

Simulasi Termodinamika Pengaruh Temperatur *Subcooling* di Kondensor Terhadap Kinerja *Cold Storage*

Wenseslaus Bunganaen^{1*}

¹⁻³⁾ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001

*Corresponding author: wbunganaen@yahoo.com

ABSTRAK

Temperatur *subcooling* di kondensor dapat mempengaruhi kinerja sistem refrigerasi secara keseluruhan. Salah satu sistem refrigerasi yang memegang peran penting dalam rantai dingin produk perikanan adalah *cold storage*. Makalah ini membahas studi termodinamika tentang pengaruh temperatur *subcooling* kondensor terhadap kinerja *cold storage* yang beroperasi berdasarkan siklus refrigerasi kompresi uap berdasarkan perangkat lunak *CoolPack*. Temperatur *subcooling* yang divariasikan adalah 5 – 10 Kelvin, dan parameter kinerja sistem yang dianalisis adalah laju aliran massa refrigeran, pelepasan kalor di kondensor, daya kompresor, dan koefisien kinerja sistem. Hasil studi ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur *subcooling* maka laju aliran massa refrigeran semakin berkurang sehingga daya kompresor dan laju pelepasan kalor di kondensor juga berkurang. Dengan demikian maka koefisien kinerja *cold storage* akan meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur *subcooling*.

ABSTRACT

The subcooling temperature in the condenser can affect the overall performance of the refrigeration system. One of the refrigeration systems that plays an important role in the cold chain of fishery products is cold storage. This paper discusses thermodynamic study of the effect of condenser subcooling temperatures on the performance of cold storage that operates based on a vapor compression refrigeration cycle based on the CoolPack software. The subcooling temperatures varied was 5 – 10 Kelvin and the system performance parameters analyzed were refrigerant mass flow rate, heat rejected in the condenser, compressor power and coefficient of performance. The results of this study indicate that as the subcooling temperature increases, the refrigerant mass flow rate decreases so that the compressor power and the rate of heat release in the condenser also decrease. Thus, the performance coefficient of cold storage will increase as the subcooling temperature increases.

Keywords: *subcooling temperature, condenser, coefficient of performance, cold storage*

PENDAHULUAN

Dewasa ini, sistem refrigerasi semakin banyak digunakan seiring dengan kemajuan teknologi dan kebutuhan konsumen untuk mengawetkan makanan dan membekukan ikan. Umumnya penggunaan sistem refrigerasi digunakan dalam industri perikanan, baik di darat maupun di laut karena memiliki peran yang sangat penting dalam mempertahankan mutu hasil tangkapan dan menjaga kualitas kesegaran ikan. Ikan adalah sumber protein hewani yang apabila tidak memperoleh perlakuan tertentu setelah ditangkap dan diangkat dari air maka akan mengalami

penurunan kualitas ke arah membusuk. Oleh karena itu, perlu diadakan suatu teknik yang dapat dilakukan untuk mempertahankan kesegaran ikan agar supaya tetap awet dan layak dikonsumsi. Untuk cara yang lebih efisien, praktis dan rasa ikan tetap seperti semula maka digunakan *cold storage* untuk mempertahankan kualitasnya sehingga bakteri yang menyebabkan penurunan mutu ikan dapat terhambat perkembangannya dan ikan menjadi tidak cepat busuk [1].

Parameter yang mempengaruhi kinerja *cold storage* yang beroperasi berdasarkan siklus refrigerasi kompresi uap adalah temperatur *subcooling* di kondensor dan superheating di evaporator. *Subcooling*

merupakan proses pendinginan cairan refrigeran di bawah temperatur kondensasi. *Subcooling* memberikan 100% cairan refrigeran untuk masuk ke alat ekspansi, dan mencegah gelembung uap yang menghalangi aliran refrigeran melalui katup ekspansi. Jika *subcooling* disebabkan oleh metode perpindahan kalor eksternal ke siklus refrigerasi, pengaruh refrigeran terhadap sistem akan meningkat karena cairan *subcooled* mempunyai entalpi yang lebih rendah daripada cairan jenuh. *Subcooling* berhasil dicapai dengan mendinginkan pipa cairan di sistem menggunakan temperatur sistem yang lebih tinggi [2-4].

