



Perancangan *Water Cooled Scroll Chiller* R290 dengan Kapasitas 20 TR menggunakan *Software CoolPack*

Berkah Fajar T. K.^{1,2}, Satrio Budi Prakoso², Widayat Widayat^{1,3,*}, M. Djaeni^{1,3}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,

²Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

³Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*Corresponding author: widayat@lecturer.undip.ac.id

(Received: March 12, 2024; Accepted: April 29, 2024)

Abstract

Design of Water Cooled Scroll Chiller R290 with 20 TR Capacity using CoolPack Software. The world's energy consumption is increasing with increasing demands for convenience and population. Global warming occurs due to energy consumption and increased the use of Air Conditioner. Global warming is also contributed by refrigerant emissions into the atmosphere. Many researchers are trying to create replacement refrigerants to reduce global warming. The cause of global warming is caused by element F of a refrigerants. R290 as a natural refrigerant is a more environmentally friendly refrigerant with ODP (Ozone Depletion Potential) value is 0 and GWP (Global Warming Potential) value is 3. This design was made to develop a chiller using R290 refrigerant. The design includes cycle analysis, dimensioning, and design drawings for the Chileer's cooling capacity of 20 TR (70.3 kW). Cycle and dimensioning analysis is performed using CoolPack software. The result of cycle and dimension analysis is a chiller with a cooling capacity of 70.3 kW, compressor power of 20.2 kW, and 3.45 of COP. The main equipment selected was Copeland Emerson for compressors with a power of 20.2 kW, Bitzer DH2-163 for evaporators, Alfa Laval CXP 143-XS-2P for condensers, Danfoss TGE 10-11 for expansion valves, and Packless HXR-250A for LSHX (Liquid Suction heat Exchanger).

Keywords: *global warming, energy, propane, chiller, CoolPack*

Abstrak

Konsumsi energi dunia meningkat dengan bertambahnya tuntutan kenyamanan dan jumlah penduduk. Pemanasan global terjadi karena konsumsi energi dan meningkatnya penggunaan *Air Conditioner*. Pemanasan global juga disumbangkan oleh emisi refrigeran ke atmosfer. Banyak peneliti mencoba menciptakan refrigeran pengganti untuk mengurangi pemanasan global. Penyebab pemanasan global ini disebabkan unsur F yang terdapat di refrigeran. R290 sebagai refrigeran alami adalah refrigeran yang lebih ramah lingkungan dengan nilai ODP (*Ozone Depletion Potential*) adalah 0 dan nilai GWP (*Global Warming Potential*) adalah 3. Perancangan ini dilakukan untuk mengembangkan *chiller* menggunakan refrigeran R290. Perancangan ini meliputi analisis siklus, *dimensioning*, dan gambar perancangan untuk *Chilleer* kapasitas pendinginan 20 TR (70,3 kW). Analisis siklus dan *dimensioning* dilakukan menggunakan perangkat lunak *CoolPack*. Hasil analisis siklus dan dimensi adalah sebuah *chiller* dengan kapasitas pendinginan 70,3 kW, daya kompresor 20,2 kW, dan 3,45 COP. Peralatan utama yang dipilih adalah *Copeland Emerson* untuk kompresor dengan daya 20,2 kW, Bitzer DH2-163 untuk evaporator, Alfa Laval

CXP 143-XS-2P untuk kondensor, Danfoss TGE 10-11 untuk katup ekspansi, dan Packless HXR-250A untuk LSHX (*Liquid Suction heat Exchanger*).

Kata kunci: *global warming, energy, propane, chiller, CoolPack*

How to Cite This Article: Kiono, B. F. T., Prakoso, S. B., Widayat, W., Djaeni, M. (2024). Perancangan Water Cooled Scroll Chiller R290 dengan Kapasitas 20 TR menggunakan Software CoolPack. *JPII*, 2(2), 79-83. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2024.20998>

PENDAHULUAN

Energi sangat penting bagi kehidupan kita. Teknologi membantu dan meringankan kehidupan manusia, tetapi teknologi selalu membutuhkan energi. Manusia telah menggunakan energi sejak zaman prasejarah untuk membuat senjata 70 ribu tahun yang lalu (Rhodes & Churchill, 2009). Secara umum energi diperoleh dari proses pembakaran energi fosil, dimana selama proses pembakaran tersebut menghasilkan karbon dioksida (CO₂). Gas ini menyebabkan pemanasan global (Anderson et al., 2016). Oleh karena itu untuk mengurangi pemanasan global dibutuhkan teknologi yang hemat energi.

