

SKRIPSI

**ANALISA SISTEM KONTROL
EKSPANSI VALVE SEBAGAI PENGENDALI TEMPERATUR CHILLER**

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Menyelesaikan Pendidikan Sarjana S-1

Jurusan : Teknik Elektro

Disusun oleh :

MASHENDRA

1307220036



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

LEMBAR PENGESAHAN- I

TUGAS AKHIR

ANALISA SISTEM KONTROL EKSPANSI VALVE SEBAGAI PENGENDALI TEMPERATUR CHILLER

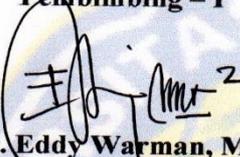
Disusun Oleh :

MASHENDRA

1307220036

Diperiksa dan Disetujui Oleh :

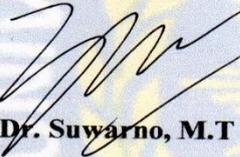
Pembimbing – I


(Ir. Eddy Warman, M.T)

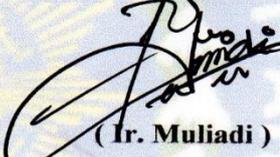
Pembimbing – II


(Rimbawati, S.T., M.T)

Pembanding – I


(Dr. Suwarno, M.T)

Pembanding - II


(Ir. Muliadi)

Diketahui oleh :

Program Studi Teknik Elektro
Ketua


(Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakkatuh.

Segala puji dan syukur dipanjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat Nya telah diberikan kesehatan dan kelapangan sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Merupakan salah satu syarat guna memperoleh gelar sarjana Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Adapun judul dari tugas akhir ini adalah “**ANALISA SISTEM KONTROL EKSPANSI VALVE SEBAGAI PENGENDALI TEMPERATUR CHILLER**”.

Selama penulisan ini berlangsung, penulis menyadari bahwa tanpa bantuan kedua orang tua serta bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis turut mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak **Rahmatullah, ST., M.Sc.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak **Faisal Irsan Pasaribu, ST, S.Pd, M.T.** selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
3. Bapak **Partaonan Harahap, ST** selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro.
4. **Ir. Eddy Warman, M.T.** selaku dosen pembimbing I yang telah menyediakan waktu dan tenaga serta pemikirannya didalam mengarahkan penulisan dalam penyusunan skripsi ini.
5. **Rimbawati, S.T., M.T.** selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu dan tenaga serta pemikirannya didalam mengarahkan penulisan dalam penyusunan skripsi ini.

6. Seluruh **Staf Administrasi dan Dosen – dosen Program Studi Teknik Elektro** Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah membantu dalam teori dan ilmu yang telah diberikan.
7. Kedua orang tua dan seluruh keluarga, yang selalu setia mendukung dalam doa dan selalu setia menemani dalam setiap suka dan duka.
8. Kepada teman – teman serta rekan – rekan mahasiswa teknik elektro lainnya, yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga segala bantuan yang saya terima mendapat balasan yang layak dari Allah SWT. Akhir kata saya mengharapkan semoga tulisan ini bermanfaat bagi kita semua. Amin.

Medan, 21 Agustus 2017

Penulis

MASHENDRA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL
LEMBAR PENGESAHAN
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vi
ABSTRAK	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar belakang masalah.....	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Metodologi Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Landasan Teori.....	7
2.2.1 Siklus Kompresi Uap	7
2.3 Water Chiler.....	14
2.3.1 Prinsip Kerja Water Chiller.....	15
2.3.2 Komponen Utama Mesin Chiller	16
2.3.3 Menara Pendingin	20
2.3.4 Instalasi Chiller	21
2.4 Pengontrolan Katup Ekspansi	22
2.4.1 Kontrol Proporsional Integral (PI)	23
2.4.2 Driver Katup Solenoid	26
2.5 Perpindahan Kalor.....	26
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1 Lokasi Penelitian.....	28

3.2	Jalannya Penelitian.....	28
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Unjuk Kerja Katup Ekspansi Termostatik	32
4.2	Unjuk Kerja Kontrol Katup Ekspansi Otomatis Pada Mesin Chiller.....	33
4.3	Perhitungan Perpindahan Panas	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		44
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran..	45

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Carnot	8
Gambar 2.2 Siklus Kompresi Uap	11
Gambar 2.3 Prinsip Kerja Water Chiller	16
Gambar 2.4 Kompresor	17
Gambar 2.5 Kondensor Shell and Tube	18
Gambar 2.6 Katup Ekspansi	18
Gambar 2.7 Diagram Alir Menara Pendingin	20
Gambar 2.8 Diagram Alir Instalasi Chiller	22
Gambar 2.9 Blok Diagram Pengendali Katup Solenoid	23
Gambar 2.10 Diagram Rangkaian PI Analog	23
Gambar 2.11 Rangkaian Error Detector	24
Gambar 2.12 Rangkaian Kontroller PI	25
Gambar 2.13 Rangkaian Driver Katup Solenoid	27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	31
Gambar 4.1 Katup Ekspansi Termostatik	32
Gambar 4.2 Skematis Cara Kerja Katup Ekspansi Termostatik	33
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pendinginan dengan Menggunakan Kontrol Ekspansi Katup Otomatis dan Tanpa Kontrol Katup Otomatis Katup Ekspansi	34
Gambar 4.4 Diagram Pressure dengan Enthalpy Siklus Kompresi Uap	35
Gambar 4.5 Grafik perbandingan debit air terhadap nilai COP terhadap katup ekspansi (KET) dengan menggunakan katup dan tidak menggunakan katup	39
Gambar 4.6 Grafik pengaruh debit air pada temperatur air keluar water chiller	40
Gambar 4.7 Kemasan dengan Proses Pendinginan yang Baik	42
Gambar 4.8 Kemasan dengan Proses Pendinginan yang Kurang Baik	43

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data temperatur chiller pada saat menggunakan kontrol solenoid pada katup ekspansi.....	29
Tabel 3.2 Data temperatur chiller pada saat tanpa menggunakan kontrol solenoid pada katup ekspansi	30
Tabel 4.1 Hasil penelitian water chiller dengan katup solenoid pada katup ekspansi	37
Tabel 4.2 Hasil penelitian water chiller dengan katup solenoid pada katup ekspansi	38

ABSTRAK

Mesin pendingin yang paling banyak digunakan saat ini adalah mesin pendingin yang beroperasi dengan siklus kompresi uap (SKU). Pada siklus refrigeran akan tersirkulasi melalui empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Alat ekspansi berfungsi mengekspansikan cairan refrigeran bertekanan dan bertemperatur tinggi dari kondensor sampai tekanan dan temperaturnya rendah serta mengatur pemasukan refrigeran sesuai dengan beban pendinginan yang dapat dilayani oleh evaporator. Pada pokok permasalahan bagaimanakah sistem kontrol katup ekspansi sebagai pengendali temperatur chiller dan berapakah selisih temperatur yang dicapai terhadap kualitas produk. Katup ekspansi termostatik dengan katup solenoid mempunyai nilai *COP* antara 7,08 hingga 14,1, sedangkan katup ekspansi termostatik tanpa katup solenoid mempunyai nilai *COP* antara 17,5 hingga 16,6. Sehingga katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid ketika digunakan pada sistem pendingin *water chiller* mempunyai performansi dan efek pendinginan yang lebih baik dibandingkan dengan tidak menggunakan katup solenoid. Pada katup ekspansi dengan menggunakan katup solenoid dapat menyerap kalor sebesar 28764 BTU/H, dengan temperatur 10 °C sedangkan dengan tidak menggunakan katup solenoid hanya dapat menyerap kalor sebesar 13705 BTU/H dengan temperatur 14 – 18 °C, perbedaan penyerapan kalor ini akan berdampak pada kualitas produk itu sendiri.

Kata kunci : mesin chiller, katup ekspansi, perubahan temperatur, kualitas produk

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Mesin pendingin yang paling banyak digunakan saat ini adalah mesin pendingin yang beroperasi dengan siklus kompresi uap (SKU) atau yang dikenal dengan mesin chiller. Mesin pendingin siklus kompresi uap memiliki empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator.

Proses penyerapan kalor terjadi di evaporator, cairan refrigeran (zat/fluida pendingin) didalam evaporator yang berada pada temperatur dan tekanan rendah akan mengambil/menyerap panas dari botol yang dihasilkan dari mesin produksi, sehingga refrigeran yang berubah fasa menjadi uap dan menurunkan temperatur pada botol tersebut. Uap refrigeran pada temperatur dan tekanan rendah kemudian dihisap oleh kompresor sehingga temperatur dan tekanannya naik. Panas dari uap refrigeran yang tekanan temperaturnya naik, kemudian dibuang ke luar ruangan/lingkungan di kondensor, sehingga uap refrigeran akan mengembun (kondensasi) menjadi cairan. Agar proses pendinginan dapat berlangsung, maka cairan refrigeran yang bertemperatur dan tekanan tinggi di kondensor perlu diturunkan temperatur dan tekanannya agar pengambilan panas dapat berlangsung kembali.

Pada pokok persoalnya menyangkut sebuah alat yakni katup ekspansi. Katup ekspansi yang dipasang setelah kondensor yang menyebabkan temperatur dan tekanan cairan refrigeran turun, panas yang dihasilkan dari sirkulasi proses produksi akan diserap kembali oleh cairan refrigeran di evaporator melalui media air sebagai penghantar panas.

Alat ekspansi berfungsi mengekspansikan cairan refrigeran bertekanan dan bertemperatur tinggi dari kondensor sampai tekanan dan temperaturnya rendah serta mengatur pemasukan refrigeran sesuai dengan beban pendinginan yang dapat dilayani oleh evaporator. Alat ekspansi akan mengatur aliran refrigeran baik secara manual maupun otomatis. Alat ekspansi yang banyak digunakan adalah jenis pipa kapiler dan jenis katup ekspansi termostatik (*Thermostatic Expansion Valve/TEV*).

