

Analisa Pengaruh Modifikasi Pemasangan *Solenoid Valve* Pada Mesin *Chiller* Di Kantor BKN Pusat

Rulan Fazriawan & Delvis Agusman

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika,
Jl. Tanah Merdeka No.6, RT.10/RW.05, Rambutan, Kec. Ciracas, Kota Jakarta Timur,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta
Email: Rfazri27@gmail.com,
Corresponding author: delvis.agusman@uhamka.ac.id

Abstrak

Mesin pendingin ruangan yang digunakan di kantor BKN Pusat adalah Mesin *chiller air-cooled*. Mesin *chiller* ini beroperasi dengan memanfaatkan sistem kompresi gas. Empat bagian penting dalam Sistem kompresi gas yaitu: kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Sistem kompresi gas akan bekerja berulang-ulang selama mesin *chiller* diaktifkan. Permasalahan pada sistem ini adalah ketika mesin *chiller* dinonaktifkan refrigeran (R134A) cair akan kembali ke kompresor sehingga dapat menyebabkan kebocoran/mampet. Untuk menjaga *chiller* berada dalam keadaan normal maka dipasanglah *solenoid valve* diantara aliran evaporator menuju kompresor. *Solenoid valve* adalah katup elektromagnetik yang berfungsi untuk mengontrol aliran udara ataupun air. Pada penelitian ini, pengujian dilakukan terhadap mesin *chiller* yang sudah di pasang *solenoid valve* dan yang belum dipasang. Hasil dari penelitian adalah kompresor mesin *chiller* yang sudah dipasang *solenoid valve* memiliki suhu yang lebih stabil. Masa pakai kompresor yang suhunya stabil lebih panjang.

Kata Kunci: *Solenoid valve, Mesin Chiller, Kantor BKN Pusat, Kompresor*

Abstract

The air conditioning machine used at Head office BKN is air-cooled chiller machine. This chiller machine works by utilizing a vapor compression cycle. The four main components in the vapor compression cycle are: compressor, condenser, expansion valve and evaporator. The vapor compression cycle will run repeatedly as long as the chiller machine is activated. The problem with this cycle is that when the chiller machine is deactivated, the liquid refrigerant (R134A) will return to the compressor, which can cause leaks/clogging. To keep the chiller in normal condition, a solenoid valve is installed between the evaporator flow and the compressor. A solenoid valve is an electromagnetic valve that functions to control the flow of air or water. In this research, tests were carried out on chiller machines that had solenoid valves installed and those that had not been installed. The results of the research are that chiller machine compressors that have solenoid valves installed have a more stable temperature. Life time of a compressor with a stable temperature is longer.

Keywords: *Solenoid valve, Chiller machine, Head office BKN, Compressor*

1. PENDAHULUAN

Mesin pendingin sebagian besar digunakan pada Industri dan perkantoran. Mesin pendingin ruangan yang digunakan di kantor BKN Pusat adalah Mesin *chiller air-cooled*. Mesin *chiller* ini beroperasi memanfaatkan sistem kompresi gas.

Sistem kompresi gas merupakan sistem sirkulasi refrigeran atau fluida penukar kalor

yang terus-menerus. Empat bagian penting dalam Siklus kompresi uap yaitu: kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Ketika berada pada siklus, refrigeran terus berubah jenis fasenya mulai dari gas hingga menjadi cair, lalu kembali menjadi gas lagi. Proses itu terjadi pada tekanan dan suhu yang berbeda, seperti tekanan rendah dan tekanan

tinggi (*high pressure*). *High pressure* terjadi akibat kompresor melakukan kompresi.

Permasalahan pada siklus kompresi uap adalah ketika mesin chiller dinonaktifkan refrigeran (R134A) cair akan kembali ke kompresor sehingga dapat menyebabkan kebocoran/mampet. Pada pokok permasalahan ini maka untuk menjaga chiller berada dalam keadaan normal dipasanglah solenoid valve diantara aliran evaporator menuju kompresor.