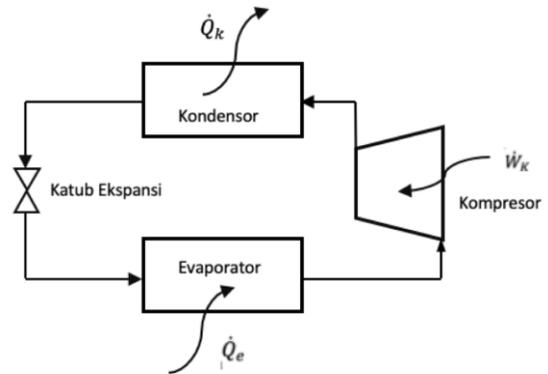
Pemanasan global dimulai saat awal era revolusi industri. Emisi karbon dioksida meningkat sejak ditemukan mesin uap dan motor pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*). Penyebab pemanasan global selain karbon dioksida adalah refrigeran (HCFC dan CFC) metana, dan nitrogen oksida (Narayan, 2007).

Gas CFC pada pendinginan memiliki efek negatif terhadap lingkungan. Jika gas CFC dilepaskan ke udara, refrigeran tersebut dapat merusak ozon di lapisan stratosfer atmosfer (Wang, 2021). Para peneliti menemukan bahwa ada kerusakan ozon di atmosfer di seluruh dunia antara tahun 1970 dan 1980 (Angel & Korshover, 1983). CFC adalah *Chlorofluorocarbons*, sedangkan HCFC adalah *Hydrochlorofluorocarbons*. Kedua jenis refrigeran tersebut mengandung unsur Cl dan F.

Penipisan ozon terjadi dengan keterlibatan atom klorin bebas yang akan bereaksi dengan ozon (Sivasakthive & Reddy, 2011). Penipisan lapisan ozon di atmosfer menyebabkan kanker kulit dan penurunan imunitas pada manusia. Unsur F dari refrigeran tersebut menyebabkan efek rumah kaca atau pemanasan global. Oleh karena itu CFC dan HCFC dapat menyebabkan perusakan lapisan ozon dan pemanasan global (Wang, 2001). Oleh karena itu banyak peneliti mencoba merancang sistem pendingin yang dapat mengurangi penipisan ozon dan pemanasan global.

Siklus Refrigerasi

Pada perancangan ini adalah perancangan *chiller* dengan jenis mesin pendingin siklus kompresi uap. Siklus pendinginan tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem pendingin

Komponen utama siklus ini adalah kompresor, kondensor, evaporator dan katup ekspansi. Fungsi kompresor adalah untuk mengalirkan dan menaikkan tekanan refrigeran. Refrigeran masuk kompresor dalam fasa gas dan dikompresikan menuju kondensor. Tekanan dan temperatur refrigeran keluar kompresor meningkat. Kemudian refrigeran ini dikondensasikan oleh sebuah kondensor. Refrigeran keluar kondensor dalam fasa cair, kemudian refrigeran ini diekspansi oleh sebuah katup ekspansi. Temperatur dan tekanan refrigeran menurun setelah keluar katup ekspansi. Kemudian refrigeran mengalir ke sebuah evaporator untuk mengambil panas dari ruang yang dikondisikan.

Untuk merancang sebuah *chiller* siklus kompresi uap, maka perlu mengetahui persamaan untuk menentukan daya kompresor, kapasitas pendinginan, perpindahan panas di kondensor, asumsi yang digunakan di katup ekspansi dan COP (*Coefficient of Performance*). Berikut adalah persamaan untuk menentukan besaran-besaran penting dalam perancangan:

a. Kapasitas pendinginan

Kapasitas pendinginan adalah besaran yang menunjukkan kemampuan mesin pendingin menyerap panas dari ruang yang dikondisikan. Persamaan 1 adalah persamaan untuk menentukan kapasitas sebuah mesin pendingin.

$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (1)$$

b. Perpindahan panas di kondensor

Fungsi kondensor adalah melepas panas supaya refrigeran berubah fasa dari fasa gas menjadi fasa cair.

Proses ini disebut proses kondensasi. Panas yang dikeluarkan kondensator dapat dilihat di persamaan 2.

$$\dot{Q}_k = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (2)$$

c. Daya kompresor

Daya kompresor adalah daya yang dibutuhkan untuk mengkompresi dan mengalirkan refrigeran. Daya tersebut dapat ditentukan dengan persamaan (3)

$$\dot{W}_k = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (3)$$

d. Proses entalpi konstan di katup ekspansi.