Katup ekspansi termostatik (KET) adalah katup ekspansi serbaguna dan paling banyak digunakan dalam sistem pendingin. Sebuah KET akan mempertahankan tingkat *superheat* konstan di ujung keluar evaporator, karena itu TEV adalah yang paling efektif untuk evaporator kering dalam mencegah kerusakan kompresor karena refrigeran cair tidak boleh masuk ke kompresor. Pada saat beban pendingin bertambah, cairan refrigeran di evaporator akan menguap lebih banyak, sehingga temperatur *superheat* akan naik. Kenaikan temperatur dari evaporator akan menyebabkan cairan refrigeran yang sama yang terdapat dalam *sensing bulb* akan menguap yang menyebabkan naiknya tekanan. Tekanan ini akan menekan diafragma ke bawah sehingga katup terbuka lebih besar, selanjutnya cairan refrigeran dari kondensor akan mengalir lebih banyak ke dalam evaporator. Temperatur *superheat* di evaporator akan kembali berubah dan menyesuaikan dengan beban pendinginan.

Berdasarkan uraian diatas maka tugas akhir ini akan melakukan analisis sistem kontrol ekspansi. Komporasi penggunaan katup ekspansi dilakukan pada sebuah mesin pendingin air untuk mengetahui terhadap perubahan temperatur yang mungkin terjadi pada sistem pendingin.

1.2 Rumusan Masalah

Dilihat dari pokok permasalahan, agar tujuan utamanya lebih terfokuskan serta rumusan masalah dititik beratkan antara lain :

1. Bagaimanakah sistem kontrol katup ekspansi sebagai pengendali temperature chiller ?
2. Berapakah selisih temperatur yang dicapai terhadap kualitas produk ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Mengetahui sistem kontrol katup ekspansi sebagai pengendali temperature chiller
2. Mengetahui selisih temperatur yang dicapai terhadap kualitas produk.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini akan dibatasi dengan batasan – batasan agar lebih terarah dan fokus pada tujuan yakni :

1. Katup ekspansi menghembuskan gas refrigeran sehingga evaporator menjadi dingin.
2. Katup ekspansi dikombinasikan dengan katup solenoid.

1.5 Metodologi Penelitian

Adapun metode penelitian ini sebagai berikut :

1. Studi literatur
2. Observasi atau Riset

1.6 Sistematika Penulisan

Langkah – langkah yang pertama dilakukan dalam penelitian ini yakni mempersiapkan hal – hal diperlukan antara lain buku – buku pendukung serta diskusi dengan dosen pembimbing maupun dengan rekan kerja. Untuk mendapat penelitian yang terarah, maka pembahasan dilakukan dalam beberapa bab, yaitu:

Bab I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan masalah, batasan masalah dan metode penulisan serta sistematika penulisan.

Bab II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas landasan teori yang merupakan penunjang didalam perencanaan dan pembuatan tugas akhir.

Bab III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bagian bab ini akan dipapar tentang lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, data penelitian, jalannya penelitian serta jadwal penelitian.

Bab IV ANALISA DAN HASIL PENGUJIAN

Pada bab ini akan membahas mengenai analisis berupa data yang akan diteliti serta hasil dari data yang diteliti.

Bab V PENUTUP

Pada bagian bab ini membahas kesimpulan dari pengujian data serta saran dari penyusun skripsi ini.

Daftar Pustaka

Lampiran

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan memberikan dampak positif pada perkembangan dunia elektronik khususnya pada bidang sistem kontrol. Pada saat ini banyak teknologi yang sudah menggunakan alat kontrol otomatis. Hal tersebut disebabkan karena keinginan manusia untuk memenuhi kebutuhan dan mendapatkan fasilitas akan kemudahan dan efisiensi dalam berbagai bidang. Aplikasi teknik elektro khususnya pada bidang sistem kontrol dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari untuk menciptakan kemudahan dan fasilitas bagi manusia (Putra, 2013).

Chiller adalah mesin pendingin yang digunakan untuk mendinginkan air sebagai media pendingin (penukar panas). *Chiller* terdiri dari beberapa instrumen yang terintegrasi menjadi satu, yaitu: *compressor*, *condensor*, *katup ekspansi* dan *evaporator*. Untuk mendistribusikan air dingin hasil produksi *chiller* digunakan pompa-pompa distribusi. Pompa-pompa distribusi berfungsi untuk mendistribusikan air pendingin dengan temperatur 6 – 7° C ke beban – beban pendingin, yaitu *cooling coil* pada *AHU*, *evaporasi*, *insenerasi* dan *cooling tower*. Beban pendinginan total dari *water chiller* adalah besarnya kalor yang diterima refrigeran pertama dari refrigeran kedua yang berlangsung di evaporator (Arisanto, 2012) .

Salah satu komponen dasar mesin pendingin yang beroperasi dengan siklus kompresi uap (SKU) adalah alat ekspansi. Kegunaan alat ekspansi adalah menurunkan tekanan refrigerasi cair yang keluar dari kondensor dan mengatur

aliran refrigeran tersebut masuk ke evaporator. Proses penyerapan kalor terjadi di evaporator, cairan refrigeran (zat/fluida pendingin) di dalam evaporator yang berada pada temperatur dan tekanan rendah akan mengambil/menyerap panas dari kemasan yang dihasilkan dari mesin produksi, sehingga refrigeran yang berubah fasa menjadi uap dan menurunkan temperatur pada kemasan tersebut. Uap refrigeran pada temperatur dan tekanan rendah kemudian dihisap oleh kompresor sehingga temperatur dan tekanannya naik. Panas dari uap refrigeran yang tekanannya naik, kemudian dibuang ke luar lingkungan di kondensor, sehingga uap refrigeran akan mengembun (kondensasi) menjadi cairan. Agar proses pendinginan dapat berlangsung, maka cairan refrigeran yang bertemperatur dan tekanan tinggi di kondensor perlu diturunkan temperatur dan tekanannya agar pengambilan panas dapat berlangsung kembali (Aziz, 2013).

Melihat dari berbagai saran tersebut maka dalam penelitian ini dilakukan pembuatan kontrol yang dapat mengatur temperatur pendinginan, salah satunya yaitu dengan membuat pengontrolan pada komponen katup ekspansi agar dapat bekerja secara otomatis. Katup ekspansi merupakan komponen mesin pendingin yang berfungsi untuk menurunkan tekanan dan mengontrol aliran *refrigerant* yang masuk ke evaporator. Pengaturan penurunan tekanan yang dilakukan oleh katup ekspansi dapat membantu kinerja kompresor lebih ringan, sehingga dengan demikian konsumsi energi listrik yang dibutuhkan oleh kompresor juga akan menurun. Untuk itu apabila ingin melakukan penghematan energi listrik yang dikonsumsi oleh mesin pendingin, perlu adanya katup ekspansi yang dapat bekerja secara otomatis agar proses penurunan tekanan dapat lebih akurat dengan tetap memperhatikan hasil pendinginan yang terjadi di ruang evaporator. Proses

pengontrolan katup ekspansi otomatis dapat dilakukan dengan menambahkan *solenoid valve* pada komponen mesin pendingin, yang selanjutnya akan dikontrol secara elektrik, yaitu dengan memanfaatkan pengontrolan temperatur RTD PT100 yang dikontrol dengan sistem kontrol PI (*Proportional Intergral*) (Rudiyanto, 2016).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Siklus Kompresi Uap

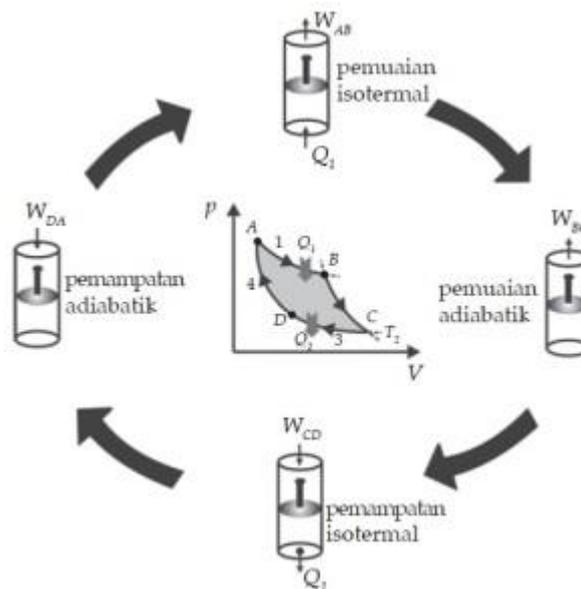
A. Siklus Carnot

Salah satu jenis mesin refrigerasi yang umum digunakan pada zaman sekarang adalah jenis kompresi uap. Mesin pendingin jenis ini bekerja secara mekanik dan perpindahan panas dilakukan dengan memanfaatkan sifat refrigeran yang berubah dari fase cair ke fase gas (uap) dan kembali ke fase cair secara berulang-ulang. Refrigeran mendidih pada suhu yang jauh lebih rendah dibandingkan air pada tekanan yang sama. Misalnya, amonia yang sering digunakan sebagai refrigeran, pada tekanan 1 atmosfer (101.3 kPa) dapat mendidih pada suhu -33°C . Suhu titik didih refrigeran dapat diubah dengan cara mengubah tekanannya, misalnya, untuk menaikkan suhu titik didih amonia menjadi 0°C , tekanan harus dinaikkan menjadi 428.5 kPa.

Keragaan suatu siklus refrigerasi umumnya dinyatakan dalam berbagai terminologi, seperti ton refrigerasi, koefisien tampilan, dan efisiensi refrigerasi. Satu ton refrigerasi didefinisikan sebagai kapasitas pendinginan yang diserap oleh satu ton es untuk menjadi cair selama 24 jam, yaitu 1357 W (200 Btu/menit). Istilah ton refrigerasi umum digunakan untuk mesin pendingin berkapasitas besar. Berasal dari standar yang digunakan, yaitu panas yang diserap oleh 1 ton (2000 pon) es saat mencair selama 24 jam. Karena

panas laten pencairan es adalah 144 Btu/pon (*British Temperature Unit*), maka panas yang diserap $(2000 \text{ pon} \times 144 \text{ Btu/pon}) / (24 \text{ jam} \times 60 \text{ menit})$ adalah 200 Btu/menit.