Pottker dan Hrnjak (2015) melakukan studi teoritis pengaruh temperatur *subcooling* kondensor terhadap kinerja sistem refrigerasi kompresi uap dengan menggunakan beberapa refrigeran ramah lingkungan. Terlihat bahwa, dengan meningkatnya *subcooling* kondensor, COP mencapai maksimum sebagai akibat dari imbal balik (*trade-off*) antara peningkatan efek refrigerasi dan kerja kompresi tertentu. Sifat-sifat termodinamika yang terkait dengan peningkatan relatif efek refrigerasi, yaitu kalor spesifik cairan dan kalor laten penguapan, dominan untuk menentukan peningkatan COP maksimum dengan *subcooling* kondensor. Refrigeran dengan kalor laten penguapan yang besar cenderung kurang mendapat manfaat dari *subcooling* kondensor. Untuk sistem pengkondisian udara, hasil menunjukkan bahwa R1234yf (8,4%) akan paling diuntungkan dari *subcooling* kondensor dibandingkan dengan R410A (7,0%), R134a (5,9%) dan R717 (2,7%) karena kalor laten penguapannya yang lebih kecil. Di sisi lain, nilai *subcooling* yang memaksimalkan COP tampaknya bukan fungsi yang kuat dari sifat-sifat termodinamika [5].

Hadya (2016) melakukan analisis kinerja sistem refrigerasi kompresi uap sebagai akibat pengaruh temperatur *subcooling* dan *superheating* dari tiga refrigeran berbeda (R22, R32, dan R410A) yang diterapkan di pengkondisian udara. Hasil simulasi untuk *subcooling* dalam sistem refrigerasi secara positif mempengaruhi

kinerja sistem dan semua refrigeran yang diselidiki mendapat manfaat dari peningkatan kinerja. Peningkatan *subcooling* dan *superheating* mengurangi masukan kerja kompresor dan meningkatkan koefisien kinerja. COP untuk R22, R410A dan R32 adalah 2,33; 3,36 dan 3,63. Dibandingkan dengan R410A dan R22, refrigeran R32 menghasilkan COP 7,34% dan 3,6% lebih tinggi. Pengisian refrigeran pada siklus kompresi uap untuk R22, R410A dan R32 adalah 0,8 kg, 0,8 kg dan 0,56 kg yang menentukan ukuran kompresor. Untuk temperatur dan tekanan operasi yang sama, kapasitas pendinginan untuk R32 lebih tinggi daripada refrigeran R22, dan juga mengurangi rasio tekanan serta meningkatkan laju aliran massa pendingin dan koefisien kinerja [6].

Karakurt, dkk. (2016) melakukan analisis *exergetic* dan ekonomi di sistem refrigerasi kompresi uap sebagai akibat pengaruh temperatur *subcooling* dan *superheating*. Efek eksergetik dan ekonomi dari *subcooling* dan *superheating* di sistem refrigerasi kompresi uap dianalisis dan diperiksa dalam hal refrigeran yang berbeda, kondisi kerja (temperatur dan tekanan), efektivitas dan temperatur kondensor dan evaporator serta efisiensi isentropik kompresor atas nama koefisien kinerja, efisiensi eksergetik, koefisien kinerja eksergetik dan koefisien kinerja ekologis. Hasil menunjukkan bahwa variasi temperatur kondensor dan evaporator, kehilangan tekanan di penukar kalor dan efisiensi isentropik kompresor sangat terkait dengan kinerja dan parameter ekonomi seperti luasan pertukaran panas dan konsumsi daya untuk sistem refrigerasi dengan *subcooling* dan *superheating* [7].

