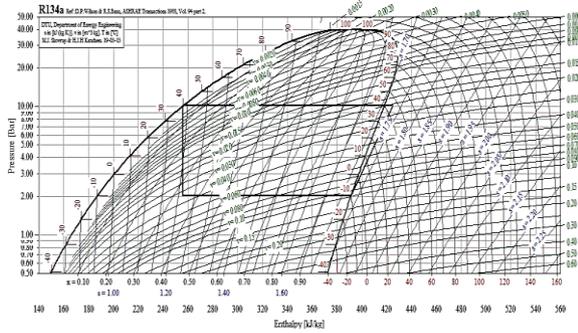
Refrigeran R134a, CH ₂ FCF ₃ , 1,1,1,2- tetra fluoroethane
Sifat fisik yang diperoleh Refrigerant Calculator yaitu:
Poin 1
T = -10.00 °C
p = 200.5200 kPa
v _{gas} = 0.09909 m ³ /kg
h _{gas} = 391.33 kJ/kg
s _{gas} = 1728.34 J/(kg K)
Cp _{gas} = 0.870331759179 kJ/(kg K)

Poin 2
T = 40.00 °C
p = 1016.5000 kPa
v _{gas} = 0.01985 m ³ /kg
h _{gas} = 418.21 kJ/kg
s _{gas} = 1707.08 J/(kg K)
Cp _{gas} = 1.1840636239 kJ/(kg K)

Poin 3
T = 40.00 °C
p = 1016.5000 kPa
v _{Bub} = 0.00087 m ³ /kg
h _{bub} = 256.16 kJ/kg
s _{bub} = 1189.60 J/(kg K)
Cp _{liq} = 1.49573578611 kJ/(kg K)

Poin 4
T = -10.00 °C
p = 200.5200 kPa
v _{Bub} = 0.00075 m ³ /kg
h _{bub} = 186.93 kJ/kg
s _{bub} = 951.54 J/(kg K)
Cp _{liq} = 1.2881536975 kJ/(kg K)

Selanjutnya dilakukan penggambaran siklus kompresi uap untuk masing-masing refrigeran dengan memilih jenis siklus yaitu one stage dan menginput suhu evaporator, suhu kondensor, dan daya kompresor. Penggambaran siklus beserta info siklus dan koordinat poin dapat dilihat pada Gambar 2



Point	T [°C]	P [bar]	v [m ³ /kg]	h [kJ/kg]	s [kJ/(kg K)]
1	-10.000	2.007	0.098984	391.321	1.7282
2	45.717	10.164	0.020684	424.894	1.7282
3	45.717	10.164	0.020684	424.894	1.7282
4	40.000	10.164	N/A	256.160	N/A
5	N/A	2.007	N/A	256.160	N/A
6	-10.000	2.007	0.098981	391.321	1.7282
15	N/A	10.164	N/A	256.160	N/A

Gambar 2. Penggambaran siklus, info siklus, dan koordinat poin SKU R134a

b. Cycle Analysis – One Stage

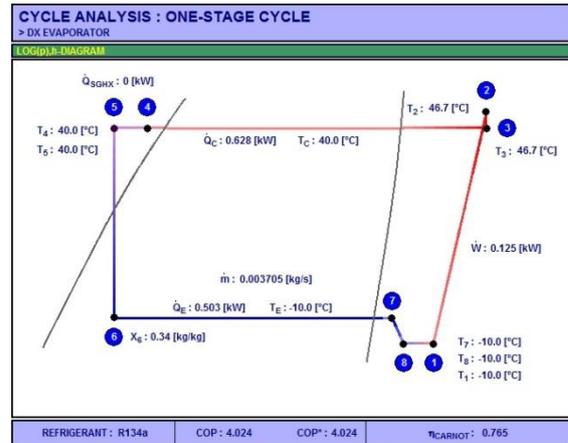
Cycle analysis (analisis siklus) dilakukan dengan mengklik fitur *CoolTools : Cycle Analysis* dan memilih *One-stage cycle with DX evaporator*. Untuk SKU dengan R134a dimulai dengan menginput spesifikasi siklus sesuai dengan hasil Utilitas Refrigerasi seperti Gambar 3.berikut ini.

Kemudian menekan **Calculate** lalu menekan **State Points** untuk menampilkan kondisi suhu tiap poin (titik) seperti Gambar 3.