Siklus Carnot adalah siklus termodinamik ideal yang mampu-balik, yang pada mulanya digunakan sebagai standar terhadap kemungkinan maksimum konversi energi panas ke energi mekanik. Dalam bentuk sebaliknya, juga digunakan sebagai standar penampilan maksimum suatu alat pendingin. Siklus Carnot tidak mungkin diterapkan karena tidak mungkin mendapatkan suatu siklus yang mutlak mampu-balik di alam nyata, tetapi dapat dianggap sebagai kriteria pembatas untuk siklus-siklus lainnya.



Gambar 2.1 Siklus carnot

Berdasarkan gambar diatas dapat dijelaskan siklus carnot sebagai berikut.

1. Proses AB adalah pemuai isothermal pada suhu T_1 . Pada proses ini sistem menyerap kalor Q_1 dari reservoir bersuhu tinggi T_1 dan melakukan usaha W_{AB} .

2. Proses BC adalah pemuaian adiabatik. Selama proses ini berlangsung suhu sistem turun dari T_1 menjadi T_2 sambil melakukan usaha W_{BC} .
3. Proses CD adalah pemampatan isotermal pada suhu T_2 . Pada proses ini sistem menerima usaha W_{CD} dan melepas kalor Q_2 ke reservoir bersuhu rendah T_2 .
4. Proses DA adalah pemampatan adiabatik. Selama proses ini suhu sistem naik dari T_2 menjadi T_1 akibat menerima usaha W_{DA} .

Siklus Carnot merupakan dasar dari mesin ideal yaitu mesin yang memiliki efisiensi tertinggi yang selanjutnya disebut mesin Carnot. Usaha total yang dilakukan oleh sistem untuk satu siklus sama dengan luas daerah di dalam siklus pada diagram $p - V$. Mengingat selama proses siklus Carnot sistem menerima kalor Q_1 dari reservoir bersuhu tinggi T_1 dan melepas kalor Q_2 ke reservoir bersuhu rendah T_2 , maka usaha yang dilakukan oleh sistem menurut hukum I termodinamika adalah sebagai berikut.

Dalam menilai kinerja suatu mesin, efisiensi merupakan suatu faktor yang penting. Untuk mesin kalor, efisiensi mesin (η) ditentukan dari perbandingan usaha yang dilakukan terhadap kalor masukan yang diberikan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100 \% = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100 \% = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.1)$$

Untuk siklus Carnot berlaku hubungan $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \times 100 \%$ sehingga efisiensi mesin carnot dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.2)$$

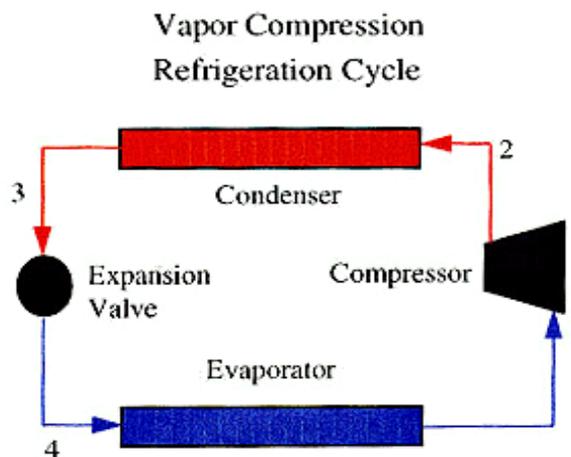
Keterangan:

- η : efisiensi mesin carnot
- T_1 : suhu reservoir bersuhu tinggi ($^{\circ}\text{C}$)
- T_2 : suhu reservoir bersuhu rendah ($^{\circ}\text{C}$)

Efisiensi mesin Carnot merupakan efisiensi yang paling besar karena merupakan mesin ideal yang hanya ada di dalam teori. Artinya, tidak ada mesin yang mempunyai efisien melebihi efisiensi mesin kalor Carnot. Berdasarkan persamaan di atas terlihat efisiensi mesin kalor Carnot hanya tergantung pada suhu kedua tandon atau reservoir. Untuk mendapatkan efisiensi sebesar 100%, suhu tandon T_2 harus = 0 K. Hal ini dalam praktik tidak mungkin terjadi. Oleh karena itu, mesin kalor Carnot adalah mesin yang sangat ideal. Hal ini disebabkan proses kalor Carnot merupakan proses reversibel. Sedangkan kebanyakan mesin biasanya mengalami proses irreversibel (tak terbalikkan) tidak seperti [mesin carnot](#).

B. Siklus Pendinginan Kompresi Uap

Siklus pendinginan kompresi uap ditunjukkan pada Gambar 2.2. Proses 1-2 adalah kompresi, 2-3 adalah kondensasi, 3-4 adalah ekspansi, dan 4-1 adalah evaporasi.



Gambar 2.2 Siklus Kompresi Uap

Analisa terhadap siklus pendinginan kompresi uap dapat dilakukan dengan menggunakan Gambar 2.2. Sebagaimana telah dijelaskan di atas, terjadi 4 proses yang membentuk satu siklus kompresi uap dan terjadi berulang-ulang. Proses dan perubahan keadaan pada setiap proses yang terjadi adalah :

1. Proses 1-2 (kompresi) : Gas refrigeran yang keluar dari evaporator masuk dan dikempa pada kompresor sehingga menghasilkan gas refrigeran dengan tekanan dan suhu yang lebih tinggi. Suhu tinggi merupakan akibat dari proses kompresi isentropik.
2. Proses 2-3 (kondensasi) : Gas refrigeran bertekanan dan bersuhu tinggi dikondensasi dan menghasilkan refrigeran cair jenuh. Proses yang terjadi adalah pelepasan panas ke lingkungan. Proses kondensasi bekerja pada tekanan tetap. Pada awal proses suhu gas refrigeran sedikit mengalami penurunan, selanjutnya terjadi perubahan fase gas menjadi cair pada suhu tetap.
3. Proses 3-4 (pencekikan) : Tekanan cairan refrigeran diturunkan dengan menggunakan katup cekik (expansion valve). Saat terjadi penurunan tekanan, juga terjadi penurunan suhu dan peningkatan mutu gas refrigeran, sebab dengan penurunan tekanan dan suhu sebagian refrigeran cair berubah menjadi gas.
4. Proses 4-1 (penguapan) : Proses penguapan terjadi pada suhu sama, dimana hanya terjadi perubahan fase refrigeran cair menjadi gas. Panas laten penguapan diambil dari lingkungan sehingga terjadi pendinginan lingkungan. Besarnya pendinginan yang terjadi dinyatakan dalam efek pendinginan (ton refrigerasi).

Pada penelitian ini data yang diambil adalah temperatur evaporasi (T_e), temperatur kondensasi (T_k), dan kapasitas pendinginan (QL). Selanjutnya dihitung performansi berupa efek refrigerasi (ER), kerja spesifik kompresor (w_k), kapasitas panas yang dibuang kondensor (QH), daya kompresor ($W_{in,net}$), dan coefficient of performance (COP)

1. Efek Refigerasi

Efek refrigerasi merupakan jumlah kalor yang diserap oleh refrigeran di dalam evaporator untuk setiap satu satuan massa refrigeran. Nilai ER dihitung menggunakan persamaan 2.3

$$ER = h_1 - h_4 \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

ER = Efek Refrigerasi (kJ/kg)

h_1 = Entalpi Refrigeran Masuk Kompresor (kJ/kg)

h_4 = Entalpi Refrigeran Masuk Evaporator (kJ/kg)

2. Kerja Spesifik Kompresor

Besarnya kerja kompresor sama dengan selisih entalpi uap refrigeran yang keluar kompresor dengan entalpi uap refrigeran yang masuk ke kompresor, yang dihitung menggunakan persamaan 2.4

$$W_k = h_2 - h_1 \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana :

w_k = Kerja Spesifik Kompresor (kJ/kg)

h_2 = Entalpi Gas Refrigeran Keluar Kompresor (kJ/kg)

3. Kapasitas Pendinginan Pada Evaporator

Jumlah kalor yang diserap evaporator dikalikan dengan laju aliran massa refrigeran disebut dengan kapasitas pendinginan pada evaporator atau cooling capacity, yang dirumuskan pada persamaan 2.5

$$Q_L = m (h_1 - h_2) \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana :
 Q_L = Kapasitas Pendinginan pada Evaporator (kW)
 \dot{m} = Laju Aliran Massa Refrigeran (kg/s)

4. Kalor Buang Total Kondensor

Kalor buang total kondensor adalah kalor yang dibuang kondensor dikalikan dengan laju pendauran refrigerasi, besarnya dihitung menggunakan persamaan 2.6

$$Q_H = m (h_1 - h_2) \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana :
 Q_H = Kapasitas Buang Total Kondensor (kW)

5. Daya Kompresor

Kebutuhan daya total kompresor adalah laju aliran massa dikalikan dengan kerja spesifik kompresor selama proses kompresi isentropik, dihitung menggunakan persamaan 2.7

$$Q_{net,in} = m (h_2 - h_1) \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana :
 $W_{net,in}$ = Daya Kompresor (kW)

6. Coeficient of Performance

mesin pendingin siklus kompresi uap dengan kompresi isentropik adalah,

$$COP = \frac{h_1 - h_3}{h_2 - h_1} \dots \dots \dots (2.8)$$

2.3 Water Chiller

Water chiller adalah alat mekanis yang digunakan untuk memperlancar pertukaran panas dari air ke zat pendingin yang dalam sistem loop tertutup. Kemudian zat pendingin dipompa ke lokasi dimana dibutuhkan zat pendingin.