Sasongko (2017) menganalisis kinerja mesin refrigerasi kompresi uap pada beberapa variasi *superheating* dan *subcooling*. Alat penelitian yang digunakan adalah instalasi mesin A.C Bench P.A Hilton. Ltd. dengan refrigeran R-22. Derajat *superheating* yang divariasikan yaitu 7,79°C; 8,15°C; 8,65°C sedangkan derajat *subcooling* yang divariasikan adalah 5°C; 6°C; dan 7°C.

Pembebanan *heater* dan *boiler* di evaporator sebagai variabel terkontrol sebesar 2 kW. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar derajat *superheating* dan *subcooling* akan meningkatkan nilai unjuk kerja dari instalasi pengkondisian udara. Nilai unjuk kerja terbesar terdapat pada variasi derajat *superheating* 8,65°C dan derajat *subcooling* 7°C. Nilai terbesar yang diperoleh dari unjuk kerja efek refrigerasi, kerja kompresi, dan COP berturut – turut secara teoritis dan aktual adalah: 179,5 [kJ/kg] ; 190,05 [kJ/kg]; 25 [kJ/kg]; 31,25 [kJ/kg]; 7,18; dan 6,06. Kerja kompresi teoritis cenderung konstan dan dipengaruhi oleh *superheating* dan *subcooling*. Kerja kompresi aktual mengalami peningkatan dan dipengaruhi oleh *superheating* dan *subcooling* [8].

Suparmin, dkk. (2017) meneliti pengaruh derajat temperatur *subcooling* terhadap kinerja refrigerasi dengan menggunakan refrigeran CFC, HFC, dan hidrokarbon. Penelitian ini dilakukan untuk mencari alternatif refrigeran dengan menggunakan hidrokarbon dan penggunaan *subcooling liquid suction heat exchanger* (LSHX) di sistem refrigerasi kompresi uap. LSHX yang digunakan adalah penukar kalor jenis *tube-to-tube*. Refrigeran retrofit digunakan untuk mencari refrigeran pengganti R22, R134a, R404A dengan R600, dan refrigeran campuran R290/R600a dengan perbandingan 50:50. Dari hasil analisis disimpulkan bahwa kenaikan derajat temperatur *subcooling* berpengaruh nyata terhadap efektivitas LSHX, peningkatan kapasitas refrigerasi serta indeks kapasitas refrigerasi, peningkatan kerja kompresor, indeks kerja kompresor, COP dan indeks COP. Parameter indikator campuran refrigeran R290/R600a dengan perbandingan 50:50 dapat digunakan sebagai pengganti R404A dan R22 sedangkan refrigeran R600 dapat digunakan sebagai pengganti R134a pada sistem refrigerasi kompresi uap dengan LSHX [9].

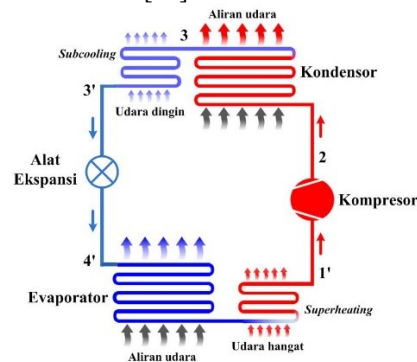
Studi parameter pengaruh temperatur *subcooling* kondensor tipe *wire-on-tube* terhadap kinerja sistem refrigerasi kompresi

uap telah dilakukan oleh Azzouri, dkk. (2017). Tahap pertama penelitian ini adalah pengenalan metodologi analisis yang memungkinkan untuk menentukan COP dari siklus refrigerasi dengan *subcooling* untuk tiga R12, R134a dan R600a yang digunakan sebagai refrigeran. Tahap kedua yaitu, pendekatan analitik dikembangkan untuk menghitung permukaan aditif kondensor *wire-on-tube* yang digunakan di peralatan aplikasi. Variasi rasio temperatur dan tekanan *subcooling* untuk ketiga refrigeran diambil pada semua tahapan penelitian ini. Hasil yang diperoleh melalui penelitian ini menunjukkan bahwa, pada interval temperatur *subcooling* dari 0°C hingga 14°C, permukaan aditif kondensor lebih rendah untuk refrigeran R600a dibandingkan dengan R134a. Selain itu, peningkatan temperatur *subcooling* memainkan peran penting dalam peningkatan efisiensi siklus refrigerasi [9].