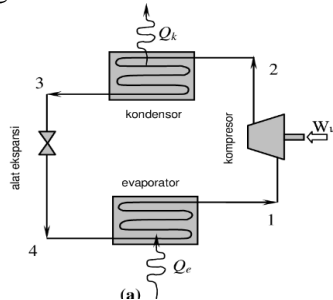
Solenoid valve adalah katup elektromagnetik yang berfungsi untuk mengontrol aliran udara ataupun air. Solenoid valve dapat digunakan pada beberapa instalasi sistem pendingin. Katup Solenoid terbuka jika dialirkan arus listrik dan katup solenoid akan tertutup ketika arus listrik putus. Pemasangan solenoid valve ditujukan untuk mencegah refrigeran cair dari evaporator masuk ke dalam kompresor.

Penelitian ditujukan untuk mengetahui hasil dan pengaruh perbandingan antara mesin chiller yang sudah dimodifikasi solenoid valve dengan mesin chiller yang belum dimodifikasi solenoid valve.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem kompresi gas

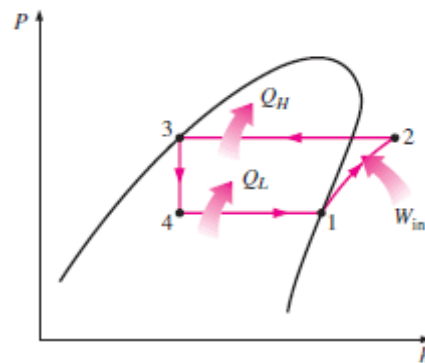
Cairan pendingin (Refrigeran) yang bersirkulasi dalam sistem tertutup dinamakan sistem kompresi gas. Refrigeran berfungsi untuk menyerap kalor di ruangan yang ingin didinginkan dan kemudian melepaskan kalor tersebut ke lingkungan. Ketika berada di dalam sistem, refrigeran terus berubah bentuk mulai dari gas menjadi cair, lalu kembali menjadi gas. Proses itu terjadi pada tekanan dan suhu yang berbeda, seperti tekanan rendah dan tekanan tinggi. Tekanan tinggi terjadi karena kompresor melakukan kompresi. Pada gambar 1 menunjukkan diagram alur suatu sistem kompresi gas sederhana.



Gambar 1 Diagram alur suatu sistem kompresi gas sederhana

Sistem kompresi uap menggunakan 4 komponen utama yang bekerja bersamaan, seperti: Evaporator untuk menguapkan refrigeran cair. Kompresor digunakan untuk meningkatkan tekanan gas refrigeran. Kondensator digunakan untuk mendinginkan gas refrigeran agar berubah menjadi cairan. Katup ekspansi digunakan untuk mengurangi tekanan dari refrigeran cair sebelum masuk ke evaporator. Gangguan pada salah satu komponen bisa membuat pendinginan gagal.

Gambar 2 menunjukkan siklus yang terjadi pada pendingin kompresi uap, termasuk kompresi, kondensasi, ekspansi, dan evaporasi. Berikut adalah proses pendinginan uap menggunakan diagram P - h.



Gambar 2 P-h diagram kompresi uap ideal

Gambar 2 memperlihatkan P-H diagram siklus pendinginan kompresi uap yang ideal dengan jumlah kalor yang diserap Q_L dan jumlah kalor yang dilepas Q_H . Proses kompresi (1-2) dijelaskan bekerja isentropik, berada pada garis entropi yang sama. Proses kondensasi (2-3) bekerja pada tekanan dan temperatur yang tetap, sehingga berada di garis mendatar. Proses ekspansi (3-4) bekerja pada keadaan isenthalpy, sehingga $h_3 = h_4$. Ini berarti garis tegak lurus pada entalpi yang sama. Proses penguapan atau evaporasi (4-1) berlangsung pada tekanan tetap, namun pada temperatur penguapan yang terjadi di titik pertemuan antara garis embun dan garis jenuh cairan.

Setiap langkah dalam siklus diukur dengan besaran yang dapat ditentukan secara matematik. Dalam Termodinamika, pada proses pendinginan yang pressure-nya tetap, seperti pada proses evaporasi dan kondensasi dalam mesin pendingin uap, panas yang

diserap sama dengan perubahan entalpi, $dq = dh$.