STATE POINT	TEMPERATURE [°C]	PRESSURE [kPa]	ENTHALPY [kJ/kg]	DENSITY [kg/m ³]	Additional information
1	-10.0	200.7	240.9	10.1	Pressure ratio (p ₂ / p ₁) : 5.067
2	46.7	1016.9	274.6	48.1	
3	46.7	1016.9	274.6	48.1	T _{2,15} is the temperature of the discharge gas assuming reversible and adiabatic compression
4	40.0	1016.9	105.1	1147.5	
5	40.0	1016.9	105.1	1147.5	T _{2,W} is the temperature of the discharge gas assuming real and adiabatic compression
6	-10.0	200.7	105.1	----	
7	-10.0	200.7	240.9	10.1	T _{2,W} is the temperature of the discharge gas assuming real and adiabatic compression
8	-10.0	200.7	240.9	10.1	

Gambar 3. State Points siklus dengan R134a

Selanjutnya menampilkan diagram p-h dengan menekan fitur **Home**, maka akan ditampilkan diagram seperti Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Diagram p-h siklus dengan R134a

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan SKU dan hasil pengujian kinerja SKU secara langsung untuk kotak refrigerasi ikan menggunakan R134a diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju aliran massa refrigeran pada pemodelan SKU diperoleh 0,003705 kg/s sedangkan hasil pengujian diperoleh lebih tinggi sebesar 0,004266 kg/s. Terdapat penambahan kebutuhan refrigeran sebesar 15,14%.
2. Kapasitas evaporator pada pemodelan SKU diperoleh 503 W sedangkan hasil pengujian diperoleh lebih tinggi sebesar 595,21 W. Terdapat peningkatan kapasitas evaporator sebesar 18,33%.
3. Kapasitas kondensor pada pemodelanSKU diperoleh 628 W sedangkan hasil pengujian diperoleh lebih tinggi sebesar 727,91 W. Terdapat peningkatan kapasitas kondensor sebesar 15,90%.
4. COP pada pemodelan SKU diperoleh 4,024 sedangkan hasil pengujian diperoleh lebih tinggi sebesar 4,47. Terdapat peningkatan COP sebesar 11,08%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ikbar, “Potensi sumber daya perikanan di Sumatera Utara,” 2018. [Online]. Available: <https://ikbar-alasyari.blogspot.com/2015/12/potensi-sumberdaya-perikanan-di.html>.
- [2]. DKP Sumut, “Potensi kelautan dan perikanan Provinsi Sumatera Utara,” *Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sumatera Utara*, 2014. [Online]. Available: <http://dkp.sumutprov.go.id/statis-4/potensi.html>.

- [3]. A. ; A. ; R. Handayani, "Pengaruh penyimpanan pada suhu rendah (Freezer) terhadap kandungan air dan kandungan lemak pada ikan Lemuru (*Sardinella longiceps*)," *Al-Kimia*, vol. 2, no. 1, pp. 64–68, 2014.
- [4]. R. Hastrini, A. Rosyid, and P. H. Riyadi, "Analisis penanganan (handling) hasil tangkapan kapal purse seine yang didaratkan di Pelabuhan Perikanan Pantai (PPP) Bajomulyo Kabupaten Pati," *J. Fish. Resour. Util. Manag. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 1–10, 2013.
- [5]. Z. Wu and R. Du, "Design and experimental study of a miniature vapor compression refrigeration system for electronics cooling," *Appl. Therm. Eng. J.*, vol. 31, pp. 1–6, 2011.
- [6]. Y. Yang, W. Yuan, and Y. Liao, "Development of a Miniature Vapor-compression Refrigeration System for Computer CPU Cooling," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 324, pp. 383–386, 2013.
- [7]. W. Yuan, B. Yang, Y. Yang, K. Ren, J. Xu, and Y. Liao, "Development and experimental study of the characteristics of a prototype miniature vapor compression refrigerator," *Appl. Energy*, vol. 143, pp. 47–57, 2015.
- [8]. A. Poachaiyapoom, R. Leardkun, and J. Mounkong, "Case Studies in Thermal Engineering Miniature vapor compression refrigeration system for electronics cooling," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 13, no. December 2018, p. 100365, 2019.
- [9]. W. F. Stoecker and J. W. Jones, *Refrigeration and Air Conditioning*. McGraw-Hill, 1982.
- [10]. G. F. Hundy, A. R. Trott, and T. C. Welch, *Refrigeration and Air-Conditioning*. Elsevier Science, 2008.
- [11]. A. S. H. R. A. E, R. and A.-C. E. American Society of Heating, and K. (Firm), *2008 ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating, and Air-conditioning Systems and Equipment*. ASHRAE, 2008.
- [12]. Jorrit, Wronski; Maarten, and Winter, "CoolPack - IPU," *IPU*, 2019.