Hal ini yang mendorong dilakukan penelitian ini untuk menganalisis pengaruh temperatur *subcooling* di kondensor terhadap kinerja sebuah *cold storage* yang menggunakan refrigeran R404A.

METODE PENELITIAN

Studi ini menggunakan perangkat lunak CoolPack versi 1.50 yang dapat mensimulasikan dengan baik siklus kompresi uap standar dengan menggunakan refrigeran R404A. CoolPack berisi kumpulan program simulasi yang mudah digunakan dan kuat secara numerik [11].

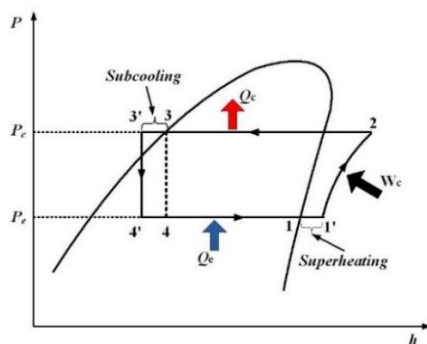


Gambar 1. Skematik refrigerator kompresi

uap dengan *subcooling* dan *superheating*

Dalam siklus kompresi uap standar, uap refrigeran diasumsikan memasuki kompresor sebagai uap jenuh, dan cairan refrigeran sebelum memasuki katup ekspansi diasumsikan sebagai cairan jenuh. Jika dimensi evaporator sedikit diperbesar maka uap jenuh biasanya akan terus menyerap kalor, dan karenanya menjadi uap *superheated* sebelum mencapai kompresor. Dalam praktiknya, ini dikendalikan oleh katup ekspansi. Jika dimensi kondensor sedikit diperbesar maka cairan jenuh akan terus melepaskan kalor, dan menjadi cairan *subcooled* sebelum memasuki katup ekspansi (Gambar 1). *Superheating* dan *subcooling* diterapkan untuk meningkatkan efisiensi sistem [12].

Gambar 2 menyajikan perbandingan diagram P-h dan T-s untuk siklus kompresi uap dengan *subcooling* dan *superheating* (1'-2-3'-4'-1') dan siklus kompresi uap jenuh (1-2-3-4-1). Kapasitas pendinginan per unit massa lebih besar untuk siklus *subcooled* dan *superheated* sehingga laju aliran massa refrigeran per unit kapasitas lebih kecil untuk siklus tersebut daripada siklus jenuh. Disamping itu, peningkatan kapasitas pendinginan secara proporsional lebih besar daripada peningkatan kalor kompresi, sehingga COP siklus *subcooled* dan *superheated* lebih tinggi daripada siklus jenuh.



Gambar 2. Diagram P – h

Refrigeran yang digunakan sistem refrigrasi adalah R404a. Beberapa parameter *cold storage* yang dianalisis dan asumsi yang

digunakan disajikan dalam Tabel 1 dan temperatur *subcooling* rata-rata (ΔT_{SC}) yang divariasikan yaitu 5 – 10 Kelvin.