Oleh karena itu, panas yang digunakan untuk menguapkan refrigerant adalah:

$$Q_{\text{evaporator}} = h_1 - h_4 \tag{1}$$

Juga diketahui bahwa dalam proses kompresi, Kerja spesifik kompresor dihitung dengan rumus.:

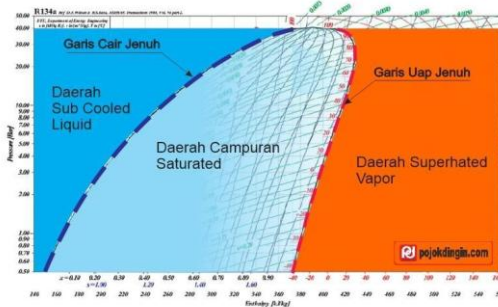
$$W_{\text{spesifik}} = h_2 - h_1 \tag{2}$$

Coefficient of Performance (COP) dari mesin pendingin dihitung dengan rumus.:

$$COP = \frac{Q_{\text{evaporator}}}{W_{\text{spesifik}}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{3}$$

2.2 P-H diagram

P-H chart / P-H diagram adalah sebuah diagram yang menunjukkan kondisi refrigeran dalam berbagai status termodinamika sebagai titik atau garis yang dipetakan pada diagram P-H. Jika diketahui dua sifat refrigeran, Maka dapat dipetakan titik pada diagram P-H untuk menunjukkan kondisinya. Setelah status titik dipetakan, maka dapat ditentukan sifat lainnya pada diagram P-H. Gambar 3 menunjukkan pemetaan tiga area penting pada diagram P-H.



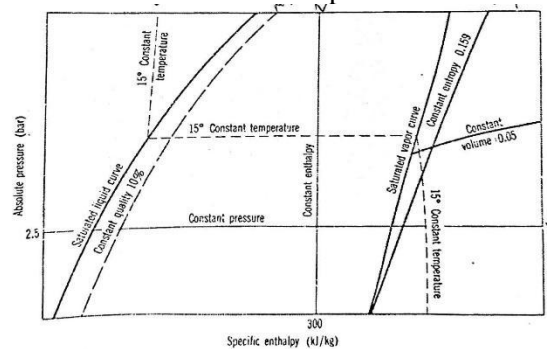
Gambar 3 Pemetaan tiga area pada P-H Diagram

Pembagian tiga area dibatasi oleh kurva garis cair jenuh dan kurva garis uap jenuh, yaitu:

- Subcooled liquid region (super dingin) Pada area ini cairan pendingin/refrigeran berada dalam kondisi fase cair. Peristiwa ini terjadi

saat refrigeran keluar dari kondensor dan masuk ke katup ekspansi. area ini dijelaskan dengan garis cair jenuh yang menunjukkan kondisi dimana refrigeran sepenuhnya berada dalam bentuk cair 100%

- Saturated region (area saturasi) Pada area ini refrigeran mengalami perubahan fase. Perubahan dari cair ke gas terjadi secara bertahap dari kiri ke kanan dan perubahan dari gas ke cair terjadi secara bertahap dari kanan ke kiri. Di tengah-tengah zona jenuh/saturasi, terdapat daerah campuran refrigeran cair dan gas dalam perbandingan yang sama.
- Superheat vapor region (panaslanjut) Refrigeran di daerah ini berada dalam kondisi uap yang dipanaskan lebih lanjut. Daerah ini terbatas oleh garis uap jenuh dimana refrigerant berada dalam keadaan 100% uap.



Gambar 4 Pemetaan tekanan, suhu dan entalpi P-H Diagram

Pada gambar 4 memperlihatkan Pemetaan tekanan, suhu dan entalpi P-H Diagram. Terdapat beberapa garis pada diagram berikut:

- Garis konstan Temperatur Garis vertikal yang memotong garis saturasi liquid dan paralel dengan garis konstan entalpi
- Garis konstan entalpi Garis vertikal dari atas ke bawah melintasi diagram
- Garis konstan tekanan Garis horizontal dari kiri ke kanan yang melintasi bagian Tengah diagram
- Garis konstan kualitas

Garis skala yang menampilkan perbandingan jumlah refrigeran cair dan gas.

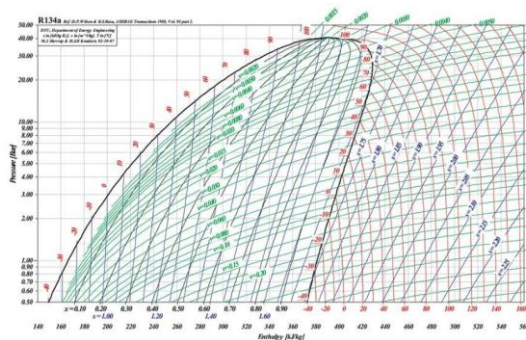
- Garis konstan entropi
Garis yang dipetakan dengan garis lengkung ke atas melalui garis uap jenuh atau saturated vapor.