Water chiller terdiri dari dua siklus yang saling berkaitan, siklus refrigeran primer dan siklus refrigeran sekunder. Pada siklus primer, refrigeran primer tersirkulasi melalui empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Refrigeran dikompresikan oleh kompresor menuju kondensor kemudian menuju alat ekspansi dan evaporator. Prinsip kerja pada siklus primer ini merupakan prinsip kerja kompresi uap. Refrigeran primer mengalami evaporasi dengan menyerap panas refrigeran sekunder untuk mendinginkan air dingin. Pada siklus sekunder refrigeran sekunder disirkulasikan oleh pompa dari evaporator ke AHU (*air handling unit*) dan kembali lagi ke evaporator secara kontinu. Refrigeran sekunder yang biasa digunakan dalam hal ini adalah air.

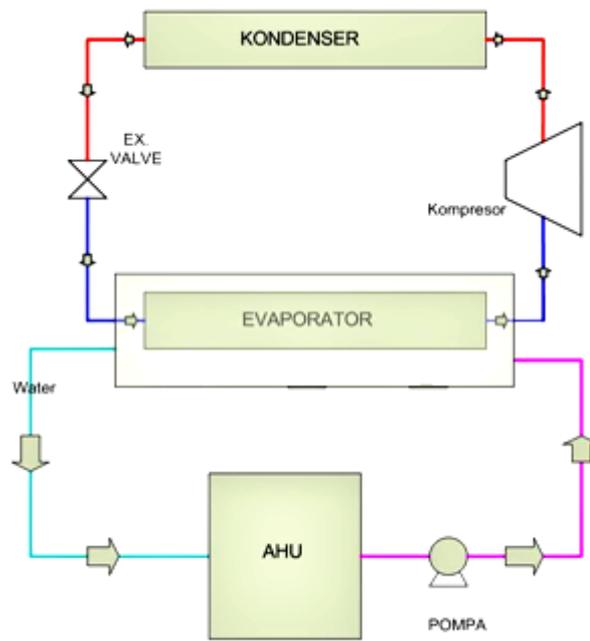
Refrigeran adalah zat yang mengalir dalam sirkulasi sistem mesin pendinginan baik sistem refrigerasi maupun *air conditioning (AC)* dan merupakan fluida kerja dalam proses penyerapan panas. Refrigeran dalam siklusnya dapat berubah wujud, menguap selama penyerapan kalor mengembun selama pelapasan kalor. Refrigeran yang mengalir dalam siklus sekunder adalah air (*water*) yang disirkulasikan dengan bantuan pompa yang diatur laju alirannya dengan bantuan *flow meter*. Tentu ini sangat penting untuk mengatur laju aliran volume air pendinginan agar dapat pendinginan yang maksimal, karena air pendingin inilah yang nantinya akan mengambil panas dari mesin produksi.

Dengan laju air pendingin yang tinggi, mungkin akan didapat pendinginan yang cepat, tetapi penyerapan panas tidak secara maksimal, karena dengan kecepatan yang tinggi akan mempengaruhi kemampuan fluida pendingin untuk mengambil panas dari mesin produksi.

2.3.1 Prinsip Kerja Water Chiller

Panas yang dihasilkan dari mesin produksi diserap oleh *cooling coil* atau evaporator dan kemudian diserap oleh refrigeran sekunder yang menyebabkan temperatur air naik. Kemudian air panas dibawa ke thermal storage tank, air panas bercampur dengan air dingin, kemudian air campuran ini kembali bersirkulasi ke evaporator. Dari thermal storage tank, air campuran juga bersirkulasi ke shell and tube untuk didinginkan setelah itu air kembali lagi bersirkulasi.

Pada shell and tube evaporator, panas dari air campuran ini akan diserap oleh refrigeran primer cari sehingga berubah fase menjadi uap. Refrigeran uap ini setelah dikompresi dikompresor akan bersirkulasi ke shell and tube kondensor dimana panas akan dibuang dan menyebabkan refrigeran uap mencari pada tekanan tinggi. Selanjutnya refrigeran cair ini akan bersirkulasi kembali menuju shell and tube evaporator dengan terlebih dahulu mengalami penurunan tekanan pada throttling valve. Panas yang dibuang pada shell and tube kondensor akan diserap air sebagai media penukar kalor, kemudian bersirkulasi menuju cooling tower. Air hangat ini kemudian didinginkan dicooling tower dan kemudian bersirkulasi ke kondensor.

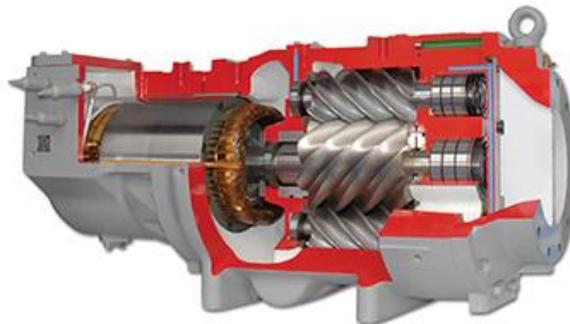


Gambar 2.3 Prinsip Kerja Water Chiller

2.3.2 Komponen Utama Mesin Chiller

1. Kompresor

Kompresor atau pompa isap mempunyai fungsi yang vital. Dengan adanya kompresor, refrigeran bisa mengalir keseluruhan sistem pendingin. Sistem kerjanya adalah mengubah tekanan sehingga terjadi perbedaan tekanan yang memungkinkan refrigeran mengalir atau berpindah dari sisi tekanan rendah ke sisi bertekanan tinggi.



Gambar 2.4 Kompresor

Ketika bekerja, refrigeran yang dihisap dari evaporator dengan suhu dan tekanan rendah dimampatkan sehingga suhu dan tekanannya naik. Gas yang dimampatkan ini ditekan keluar dari kompresor lalu dialirkan ke kondensor.

Rotor adalah bagian yang berputar didalam stator, rotor terdiri dari dua baling – baling (*impeller*). Langkah hisap terjadi saat katup mulai terbuka dan berakhir setelah katup tertutup. Pada waktu katup tertutup dimulai langkah tekan sampai katup pengeluaran membuka, sedangkan pada katup secara bersamaan sudah terjadi langkah hisap, demikian seterusnya.

2. Kondensor

Kondensor berfungsi sebagai mendinginkan refrigeran yang dikompresi dari kompresor sehingga uap refrigeran yang bertekanan dan bersuhu tinggi mudah dicairkan. Uap refrigeran yang bertekanan dan bersuhu tinggi dari kompresor diambil panasnya oleh air pendingin atau udara pendingin yang ada dikondesor, sehingga uap refrigeran mengembun dan mencair. Uap refrigeran yang telah mencair kemudian dialirkan ke evaporator melalui katup ekspansi.

Salah satu jenis alat penukar kalor adalah *shell and tube*. Merupakan sekumpulan pipa atau tabung yang dipasangkan didalam *shell* yang berbentuk silinder dimana dua jenis fluida saling bertukar kalor yang mengalir secara terpisah.

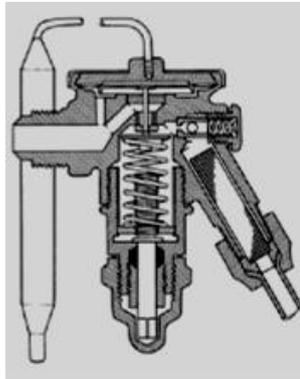


Gambar 2.5 Kondesor *shell and tube*

3. Katup Ekspansi

Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi. Katup ekspansi berfungsi menurunkan tekanan dan temperatur cair refrigeran sampai tekanan dan temperaturnya menjadi rendah, sehingga cairan refrigeran mudah menguap. Selain itu, katup ekspansi juga sebagai instrumen kendali refrigerasi yang berfungsi :

- a. Mengatur jumlah refrigeran yang mengalir dari pipa cair menuju evaporator sesuai dengan laju penguapan pada evaporator.
- b. Mempertahankan perbedaan tekanan kondensor dan evaporator agar penguapan pada evaporator berlangsung pada tekanan kerjanya.



Gambar 2.6 Katup Ekspansi

Ada beberapa jenis katup ekspansi, diantaranya :

- a. Automatic expansion valve
- b. Thermostatic expansion valve
- c. Katup apung sisi tekanan tinggi
- d. Katup apung sisi tekanan rendah
- e. Manual expansion valve
- f. Pipa kapiler
- g. Thermoelectric expansion valve

h. Electronic expansion valve

Katup ekspansi yang biasanya digunakan adalah katup ekspansi thermostatic yang mengatur laju aliran refrigeran yang masuk kedalam evaporator.