Tabel 1. Parameter analisis dan asumsi

| Parameter | Nilai |
|--------------------------------|--------|
| Kapasitas refrigrasi, Q_E | 6,3 kW |
| Temperatur evaporasi, T_E | -35°C |
| Temperatur kondensasi, T_C | 35°C |
| Efisiensi isentropik kompresor | 0,8 |

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dimulai dengan menghitung siklus pada *subcooling* dari desain *cold storage* menggunakan perangkat lunak *CoolPack*. Parameter-parameter yang dibutuhkan dan contoh isian serta hasil perhitungan untuk spesifikasi siklus dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

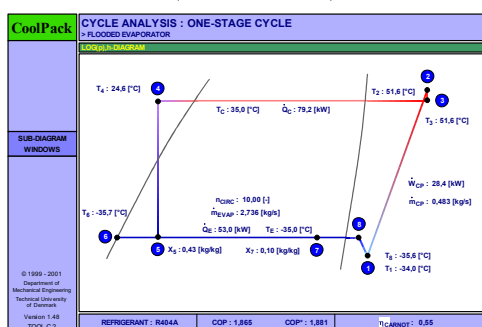
Gambar 3 merupakan contoh isian dan hasil yang diperoleh untuk spesifikasi siklus dengan $\Delta T_{SC} = 10$ K. Beberapa parameter tidak mengalami perubahan dan sesuai dengan format asli perangkat lunak seperti kerugian tekanan (*pressure losses*), kualitas uap keluar evaporator (*quality out of evaporator*), rugi kalor kompresor (*compressor heat loss*), dan sisi hisap (*suction line*).

| CYCLE SPECIFICATION | | | |
|--|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| INPUTS | PROPERTIES | PROPERTIES OF REFRIGERANT | RESULTS |
| T_c [°C] [35.0] | Atmos. [Pa] [1.013] | ρ_{out} [kg/m³] [0.10] | [None] |
| T_e [°C] [35.0] | ΔT_{sc} [K] [10.0] | Atmos. [Pa] [1.013] | |
| RESULTS | | | |
| Cooling capacity \dot{Q}_c [kW] [5.0] | \dot{Q}_e [kW] [53.0] | \dot{Q}_c [kW] [79.2] | η_c [0.483] |
| COMPRESSION CHARACTERISTICS | | | |
| Isentropic efficiency η_{is} [-] [0.8] | η_{is} [0.869] | \dot{W}_{comp} [kW] [28.4] | |
| COMPRESSION HEAT LOSS | | | |
| Heat loss factor f_{cl} [%] [0] | f_{cl} [0.0] | T_c [°C] [35.0] | \dot{Q}_{loss} [kW] [2.86] |
| SUCTION LINE | | | |
| Unavoidable superheat $\Delta T_{SH,SC}$ [K] [0] | \dot{Q}_{sh} [kW] [439] | T_e [°C] [-34.0] | $\Delta T_{SH,SC}$ [K] [0.0] |
| | | COP [1.895] | COP [1.881] |

Gambar 3. Contoh isian dan hasil perhitungan spesifikasi siklus untuk $\Delta T_{SC} = 10$ K

Gambar 4 merupakan hasil analisis siklus satu tingkat (*one-stage*) dengan evaporator yang digunakan adalah jenis *flooded* evaporator. Gambar ini juga menunjukkan temperatur pada masing-masing tingkat keadaan, di mana terlihat bahwa pada

temperatur kondensasi $T_C = 35^\circ\text{C}$ dan $\Delta T_{SC} = 10\text{ K}$ maka temperatur refrigeran dalam keadaan *subcool* saat keluar kondensor adalah $24,6^\circ\text{C}$ ($T_4 = 24,6^\circ\text{C}$). Kualitas uap refrigeran setelah melewati alat ekspansi adalah $0,43$ ($x_5 = 0,43$) sedangkan sebelum meninggalkan evaporator adalah $0,1$ ($x_7 = 0,1$). Untuk temperatur evaporasi $T_E = -35^\circ\text{C}$ laju aliran massa refrigeran dalam keadaan dua fase selama proses penyerapan kalor di evaporator adalah $2,736\text{ kg/s}$ ($m_E = 2,736\text{ kg/s}$) dan kalor yang diserap selama proses ini berlangsung adalah $53,0\text{ kW}$ ($Q_E = 53,0\text{ kW}$).