2.3 Refrigeran

Proses pendinginan adalah ketika energi panas dalam ruangan dipindahkan. Diperlukan fluida penukar panas yang disebut refrigeran untuk memindahkan energi panas dalam ruang.

Refrigeran perlu memenuhi persyaratan tertentu untuk memastikan performa mesin pendingin berjalan efisien. Refrigeran juga aman untuk digunakan karena tidak beracun dan sulit terbakar. Sifat-sifat yang harus dimiliki oleh refrigeran adalah:

- titik didih rendah
- Tekanan stabil
- Panas laten tinggi
- Cepat berembun pada suhu ruangan
- Mudah bercampur dengan oli dan tidak merusak
- Tidak mudah terbakar
- Bebas racun



Gambar 5 Diagram refrigeran R134A

Pada gambar 5 memperlihatkan diagram refrigerant R134A. R-134a merupakan Freon hydro fluoro carbon yang berfungsi sebagai refrigerant pada sistem pendingin. Pendingin jenis ini tidak mengandung chloro, sehingga aman dan tidak akan merusak lapisan ozon. Ciri-ciri dari R-134a ini yaitu:

- Titik didih berada pada 26,1 derajat celcius pada setiap 1 atm
- Tekanan penguapan 668 Kpa setelah mencapai suhu 25 derajat celcius

- Tekanan kritis pada 4060 Kpa
- Tidak korosif
- Struktur kimianya stabil
- Kemampuan dielektriknya tinggi

3. METODOLOGI

Adapun lokasi penelitian ini dilakukan pada Kantor BKN Pusat, Jl. Mayjen Sutoyo No. 12 Kramatjati, Jakarta Timur. Metodologi yang dilakukan yaitu dengan membandingkan unjuk kerja mesin chiller antara yang sudah dipasang solenoid valve dengan yang belum dipasang. Ruang lingkup penelitian yaitu pengukuran temperatur kompresor pada saat kondisi mesin chiller mati untuk membandingkan pengaruh dari solenoid valve yang dipasang. Data temperatur kompresor ditampilkan pada tabel 1 dan tabel 2. Pengujian diambil selama 180 menit untuk mengetahui penurunan suhu kompresor.

Pengambilan data refrigerant didapat dari tampilan display mesin chiller. Pengambilan data dilakukan untuk menghitung *Coefficient of Performance* (COP). Data refrigeran ditampilkan pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel. 1 Data Temperature kompresor Chiller dengan menggunakan Solenoid valve.

Waktu setelah mesin off (menit)	Temperature (°C)
0	52,7
15	51,5
30	47,3
45	45,2
60	42,9
75	41,4
90	39,0
105	38,7
120	38,3
135	37,6
150	37,1
165	37,0
180	37,0

Tabel. 2 Data Temperature kompresor Chiller tanpa menggunakan Solenoid valve

Waktu setelah mesin off (menit)	Temperature (°C)
0	49,9
15	48,2
30	46,3
45	44,4

60	42,9
75	39,6
90	37,3
105	34,0
120	29,9
135	26,6
150	24,1
165	22,0
180	20,1

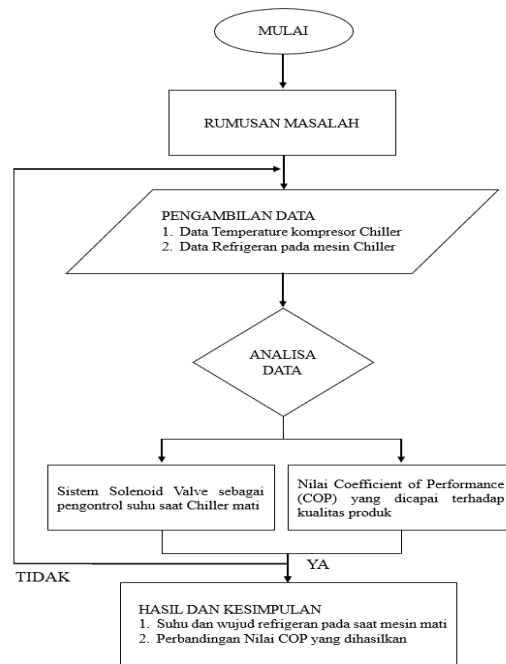
Tabel. 3 Data Refrigerant R134a pada chiller yang menggunakan Solenoid valve.