4. Evaporator

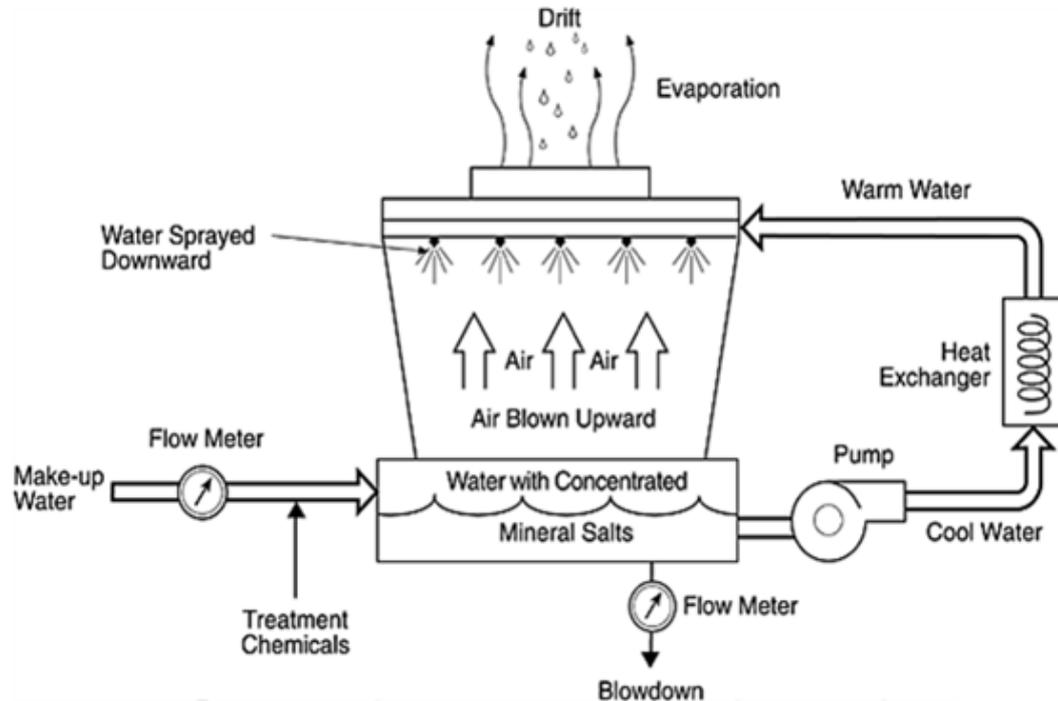
Evaporator atau disebut juga *heat exchanger* berfungsi menyerap panas dari proses pendinginan jerigen dan disalurkan ke refrigeran, sehingga refrigeran cair akan menjadi uap. Uap refrigeran yang bertekanan rendah dikumpulkan ke dalam penampungan uap kemudian dihisap kembali oleh kompresor. Panas yang diserap evaporator akan menyebabkan suhu disekeliling evaporator turun. Suhu yang rendah ini akan dibawa melalui aliran air melalui pipa – pipa yang menuju mesin produksi untuk mendinginkan proses produksi mesin jerigen

Ada beberapa macam evaporator, sesuai dengan tujuan penggunaannya dan bentuknya dapat berbeda – beda. Hal tersebut disebabkan karena media yang hendak didinginkan dapat berupa gas, cairan atau padat. Maka evaporator jenis ekspansi kering atau langsung yang digunakan dalam mesin chiller tersebut. Cairan refrigeran yang diekspansikan melalui katup pada waktu ke dalam evaporator sudah dalam keadaan campuran cair dan uap, sehingga keluar dari evaporator dalam keadaan uap cair.

2.3.3 Menara Pendingin (*Cooling Tower*)

Menara pendingin berfungsi mendinginkan kondensor pada mesin chiller. Berdasarkan arah laju udara dan laju airnya, menara pendingin dibedakan menjadi 2 macam, yaitu *cross flow (XF)* dan *counter flow (CF)*, sedangkan berdasarkan

percepatan baling – baling kipas terdiri dari : *Force draft (FD)* horizontal dan vertikal, *Induced draft (ID)*.



Gambar 2.7 Diagram Alir Menara Pendingin

Komponen utama cooling tower, yaitu :

1. Rangka dan wadah

Hampir semua menara memiliki rangka berstruktur yang menunjang tutup luar (wadah atau *casing*).

2. Bahan pengisi (*Fill*)

Merupakan jantungnya menara pendingin yang berfungsi sebagai media kontak air dan udara sehingga terjadi perpindahan kalor.

3. Kolam air

Kolam air dingin terletak pada bagian bawah menara, dan menerima air dingin yang mengalir turun melalui dari bahan pengisi.

4. Saluran udara masuk

Merupakan titik masuk bagi udara menuju menara. Saluran bisa berada pada seluruh sisi menara.

5. *Draft Fan*

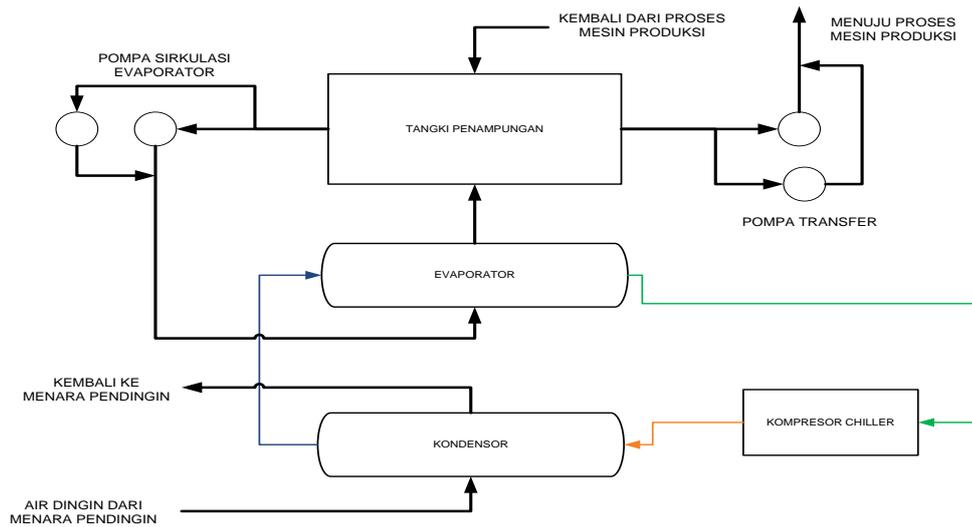
Berfungsi untuk mengirim aliran udara menuju menara pendingin untuk melakukan perpindahan kalor dengan air yang dilewati.

6. *Nosel (Spray)*

Berfungsi mendistribusikan air untuk membasahi bahan pengisi. Nosel dipasang sebagai penyemprot pada air sehingga air jatuh kebawah sehingga menangkap udara yang terhisap oleh kipas.

2.3.4 Instalasi Chiller

Instalasi chiller terdiri dari beberapa bagian pendukung mesin chiller yang terdiri dari dua pompa sirkulasi evaporator, dua pompa transfer, tangki penampungan air dingin. Pompa transfer berfungsi mengalirkan dari tangki menuju mesin produksi dibagian penukar panas, dalam hal ini cetakan jerigen dan kembali lagi ke tangki penampungan. Pompa sirkulasi berfungsi mengalirkan air dari tangki melewati evaporator chiller dan kembali lagi ketangki. Pompa ini harus terlebih dahulu beroperasi sebelum chiller dioperasikan.



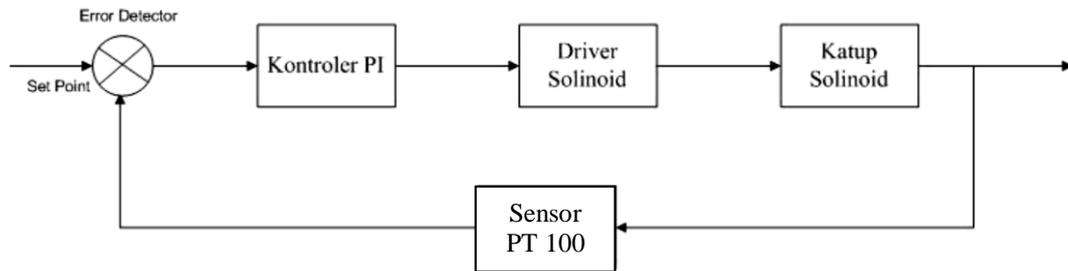
Gambar 2.8 Diagram Alir Instalasi Chiller

2.4 Pengontrolan Katup Ekspansi

Sistem pengendali katup ekspansi otomatis yang digunakan untuk mengatur temperatur pada mesin pendingin chiller agar tetap stabil sesuai dengan suhu pendinginan yang telah ditentukan. Proses pengendalian katup ekspansi otomatis dilakukan dengan menambahkan *solenoid valve* pada pipa masukan refrigeran sebelum katup ekspansi. Kegunaan dari *solenoid valve* tersebut adalah untuk mengendalikan aliran refrigeran yang masuk pada ruang evaporator.

Proses pengendalian aliran tersebut memerlukan sebuah kontrol untuk menghidupkan dan mematikan *solenoid valve*, dimana kontrol yang digunakan yaitu kontrol PI analog dengan menggunakan op-amp. *Output* dari kontrol PI akan dihubungkan dengan kaki basis pada transistor yang akan menghidupkan *relay*. *Relay* ini berfungsi sebagai *driver* untuk memberikan suplai tegangan pada katup *solenoid*. Sensor RTD PT100 digunakan sebagai sensor temperatur yang akan memberikan suatu besaran tegangan dari besarnya temperatur pada ruang pendingin mesin pendingin chiller. Sensor RTD PT 100 ini digunakan untuk umpan balik

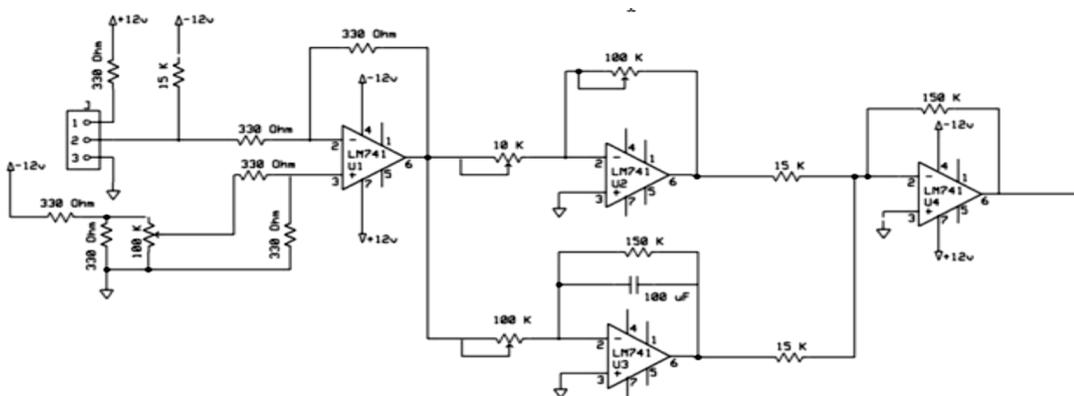
masukannya ke rangkaian *error detector* pada kontrol PI. Gambar 2.8 menunjukkan diagram blok dari pengendali katup solenoid dengan kontrol PI.