Refrigeran masuk katup ekspansi berada pada fasa cair, kemudian masuk ke katup ekspansi untuk menurunkan tekanan refrigeran dari tekanan kondensor menjadi tekanan evaporator. Pada proses ini diasumsikan tidak terjadi perpindahan panas, maka proses ini dapat dinyatakan sebagai proses entalpi konstan. Proses ini dapat ditentukan dengan persamaan 4.

$$h_3 = h_4 \quad (4)$$

e. *Coefficient of Performance (COP)*

Unjuk kerja dari sebuah mesin pendingin dinyatakan oleh *Coefficient of Performance (COP)*. COP adalah rasio antara panas yang diserap di evaporator dan daya yang dibutuhkan oleh kompresor. Unjuk kerja ini dapat dilihat di persamaan 5.

$$COP = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{W}_k} \quad (5)$$

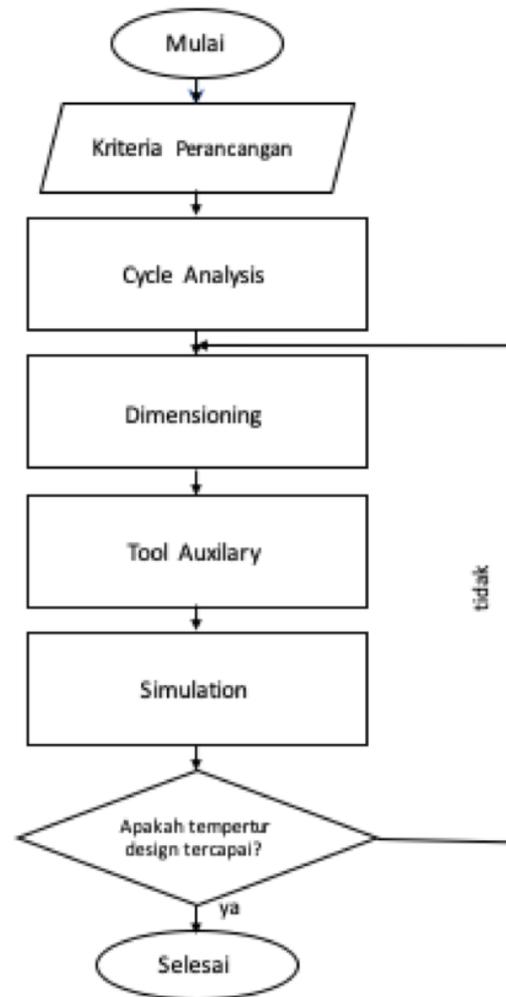
Chiller Design

Buscemi et al. melakukan penelitian membandingkan 2 *chiller*, dimana satu *chiller* menggunakan pendingin udara dan satu *chiller* menggunakan pendingin air. Hasil penelitian ini menunjukkan *chiller* berpendingin air mempunyai COP rata-rata lebih sebesar 53,2% dibandingkan *chiller* berpendingin udara (Buscemi, 2022). Wang et al. meneliti beberapa *chiller* dengan kompresor *screw* yang didinginkan oleh air yang disusun seri. Hasilnya adalah bahwa nilai COP meningkat sebesar 26%, dan efisiensi eksergi adalah 22%. Peningkatan efisiensi tidak terjadi ketika jumlah pendingin yang dibuat secara seri lebih dari 4 (Wang et al., 2022).

METODE PENELITIAN

Perancangan *chiller* menggunakan *software CoolPack*, sedangkan untuk gambar hasil rancangan

menggunakan *SOLIDWORK*. Diagram alir perancangan ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir

Perancangan ini diawali dengan kriteria perancangan, yaitu temperatur yang akan dicapai dan beban pendinginan. Kemudian ditentukan refrigeran yang akan digunakan dan kondisi refrigeran di sisi kondensator dan evaporator.

Tahap berikutnya adalah melakukan analisis siklus. Hasil analisis ini adalah proses diagram mesin pendingin pada P vs h diagram dan COP mesin pendingin.

Berdasarkan hasil dari analisis siklus dan katalog komponen utama, maka dilakukan proses *dimensioning*. Hasil dari proses ini adalah P vs h diagram dan COP setelah siklus menggunakan kompresor, kondensator dan evaporator dari data katalog.

Pada tahap berikutnya adalah melakukan koreksi kompresor, evaporator dan kondensator dengan bantuan *tool auxiliary*. Kemudian dilakukan simulasi dengan

menentukan siklus untuk menghitung temperatur dan beban pendinginan yang akan dicapai dengan menggunakan data dari katalog yang sudah dikoreksi. Apabila temperatur yang akan dicapai dan beban pendinginan hasil simulasi sudah tercapai, maka perancangan selesai. Jika belum tercapai, maka proses *dimensioning* diulangi lagi dengan menggunakan data katalog dengan model seri yang baru.