Data Refrigeran	Hasil data
Tekanan Tinggi (kPag)	1507
Tekanan Rendah (kPag)	249
Temp. masuk Evaporator (°C)	-4,4
Temp. masuk Kompresor (°C)	5
Temp. masuk Kondensor (°C)	58,1
Temp. Keluar Kondensor (°C)	32,6

Tabel. 4 Data Refrigerant R134a pada chiller tanpa menggunakan Solenoid valve.

Data Refrigeran	Hasil data
Tekanan Tinggi (kPag)	1522
Tekanan Rendah (kPag)	239
Temp. masuk Evaporator (°C)	2,7
Temp. masuk Kompresor (°C)	-5,5
Temp. masuk Kondensor (°C)	58,5
Temp. Keluar Kondensor (°C)	32,6

Diagram alir dalam penelitian ini ditunjukkan seperti dibawah ini:

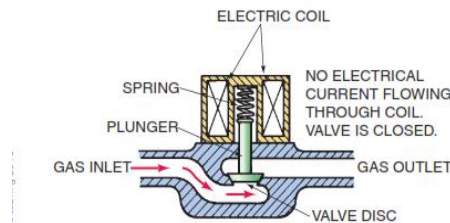


Gambar 6 Diagram Penelitian

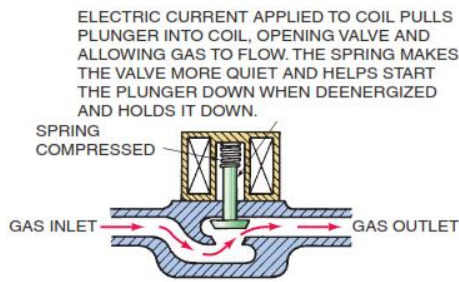
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisa Solenoid Valve Sebagai Kontrol Refrigeran

Katup kontrol solenoid dioperasikan secara elektromekanis untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Katup ini biasanya digunakan untuk mengatur pergerakan gas atau cairan secara otomatis, sehingga tidak perlu dioperasikan secara manual. Misalnya, fungsi utama katup solenoid dalam sistem pendinginan adalah untuk mengontrol aliran refrigeran. Kinerja sistem semacam itu biasanya dipertahankan dengan fungsi on/off sederhana.

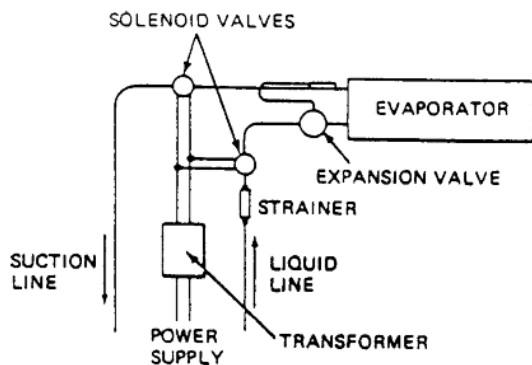


Gambar 7 Solenoid valve normally close position



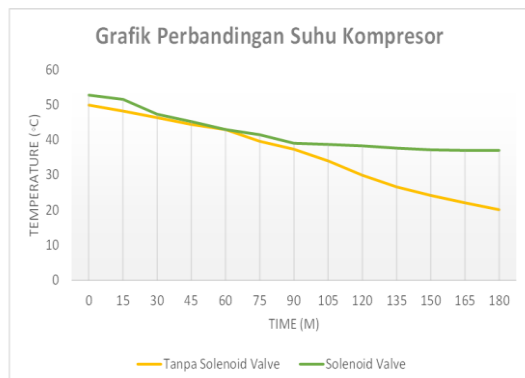
Gambar 8 Solenoid valve open position

Fungsi Solenoid Valve pada siklus ini adalah untuk mencegah refrigerant dari evaporator masuk kedalam kompresor ketika mesin chiller dinonaktifkan agar tidak bocor/mampet. Untuk menjaga chiller berada dalam keadaan normal maka dipasanglah solenoid valve diantara aliran evaporator menuju kompresor. Pemasangan Solenoid valve ditunjukkan seperti gambar 9.