Gambar 4. Diagram tingkat keadaan siklus satu tingkat untuk $\Delta T_{SC} = 10\text{ K}$

Temperatur refrigeran saat meninggalkan evaporator adalah $-35,6^\circ\text{C}$ ($T_8 = -35,6^\circ\text{C}$) sedangkan temperatur refrigeran sebelum memasuki kompresor adalah $-34,0^\circ\text{C}$ ($T_1 = 34^\circ\text{C}$), dan laju aliran refrigeran dalam keadaan fase uap selama proses kompresi adalah $0,483\text{ kg/s}$ ($m_{CP} = 0,483\text{ kg/s}$). Selama proses kompresi besar daya yang dibutuhkan agar proses ini dapat berlangsung adalah $28,4\text{ kW}$ ($W_{CP} = 28,4\text{ kW}$) dan temperatur refrigeran saat meninggalkan kompresor adalah $51,6^\circ\text{C}$ ($T_3 = 51,6^\circ\text{C}$). Untuk temperatur kondensasi $T_C = 35^\circ\text{C}$ besar kalor yang dilepaskan selama proses ini berlangsung di kondensor adalah $79,2\text{ kW}$ ($Q_C = 79,2\text{ kW}$).

Gambar 5 menunjukkan nilai tekanan, entalpi, dan densitas refrigeran pada setiap tingkat keadaan yang disajikan dalam Gambar 4. Tambahan informasi diberikan yaitu rasio tekanan kompresi uap refrigeran pada sisi hisap dan sisi buang adalah $10,047$ (rasio

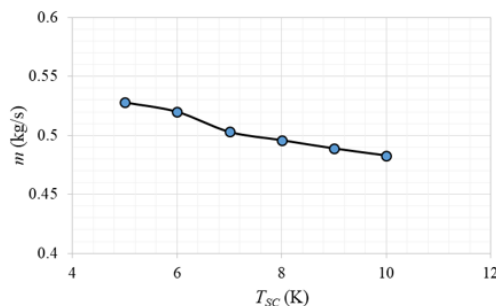
kompresi $p_2/p_1 = 10,047$) dan koefisien kinerja sistem selama proses ini berlangsung adalah $1,865$ ($\text{COP} = 1,865$).

| STATE POINTS | | | | |
|--------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|
| STATE POINT | TEMPERATURE [°C] | PRESSURE [kPa] | ENTHALPY [kJ/kg] | DENSITY [kg/m³] |
| 1 | -34,0 | 162,0 | 199,6 | 8,5 |
| 2 | 51,6 | 1628,1 | 252,6 | 75,6 |
| 3 | 51,6 | 1608,0 | 252,9 | 75,3 |
| 4 | 24,6 | 1608,0 | 88,8 | 1045,2 |
| 5 | -35,4 | 165,6 | 88,8 | — |
| 6 | -35,7 | 165,6 | 5,4 | 1269,6 |
| 7 | -35,6 | 165,6 | 24,8 | — |
| 8 | -35,6 | 165,6 | 199,7 | 8,7 |

| Additional Information | |
|--|-----------|
| Pressure ratio (p_2/p_1) | 10,047 |
| $T_{2,2s}$ | 48,7 [°C] |
| $T_{2,2s}$ is the temperature of the discharge gas assuming reversible and adiabatic compression | |
| $T_{2,w}$ | 56,7 [°C] |
| $T_{2,w}$ is the temperature of the discharge gas assuming real and adiabatic compression | |

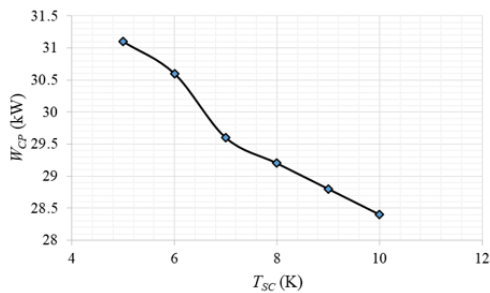
| | |
|------------|------------|
| COP: 1,865 | COP: 1,861 |
|------------|------------|