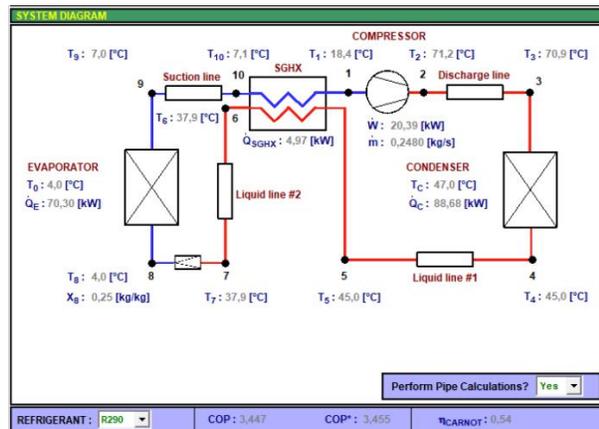
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Siklus Pendinginan

Langkah ini memasukkan parameter ke dalam perangkat lunak *CoolPack*, yang menghitung siklus pendinginan. Parameter input untuk perhitungan analisis siklus ditunjukkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter input untuk perancangan

Parameter (Unit)	Value
$T_{\text{evaporator}}$ (°C)	4
$T_{\text{condenser}}$ (°C)	47
$\Delta T_{\text{superheat}}$ (K)	3
$\Delta T_{\text{subcooling}}$ (K)	2
Δp_{sl} (K)	0,5
Δp_{al} (K)	0,5
LSHX Efficiency	0,3
Refrigerant	R290 (Propane)
Cycle Capacity (kW)	70,3
Compressor Efficiency	0,7
Compressor Heat Loss (%)	10
Unuseful superheat (K)	1



Gambar 3. Hasil simulasi

Hasil simulasi *water cooled Chiller* R290 dapat dilihat di Gambar 3. Temperatur refrigeran masuk evaporator adalah 4°C dan keluar evaporator sebesar 7°C, kapasitas pendinginan sebesar 20TR (70,3 kW) dan COP nya adalah 3,447.

Adapun spesifikasi masing-masing komponen adalah sebagai berikut :

a. Evaporator

Suhu *chilled water* yang masuk dan keluar evaporator ditentukan sebesar 7°C dan 12°C. Desain evaporator ditargetkan memiliki kapasitas pendinginan 70,3 kW. Kapasitas pendinginan evaporator dalam katalog dengan TD (*Temperature Difference*) 8K dan SHR (*Sensible Heat Ratio*) 100 persen adalah 70,3 kW. Nilai LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) dalam perhitungan adalah 5,1K. Nilai UATD (*Overall Conductance of Temperature Difference*) adalah 8,788 kW/K dan UALMTD (*Overall Conductance of Log Mean Temperature Difference*) adalah 13,79 kW/K. Evaporator yang akan dipilih berdasarkan perhitungan *dimensioning* pada *software CoolPack* katalog Bitzer adalah DH2-163.

b. Kompresor

Hasil pengukuran dimensi pada *software CoolPack* menunjukkan bahwa kompresor yang dibutuhkan memiliki daya sebesar 20,39 kW dengan efisiensi sebesar 68%. Menghitung daya evaporator katalog dengan nilai 69,44 kW dengan kondisi suhu evaporator 4°C, suhu kondensor 47°C, suhu hisap gas 18°C, dan efisiensi volumetrik 0,8, maka dipilih 2 kompresor untuk mengatasi beban parsial. Kompresor *Copeland Emerson YB97K1G-TFD* dipilih dalam desain ini.

c. LSHX (*Liquid Suction Heat Exchanger*)

LSHX yang digunakan didasarkan pada perhitungan menggunakan *software CoolPack* dengan asumsi efisiensi LSHX adalah 30% (Setyawan, 2018) dan penurunan tekanan pada gas hisap adalah 0,2K. Hasil pengukuran dimensi pada LSHX adalah perpindahan panas total yang terjadi pada 4,97 kW dengan suhu refrigeran yang masuk ke sisi gas adalah 7,1°C, suhu refrigeran yang meninggalkan sisi gas adalah 18,4°C, suhu refrigeran yang memasuki sisi cair adalah 45°C. Suhu refrigeran yang keluar dari sisi cair adalah 37,9°C. Karena terdapat 2 sisi gas pada saluran hisap, maka dipilih LSHX dengan daya perpindahan panas minimal 2,485 kW atau 3,4 HP. LSHX yang dipilih adalah Packless HXR-250A.