Gambar 9 Penempatan solenoid valve pada sistem

Dari hasil data penelitian yang sudah diambil dari tabel 1 dan tabel 2 didapatkan grafik perbandingan suhu kompresor seperti dibawah ini Gambar 10.



Gambar 10 Grafik Perbandingan Suhu kompresor

Pengambilan data pada saat kondisi mesin chiller off. Pengujian diambil selama 180 menit untuk mengetahui penurunan suhu kompresor. Mesin yang belum dipasang solenoid valve Penurunan suhu kompresornya dari 49,9 °C mencapai suhu 20,1 °C. Sedangkan, mesin yang sudah dipasang solenoid valve penurunan suhu kompresornya dari 52,7 °C dan berhenti di 37 °C. Hasilnya adalah mesin chiller yang belum dipasang solenoid valve mengalami penurunan suhu kompresor yang lebih cepat dibandingkan mesin chiller yang sudah dipasang solenoid valve.

4.2 Perhitungan COP

Perhitungan *Coefficient of Performance* (COP) dari data refrigerant yang menggunakan solenoid valve ditunjukkan pada tabel 3. Diketahui:

$$P_1 = 249 \text{ kPag} = 2,49 \text{ Bar}$$

$$P_2 = 1507 \text{ kPag} = 15,07 \text{ Bar}$$

$$T_1 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 58,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 32,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_4 = -4,4 \text{ }^\circ\text{C}$$

Nilai entalpi diperoleh dengan bantuan software tlk-energy. Parameter yang dimasukkan adalah temperatur dan tekanan refrigeran R134a pada data yang sudah didapat saat penelitian. Untuk mendapatkan nilai q evap dan w spesifik, kita dapat menghitung selisih perubahan entalpi.

Diketahui:

$$H_1 = 405 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 430 \text{ kJ/kg}$$

$$H_3 = H_4 = 245,5 \text{ kJ/kg}$$

Maka:

$$Q_{\text{evaporator}} = H_1 - H_4 \tag{1}$$

$$Q_{\text{evaporator}} = 405 - 245,5$$

$$Q_{\text{evaporator}} = 159,5 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{\text{spesifik}} = H_2 - H_1 \tag{2}$$

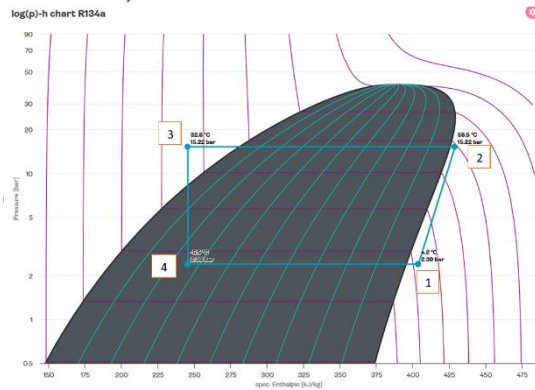
$$W_{\text{spesifik}} = 430 - 405$$

$$W_{spesifik} = 25 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{Q_{evaporator}}{W_{spesifik}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad [3]$$

$$COP = \frac{159,5}{25}$$

$$COP = 6,38$$



Gambar 11 Diagram P-H pada chiller menggunakan solenoid valve

Perhitungan *Coefficient of Performance* (COP) dari data refrigerant yang tanpa menggunakan solenoid valve ditunjukkan pada tabel 4.

Diketahui:

$$P_1 = 239 \text{ kPag} = 2,39 \text{ Bar}$$

$$P_2 = 1522 \text{ kPag} = 15,22 \text{ Bar}$$

$$T_1 = 4,2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 58,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_3 = 32,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_4 = -5,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Nilai entalpi diperoleh dengan bantuan software *tlk-energy*. Parameter yang dimasukkan adalah temperatur dan tekanan refrigeran R134a pada data yang sudah didapat saat penelitian. Untuk mendapatkan nilai *q* eva dan *w* spesifik, kita dapat menghitung selisih perubahan entalpi.