Gambar 2.9 Blok Diagram Pengendali Katup Solenoid

2.4.1 Kontrol Proporsional Integral (PI)

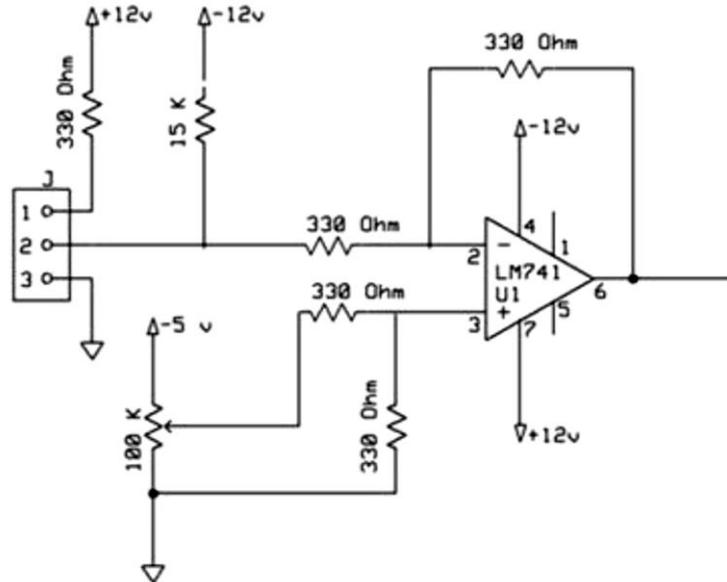
Bagian terpenting dalam penelitian ini adalah proses kontrol PI. Kontrol PI ini akan memberikan aksi kontrol terhadap *plant* yaitu katup *solenoid* AC 7 Watt 220 Volt. Kontrol yang digunakan adalah kontrol PI analog dengan menggunakan IC Op-amp. Dimana IC Op-amp yang digunakan adalah LM741 yang akan didesain membentuk kontrol *proporsional*, dan *integral*. Pada Gambar 2.10 merupakan desain dari kontrol PI analog.



Gambar 2.10 Diagram Rangkaian PI Analog

Bagian pertama dari kontrol PI adalah rangkaian *error detector* yang merupakan rangkaian *difference amplifier*. Rangkaian *error detector* tersebut

berfungsi untuk menghitung sinyal *error* antara pembacaan sensor RTD PT 100 dengan nilai *set point* tegangan yang ditentukan.



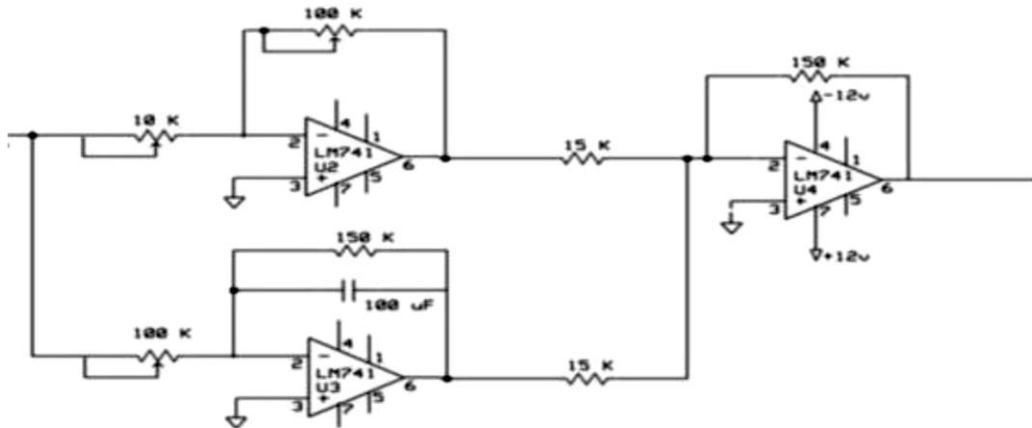
Gambar 2.11 Rangkaian Error Detector

Pada rangkaian *error detector* (Gambar 2.11), op-amp akan mendapatkan dua input yaitu *set point* (SP) dan nilai aktual atau *process variable* (PV) sensor temperatur RTD PT 100. Nilai *set point* (SP) didapatkan dari rangkaian pembagi tegangan yang menggunakan *potensiometer* 100 kΩ dengan suplai tegangan -5 volt. Sedangkan nilai aktual atau *process variable* (PV) didapatkan dari *output* tegangan dari sensor RTD PT 100. Untuk menghitung *output* pada rangkaian tersebut dapat dianggap sebagai rangkaian *inverting* dan rangkaian *non inverting amplifier*. Dengan menjumlahkan tegangan *output* dari rangkaian *inverting* dan rangkaian *non inverting amplifier* akan didapatkan *output* dari rangkaian pada Persamaan (2.9) :

$$V_{out} = -\frac{R_f}{R_i} V_{pv} + \left(\frac{R_f}{R_i} + 1\right) \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{sp}\right) \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan memberikan nilai yang sama pada masing-masing resistor yaitu $R_f = R_i = R_1 = R_2 = 330 \Omega$, maka nilai tegangan output akan menjadi $V_{out} = V_{sp} - V_{pv}$.

Bagian selanjutnya dari kontrol ini adalah rangkaian *proporsional integral* (PI). Rangkaian ini berfungsi untuk mengolah sinyal *error* yang dihasilkan dari perbedaan nilai *set point* dengan nilai *process variable* (PV) sampai *error* bernilai nol. Gambar 4, merupakan desain dari rangkaian PI .



Gambar 2.12 Rangkaian Kontroler PI

Rangkaian di atas akan mendapatkan tegangan *input* dari sinyal *error* yang berasal dari rangkaian *error detector*. Op-amp U4 adalah rangkaian *inverting summer* yang berfungsi untuk menjumlahkan nilai *output* dari masing-masing kontrol *proporsional*, *integral* dan membalikkan tegangan *output* dari masing-masing kontrol, sehingga mendapatkan *output* secara keseluruhan, yang dituliskan dalam persamaan (2.10), yaitu:

$$V_{out} = K_p V_{error} + K_i \int_0^t V_{error} dt + V_0 \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana:

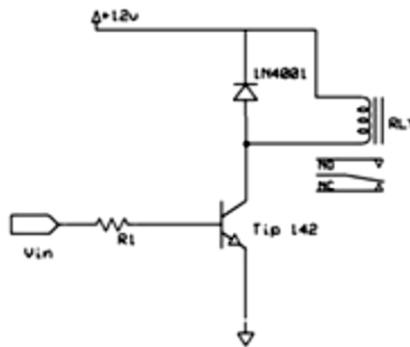
$$K_p = \frac{R_7}{R_5}, \text{proporsional band (gain)}$$

$$K_i = \frac{1}{R_6 \cdot C_i} \text{ integration constant}$$

$$V_0 = \text{off set integrator initial charge}$$

2.4.2 Driver Katup Solenoid

Rangkaian driver berfungsi untuk mengaktifkan katup solenoid dengan memberikan catu daya Ac 220V berdasarkan keluaran dari rangkaian kontrol. Pada rangkaian driver katup solenoid digunakan relay 12 volt yang berfungsi sebagai saklar *magnetik*. *Relay* ini akan bekerja jika dihubungkan pada sumber catu daya sebesar 12 volt DC. Rangkaian dijelaskan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Rangkaian Driver Katup Solenoid

2.5 PERPINDAHAN KALOR

Perpindahan kalor merupakan ilmu yang mempelajari tentang bagaimana kalor berpindah/mengalir dari tempat yang bertemperatur tinggi ke temperatur lebih rendah jadi panas dapat berpindah karena adanya beda temperatur. Seperti yang kita ketahui bersama, bahwa yang namanya kalor itu adalah berupa suatu energi. Dimana berdasar hukum kekekalan energi, energi dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat lain dan dapat pula berubah bentuk, dari bentuk energi satu ke energi lain.

Dengan persamaan

$$Q = W \times c \times (T2 - T1) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

Q = jumlah panas (BTU)

- W = berat produk (lb/pon)
c = panas jenis produk (BTU/°C)
T1 = Temperatur awal (K)
T2 = temperatur akhir (K)

Perpindahan Kalor adalah suatu proses perpindahan energi panas pada suatu zat atau dari satu zat ke zat lain. Kalor dapat berpindah dapat melalui suatu zat perantara maupun tanpa zat perantara. Berdasarkan daya hantar kalor, benda dibedakan menjadi dua, yaitu: Konduktor, Konduktor adalah zat yang memiliki daya hantar kalor baik. Contoh : besi, baja, tembaga, aluminium, dll

Isolator, Isolator adalah zat yang memiliki daya hantar kalor kurang baik.
Contoh : kayu, plastik, kertas, kaca, air.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Adapun lokasi penelitian ini di PT. PACIFIC MEDAN INDUSTRI tahap II Kawasan Industri Medan (KIM) II Desa Saentis, Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara. Ruang lingkup kerja memproduksi dan pengembangan minyak sayur, *Vegetable Ghee*, *Shortening Margarin* dan lemak khusus yang berasal minyak kelapa sawit mentah *Crude Palm Oil (CPO)* serta memproduksi kemasan metal kaleng, tutup *jerrycan* plastik dan botol.

Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini terdiri dari :

1. laptop
2. thermometer digital
3. multimeter
4. alat pencatat

3.2 Jalannya Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. PACIFIC MEDAN INDUSTRI tahap II Kawasan Industri Medan (KIM) II Desa Saentis, Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara, adapun data yang diambil yakni:

1. DATA TEMPERATUR CHILLER

Merupakan data suhu air pada chiller baik yang masuk dan yang keluar, data tersebut dicatat setiap jamnya pada tiga shift berlanjut. Data tersebut pada saat chiller menggunakan kontrol solenoid pada katup ekspansi

Tabel 3.1 Data Temperatur Chiller Pada Saat Menggunakan Kontrol Solenoid Pada Katup Ekspansi

Data Monitoring chiller									
	Time								
	Shift 1	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20
	out	10	10	10	10	10	12	12	12
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22
	out	40	38	38	38	40	40	38	38

Data Monitoring chiller									
	Time								
	Shift 2	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20
	out	10	10	10	10	11	12	12	12
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22
	out	40	38	38	38	40	40	38	38

Data Monitoring chiller									
	Time								
	Shift 3	23.00	24.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20
	out	10	10	11	11	10	12	12	12
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22
	out	40	38	38	38	40	40	38	38

Tabel 3.2 Data Temperatur Chiller Pada Saat Tanpa Menggunakan Kontrol Solenoid Pada Katup Ekspansi

Data Monitoring chiller									
	Time								
	Shift 1	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20
	out	12	12	13	13	13	14	14	14
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22
	out	43	40	40	40	43	43	40	40

Data Monitoring chiller									
	Time								
	Shift 2	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20
	out	14	14	14	13	13	15	14	14
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22
	out	42	40	40	40	41	41	41	41

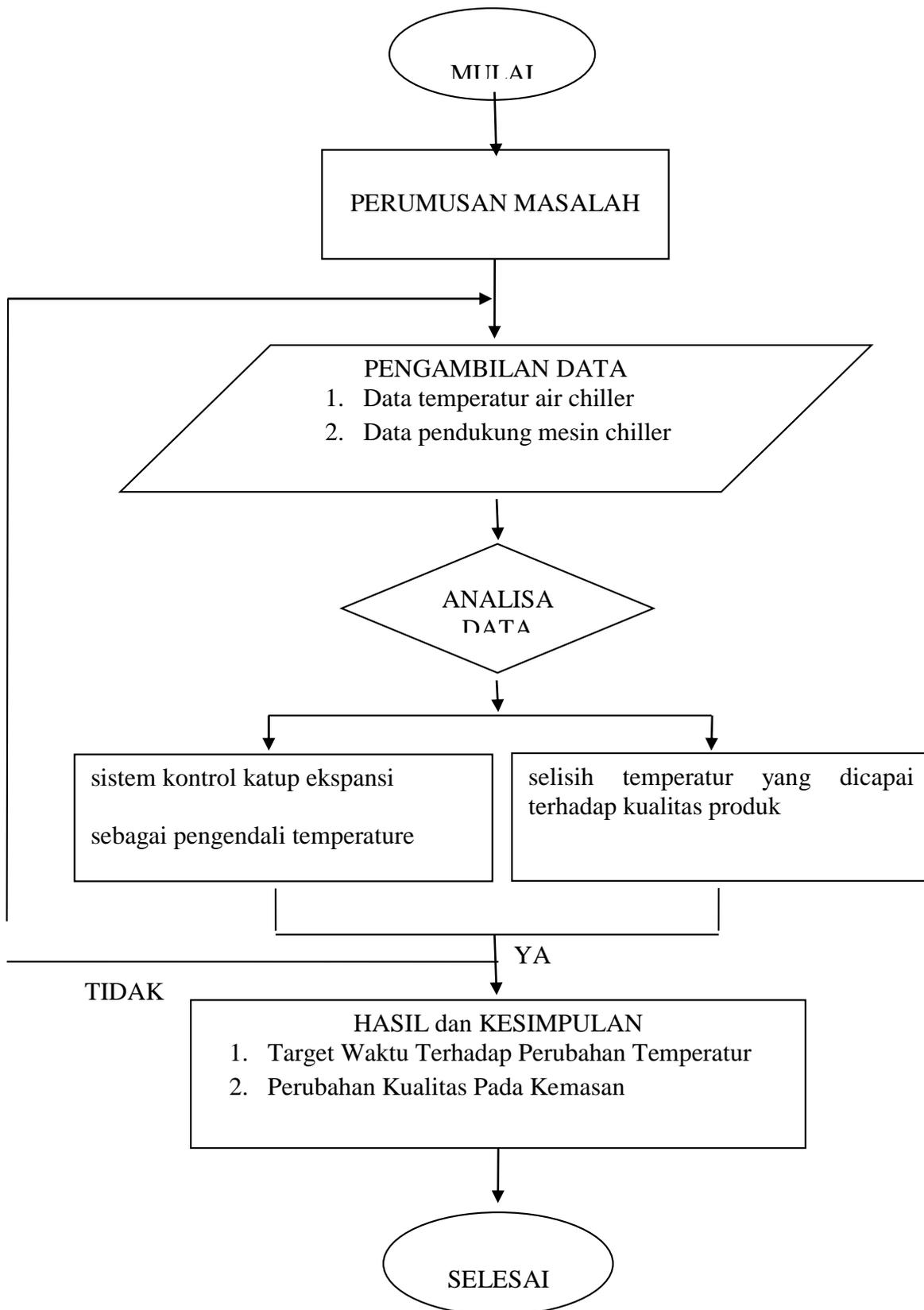
Data Monitoring chiller									
	Time								
	Shift 3	23.00	24.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20
	out	14	14	13	13	13	10	10	10
Condensor	in	20	20	20	20	20	20	20	20
	out	43	43	43	43	43	43	43	43

2. DATA PENDUKUNG MESIN CHILLER

Data pendukung mesin chiller adalah data yang mendukung pada saat pengoperasian mesin chiller tersebut, ada beberapa data yang dikumpulkan yakni ;

1. Mesin chiller carrier dengan daya 180 Kw.
2. Tangki air dingin dengan kapasitas 1000 liter.
3. Buku pedoman pengoperasian mesin chiller.
4. Data *quality control sheet* pada mesin produksi yang menggunakan chiller tersebut.

Diagram alir dalam penelitian seperti tertera dibawah ini :



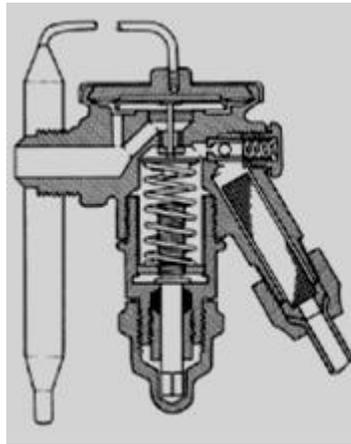
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Unjuk Kerja Katup Ekspansi Termostatik

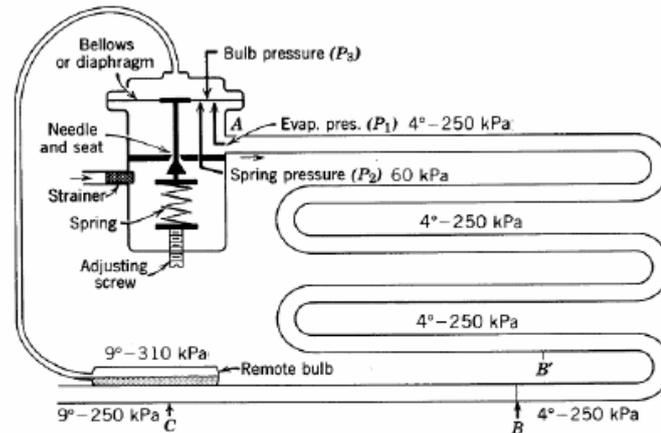
Katup ekspansi termostatik adalah jenis katup yang paling banyak digunakan, karena efisiensinya tinggi dan mudah diadaptasikan dengan berbagai aplikasi refrigerasi. Bagian utama katup ekspansi termostatik adalah katup jarum dan dudukannya, diafragma, *remote bulb* yang berisi refrigeran cair, dilengkapi dengan pipa kapiler yang langsung terhubung ke diafragma, dan pegas yang dapat diatur tekanannya melalui sekrup pengatur tekanan. Seperti semua piranti kontrol laju aliran refrigeran lainnya, katup ekspansi termostatik juga dilengkapi dengan filter dari kasa baja yang diletakkan di sisi dalam dari katup ekspansi termostatik



Gambar 4.1 Katup Ekspansi Termostaik

Remote bulb dipasang pada sisi keluaran evaporator, dicekam atau diklem kuat pada saluran outlet evaporator agar dapat mendeteksi atau merespon langsung temperatur refrigeran yang mengalir pada sisi outlet evaporator. Kerja katup ekspansi termostatik merupakan hasil interaksi tiga jenis tekanan yang bekerja pada

diafragma, yaitu tekanan pegas dan tekanan evaporasi yang akan menekan diafragma sehingga cenderung menutup katup. Dan tekanan yang dihasilkan oleh refrigeran saturasi yang ada di dalam *remote bulb* bila refrigerannya mengembang yang melawan tekanan pegas dan tekanan evaporasi, sehingga cenderung membuka katup. Gambar berikut memperlihatkan skematis cara kerja KET.

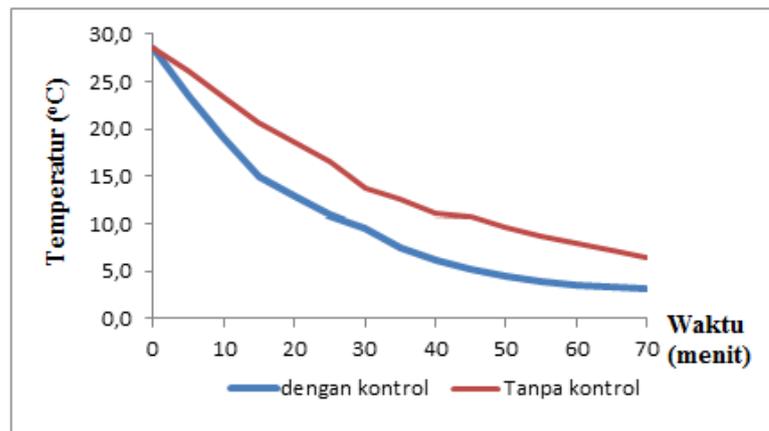


Gambar 4.2 Skematis Cara Kerja Katup Ekspansi Termostatik

4.2 Unjuk Kerja Kontrol Katup Ekspansi Otomatis Pada Mesin Chiller

Kualitas penggunaan kontrol katup ekspansi otomatis pada mesin pendingin chiller, perlu dilakukan pengujian guna menunjukkan kinerja yang dapat dicapai. Dimana proses pengujian unjuk kerja katup dilakukan dengan cara membandingkan penggunaan energi dan hasil pendinginan tanpa menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis dengan menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis.