d. Katup Ekspansi

Pemilihan katup ekspansi dimulai dengan memasukkan desain sistem pendingin *chiller* ke dalam *software Coolselector* dengan berbagai parameter seperti suhu evaporator, suhu kondensor, *subcooling*, tipe refrigeran, dan tipe katup ekspansi. Katup ekspansi yang dipilih adalah Danfoss TGE 10-11 dengan kapasitas pendinginan maksimum 73 kW.

e. Pipa

Pipa yang digunakan berdasarkan perhitungan pipa menggunakan *software Coolselector2* dari Danfoss. Hasil pemilihan pipa pendingin ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pemilihan pipa

Komponen	Spesifikasi pipa	Length
Suction Pipe	JB Industries Copper 2 5/8 inch	1 meter
Liquid Pipe	JB Industries Iron 1 1/4 inch	3 meter
Discharge Pipe	JB Industries Copper 1/2 inch	3 meter

KESIMPULAN

Komponen *water cooled Chiller* dengan kapasitas 20 TR pada Tabel 3.

Tabel 3. Komponen *water cooled Chiller*

Komponen	Spesifikasi	Jumlah
Evaporator	Bitzer DH2-163	1 pcs
Condenser	Alfa Laval CXP 143-XS-2P	1pcs
Compresor	Copeland Emerson YB97K1G-TFD-JCE	2 pcs
Expansion Valve	Danfoss TGE 10-11	1 pcs
LSHX	Packless HXR-250A	1 pcs
Suction Pipe	JB Industries Copper 2 5/8 inch	1 meters
Liquid Pipe	JB Industries Iron 1 1/4 inch	3 meters
Discharge Pipe	JB Industries Copper 1/2 inch	3 meters
Controllor	Danfoss AK-CC 210	2 pcs
Compressor Oil	Zerol RFL 68EP	6,76 liters
Isolator	Armaflex	7 meters
Temperature Sensor	Danfoss AKS 11	2 pcs

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Fakultas Teknik melalui Program Penelitian Strategis Dana Hibah RKAT Fakultas Teknik Undip Tahun Anggaran 2023 sehingga perancangan ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson, T. R., Hawkins, E. & Jones, P. D., 2016. CO2, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour*, 40(3), pp. 178-187.

Angel, J. K. & Korshover, J., 1983. Global Variation in Total Ozone and Layer-Mean Ozone: An Update Thought 1981. *Journal of Climate and Applied*

Meteorology, 22 (*American Meteorological Society*), pp. 1611-1627.

ASHRAE, 2019. *Designation and Safety Classification of Refrigerants*. Atlanta: ASRAE.

Buscemi, A., Catrini, P., Piacentino, A. & Cardona, F., 2022. Energy-saving potential of ground source multiple chillers in simple and hybrid configurations for Mediterranean climates. *Energy Conversion and Management*, Volume 263, pp. 1-16.

Colbourne, D. & Ritter, T. J., 2002. *Quantitative risk assessment of flammable refrigerants in room air conditioners*. West Lafayette, Purdue University.

Colbourne, D., 2018. *International Safety Standards in Air Conditioning, Refrigeration & Heat Pump*. West Lafayette, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Danfoss, 2020. *IEC 60335-2-89 Flammable Refrigerant Limit Change*. [Online]

Narayan, C., 2007. *emissions mitigation through prescribed burning, s.l.* EFI Technical Report.

Rhodes, J. A. & Churchill, S. E., 2009. Throwing in the Middle and Upper Paleolithic: inferences from an analysis of humeral retroversion. *Journal of Human Evolution*, Volume 56, pp. 1-10.

Setyawan, A., 2018. Efektivitas Liquid Suction Heat Exchanger (LSHX) pada Mesin Refrigerasi dengan R404A pada Berbagai Tingkat Subcooling. *ReTH*, pp. 211-218.

Sivasakthive, S. & Reddy, K. K., 2011. Ozone Layer Depletion and Its Effects: A Review. *International Journal of Environmental Science and Development*, Volume 2, pp. 30-37.

Wang, C. et al., 2022. Potential evaluation of water-cooled multiple screw chillers with serial water loops and development of ultra-efficient dual screw chillers. *Applied Thermal Engineering*, Volume 210, pp. 1-10.

Wang, J., Cao, Y. & Wang, J., 2021. Land-atmosphere fluxes and concentrations of CFC-11 and CFC-12 based on in situ observations from a coastal salt marsh in eastern China: Implications for CFC remediation. *Marine Pollution Bulletin*, pp. 1-11.

Wang, S. K., 2001. *Handbook Of Air Conditioning And Reffrigeration*. 2 ed. New York: McGraw-Hill.