Diketahui:

$$H_1 = 405 \text{ kJ/kg}$$

$$H_2 = 430 \text{ kJ/kg}$$

$$H_3 = H_4 = 245,5 \text{ kJ/kg}$$

Maka:

$$Q_{evaporator} = H_1 - H_4 \quad [1]$$

$$Q_{evaporator} = 403,75 - 245,5$$

$$Q_{evaporator} = 158,25 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{spesifik} = H_2 - H_1$$

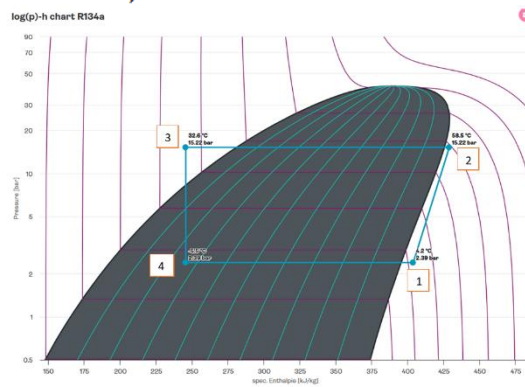
$$W_{spesifik} = 428,85 - 403,75$$

$$W_{spesifik} = 25,1 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{Q_{evaporator}}{W_{spesifik}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad [3]$$

$$COP = \frac{158,25}{25,1}$$

$$COP = 6,30$$



Gambar 12 Diagram P-H pada chiller tanpa menggunakan solenoid valve

5. SIMPULAN

a. Kesimpulan

Kesimpulan dari Penelitian yang sudah dilakukan pada mesin chiller adalah:

1. Sistem solenoid valve sebagai pengontrol aliran refrigeran dinilai efektif untuk mengatur refrigeran yang berfase cair dari evaporator tidak masuk kedalam kompresor. Hal ini dibuktikan dari hasil Penurunan suhu kompresor dari 49,9 °C mencapai suhu 20,1 °C. Sedangkan, mesin yang sudah dipasang solenoid valve penurunan suhu kompresornya dari 52,7 °C dan berhenti di 37 °C. Refrigeran di dalam kompresor harus tetap dalam kondisi gas. Hal tersebut untuk menjaga kompresor dari kerusakan.
2. Nilai COP yang dicapai pada mesin chiller yang menggunakan solenoid valve lebih besar dibanding yang tidak menggunakan solenoid valve. Hal tersebut menandakan

bahwa sistem kontrol dengan solenoid valve menambah efektifitas kerja refrigerasi mesin.

b. Saran

Saran dari Penelitian yang sudah dilakukan pada mesin chiller adalah:

1. Refrigeran di dalam kompresor harus tetap dalam kondisi gas. Hal tersebut untuk menjaga kompresor dari kerusakan.
2. Penentuan nilai entalpi untuk menghitung COP perlu dilakukan dengan beberapa software. Hal itu untuk mempermudah perhitungan COP, jika parameter yang diambil banyak.

KEPUSTAKAAN

- [1] Iskandar, Soetyono Ch & Muhsin, Z., *Mesin Pendingin*, Makassar: Deepublish. (2017).
- [2] Miller, Rex. and Miller, Mark R, *Air Conditioning and Refrigeration*, New York: McGraw-Hill. (1976).
- [3] Althouse, Andrew D. dkk., *Modern Refrigeration and Air Conditioning*, Illinois: Goodheart-Willcox. (2017).
- [4] Whitman, William C. dkk., *Refrigeration & Air Conditioning Technology*, New York: Delmar. (2012).
- [5] Vedavarz, Ali. dkk., *Handbook of Heating Ventilation and Air Conditioning for Design and Implementation*, New York: Industrial Press Inc. (2007).
- [6] Rizkia, Nanda Dwi. dkk., *Metodologi penelitian*, Bandung: Media Sains Indonesia. (2020).
- [7] Mashendra., *Analisa Sistem Control Ekspansi Valve Sebagai Pengendali Temperatur Chiller*, Medan: Skripsi Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. (2017).
- [8] Sutrisna. Eka., *Unjuk Kerja Sistem Refrigerasi dan Tata Udara AC Presisi Pada Kondisi Aliran Udara Tertutup dengan Variasi Buka-an Katup Kondenser Reheat*, Depok: Skripsi Fakultas Teknik Universitas Indonesia. (2011).