Gambar 5. Properti termodinamika siklus untuk $\Delta T_{SC} = 10\text{ K}$

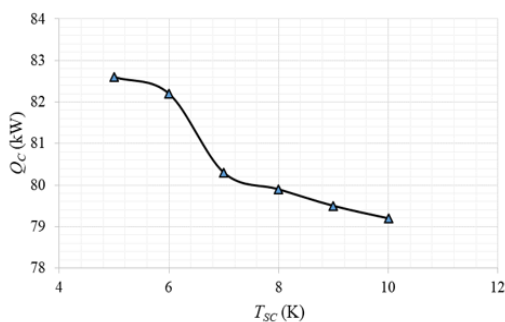


Gambar 6. Pengaruh temperatur *subcooling* terhadap laju aliran massa refrigeran

Gambar 6 menunjukkan pengaruh temperatur *subcooling* di kondensor terhadap laju aliran massa uap refrigeran di kompresor dan dari gambar ini terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur *subcooling* maka laju aliran massa uap refrigeran di kompresor akan semakin berkurang. Hal ini akan berdampak secara langsung terhadap daya kompresi yang dibutuhkan sehingga proses ini dapat berlangsung, di mana daya kompresor pun akan semakin berkurang. Hubungan ini juga terlihat pada Gambar 7, di mana dengan meningkatnya temperatur *subcooling* di kondensor maka daya kompresor semakin berkurang. Dengan demikian maka temperatur *subcooling* sangat berpengaruh terhadap laju aliran massa uap refrigeran di kompresor dan daya kompresor yang dibutuhkan.



Gambar 7. Pengaruh temperatur *subcooling* terhadap daya kompresor

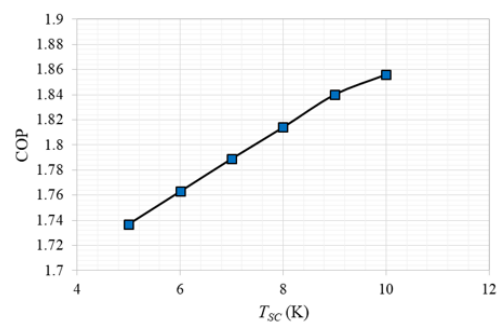


Gambar 8. Pengaruh temperatur *subcooling* terhadap pelepasan kalor di kondensor

Gambar 8 menunjukkan pengaruh temperatur *subcooling* terhadap pelepasan kalor di kondensor, di mana terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur *subcooling* di kondensor maka pelepasan kalor di kondensor akan semakin berkurang. Hal ini lebih diakibatkan oleh daya kompresor yang berkurang saat temperatur *subcooling* meningkat, dan karena terdapat hubungan linier antara daya kompresor dan pelepasan kalor di kondensor maka untuk kasus di mana penyerapan kalor di evaporator dipertahankan konstan maka pelepasan kalor di kondensor lebih dipengaruhi oleh daya kompresor. Dengan semakin berkurangnya daya kompresor maka pelepasan kalor di kondensor juga semakin berkurang.

Gambar 9 menunjukkan pengaruh temperatur *subcooling* terhadap koefisien kinerja sistem, di mana terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur *subcooling* di kondensor maka koefisien kinerja sistem (COP) akan semakin meningkat.

Meningkatnya koefisien kinerja lebih diakibatkan oleh berkurangnya daya kompresor dan ini hanya berlaku untuk kasus di mana penyerapan kalor di evaporator dipertahankan konstan. Studi teoritis ini telah dapat menggambarkan pengaruh temperatur *subcooling* terhadap kinerja sistem di mana untuk sistem yang telah dalam keadaan stedi, kinerjanya dapat ditingkatkan dengan meningkatkan temperatur *subcooling* di kondensor.



Gambar 9. Pengaruh temperatur *subcooling* terhadap koefisien kinerja.

KESIMPULAN

- Studi teoritis pengaruh temperatur *subcooling* di kondensor sebuah *cold storage* yang beroperasi berdasarkan siklus refrigerasi kompresi uap dengan refrigeran R404A telah dilakukan untuk memprediksi kinerja sistem. Hasil analisis untuk kasus di mana penyerapan kalor di evaporator dipertahankan konstan menunjukkan bahwa dengan meningkatnya temperatur *subcooling* kondensor maka laju aliran massa refrigeran akan semakin menurun sehingga berdampak langsung pada berkurangnya daya kompresor dan laju pelepasan kalor di kondensor sehingga akan meningkatkan kinerja sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Wohangara, L. U. L., Dwinanto, M. M., dan Koehuan, V. A., 2019, "Perbandingan Kinerja Cold Storage Menggunakan Beberapa Refrigeran Alternatif", *Prosiding SAINSTEK IV*, Kupang, 25 Oktober, 461 – 469.
- [2]. Servianus, Y. V., Dwinanto, M. M., dan Jafri, M., 2019, "Analisis Teoritis Pengaruh Temperatur *Subcooling* Terhadap Kinerja *Batch Air Blast Freezer* Menggunakan *Software Coolselector®2*", *Prosiding SAINSTEK IV*, Kupang, 25 Oktober, 256 – 264.
- [3]. Fongo, P. E. F., Dwinanto, M. M., dan Sanusi, A., 2019, "Pengaruh Temperatur *Subcooling* Kondensor Terhadap Kinerja *Cold Storage* Menggunakan Perangkat Lunak *CoolPack 1.5*", *Prosiding SAINSTEK IV*, Kupang, 25 Oktober, 433 – 439.
- [4]. Luan, F. F. R., Dwinanto, M. M., dan Tarigan, B. V., 2019, "Analisis Pengaruh Temperatur *Superheat* Terhadap Koefisien Kinerja *Cold Storage* Menggunakan *Coolselector®2*", *Prosiding SAINSTEK IV*, Kupang, 25 Oktober, 222 – 230.
- [5]. Pottker, G., and Hrnjak, P., 2015, "Effect of the condenser *subcooling* on the performance of vapor compression system", *International Journal of Refrigeration*, Vol. 50, 156-164.
- [6]. Hadya, B., 2016, "Analysis of vapour compression refrigeration system with *subcooling* and *superheating* with three different refrigerants for air-conditioning application", *International Journal of Engineering Sciences and Research Technology*, 70-77.
- [7]. Karakurt, A. S., Gunes, U., and Ust, Y., 2016, "Exergetic and economic analysis of *subcooling* and *superheating* effect on vapor compression refrigeration system", *Proceedings of the ASME 2016 Power Conference*, June 26-30, 59492, 1-6.
- [8]. Sasongko, M. N., 2017, "Unjuk kerja mesin pendingin kompresi uap pada beberapa variasi *superheating* dan *subcooling*", *SAINTEK II*, E26-123 – E26-127.
- [9]. Suparmin, P., Antono, V., and Nurhasanah, R., 2017. "Effect degree of temperature *subcooling* in the performance of refrigeration with CFC, HFC, and hydrocarbons refrigerant", *MATEC Web of Conferences 101*, 03002, 1-6.
- [10]. Azzouzi, D., Kelkouli, M., and Amaryoucef, F., 2017, "Parametric study of the wire-on-tube condenser *subcooling* effect on the performance of vapor compression refrigeration system", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 122, 528-534.
- [11]. Jakobsen A, Rasmussen B. D., Skovrup M. J., and Andersen, S. E., "CoolPack–A Collection of Simulation Tools for Refrigeration", Department of Energy Engineering, Technical University of Denmark (DTU), Denmark, 2001.
- [12]. Sencan A., Selbas R., Kizilkan O., and Kalogiru S. A., 2006, "Thermodynamic analysis of *subcooling* and *superheating* effects of alternative refrigerants for vapour compression refrigeration cycles", *International Journal of Energy Research*, Vol. 30, 323–347.