Proses pendinginan merupakan proses penurunan temperatur bahan atau material sesuai batasan tertentu. Tujuan dari proses pendinginan tersebut untuk mendapatkan kualitas kemasan melalui proses pendinginan. Gambar 4.3 menunjukkan bagaimana grafik proses pendingin ketika menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis



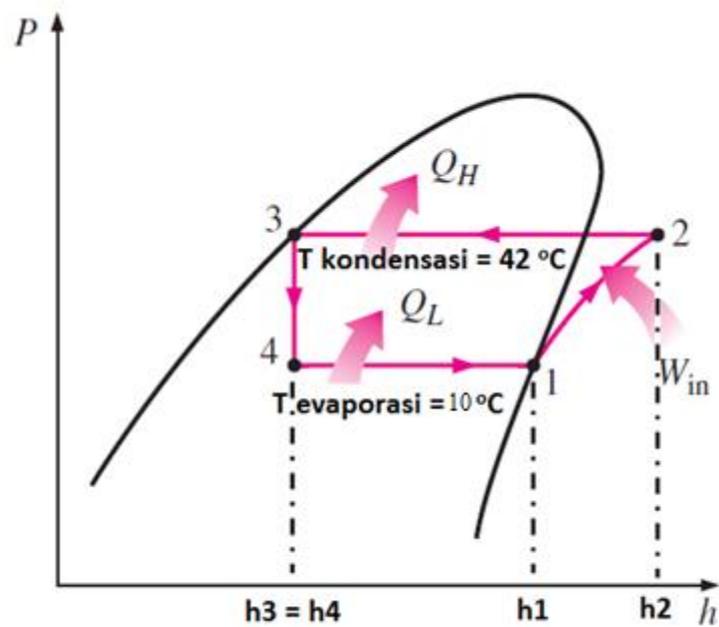
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pendinginan dengan Menggunakan Kontrol Ekspansi Katup Otomatis dan Tanpa Kontrol Katup Otomatis Katup Ekspansi

Gambar 4.3 Proses pendinginan air pada mesin pendingin tersebut dilakukan untuk mengetahui bagaimana hasil pendinginan yang dapat dilakukan oleh mesin pendingin chiller ketika dioperasikan dengan menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis dan tanpa menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis. Dari hasil tersebut dapat diperlihatkan bahwa dengan menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis hasil pendinginan air lebih cepat dibandingkan tanpa menggunakan kontrol solenoid pada katup ekspansi otomatis.

Setelah melakukan serangkaian uji coba pada *water chiller* di PT. Pacific Medan Industri, dimana pengujian masing – masing alat ekspansi pada *water chiller* yang beroperasi dilakukan secara bergantian. Pengujian ini mencakup pengambilan data diantaranya debit air yang dihasilkan oleh pompa, temperatur refrigeran yang keluar dari evaporator, temperatur air yang keluar dari evaporator, temperatur refrigeran keluaran kompresor, dan hasil perhitungan nilai *COP* (*Coefficient Of Performace*). Untuk menghitung seberapa besar nilai *COP* yang dihasilkan oleh *water chiller* baik ketika *water chiller* beroperasi menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi dan beroperasi pada saat tanpa menggunakan katup solenoid,

pada penelitian ini menggunakan tabel temperatur refrigeran R-22 yang tersedia pada properties (lampiran). Dimana besarnya nilai entalpi tersebut berdasarkan nilai temperatur yang didapat pada masing-masing kondisi debit air dan kemudian nilai – nilai entalpi tersebut kita masukkan kedalam persamaan.

Dari data yang diperoleh dari gambar 4.4 siklus kompresi uap, dimana temperatur pada saat kondensasi pada bab 3 rata – rata 38 – 40°C dan temperatur penyerapan kalor evaporasi di evaporator sebesar 10 – 12°C



Gambar 4.4 Diagram Pressure dengan Enthalpy Siklus Kompresi Uap

Sesuai dengan persamaan 2.8, data penelitian pada tiga shift ketika water chiller beroperasi menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik dan pengambilan data temperatur pada setiap shift.

Shift 1 :

$$Q1(\text{debit air}) = 0,000109 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 10^\circ\text{C}, h1 = 211,9 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 12^\circ\text{C}, h2 = 214,3 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 12^\circ\text{C}, h3 \approx h4 = 194,9 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{211,9 - 194,9}{214,3 - 211,9} = \frac{17 \text{ kJ/kg}}{2,4 \text{ kJ/kg}} = 7,08$$

Shift 2 :

$$Q2(\text{debit air}) = 0,000344 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 10^\circ\text{C} \quad h1 = 211,9 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 12^\circ\text{C} \quad h2 = 214,3 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 12^\circ\text{C} \quad h3 \approx h4 = 194,0 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{211,9 - 194,0}{214,3 - 211,9} = \frac{17,9 \text{ kJ/kg}}{2,4 \text{ kJ/kg}} = 7,45$$

Shift 3 :

$$Q3(\text{debit air}) = 0,000578 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 10^\circ\text{C} \quad h1 = 211,9 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 11^\circ\text{C} \quad h2 = 213,1 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 12^\circ\text{C} \quad h3 \approx h4 = 194,9 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{211,9 - 194,9}{213,1 - 211,9} = \frac{17 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 14,1$$

Tabel 4.1 Hasil Penelitian water chiller dengan katup solenoid pada katup ekspansi

No.	Debit Air (m ³ /dtk)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	h1 (kJ/kg)	h2 (kJ/kg)	h3 (kJ/kg)	COP
1.	0,000109	10	12	12	211,9	214,3	194,9	7,08
2.	0,000344	10	12	12	211,9	214,3	194,0	7,45
3.	0,000578	10	11	12	211,9	213,1	194,9	14,1

Data penelitian pada tiga shift ketika water chiller beroperasi tanpa menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik dan pengambilan data temperatur dilakukan secara acak pada setiap shift.

Shift 1 :

$$\begin{aligned}
 Q1(\text{debit air}) &= 0,000109 \text{ m}^3/\text{dtk} \\
 T1 &= 12^\circ\text{C}, h1 = 214,3 \text{ kJ/kg} \\
 T2 &= 13^\circ\text{C}, h2 = 215,5 \text{ kJ/kg} \\
 T3 &= 14^\circ\text{C}, h3 \approx h4 = 193,2 \text{ kJ/kg} \\
 COP &= \frac{214,3 - 193,2}{215,5 - 214,3} = \frac{21,1 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 17,5
 \end{aligned}$$

Shift 2 :

$$\begin{aligned}
 Q2(\text{debit air}) &= 0,000344 \text{ m}^3/\text{dtk} \\
 T1 &= 13^\circ\text{C} \quad h1 = 215,5 \text{ kJ/kg} \\
 T2 &= 14^\circ\text{C} \quad h2 = 216,7 \text{ kJ/kg} \\
 T3 &= 15^\circ\text{C} \quad h3 \approx h4 = 192,3 \text{ kJ/kg} \\
 COP &= \frac{215,5 - 192,3}{216,7 - 215,5} = \frac{23,2 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 19,3
 \end{aligned}$$

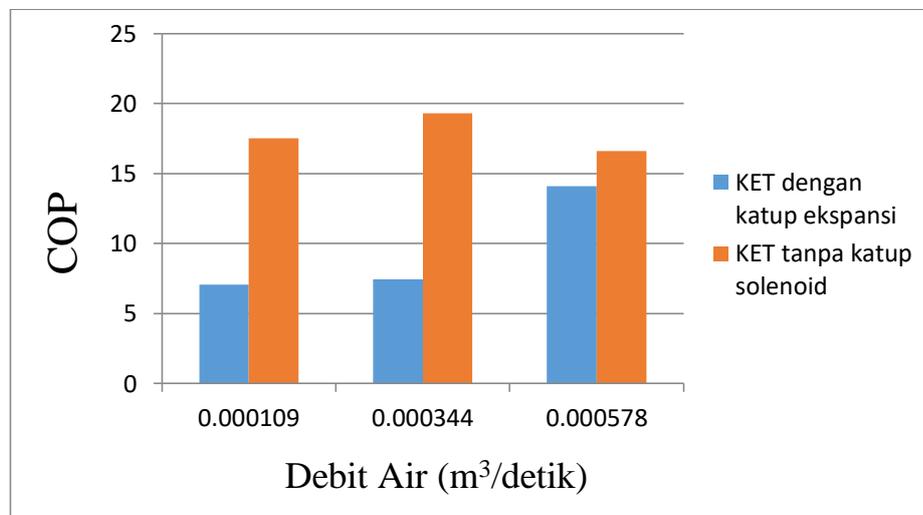
Shift 3

$$\begin{aligned}
 Q3(\text{debit air}) &= 0,000578 \text{ m}^3/\text{dtk} \\
 T1 &= 14^\circ\text{C}, h1 = 216,7 \text{ kJ/kg} \\
 T2 &= 13^\circ\text{C}, h2 = 215,5 \text{ kJ/kg} \\
 T3 &= 10^\circ\text{C}, h3 \approx h4 = 196,7 \text{ kJ/kg} \\
 COP &= \frac{216,7 - 196,7}{215,5 - 216,7} = \frac{20}{1,2} = 16,6
 \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Hasil Penelitian water chiller tanpa katup solenoid pada katup ekspansi

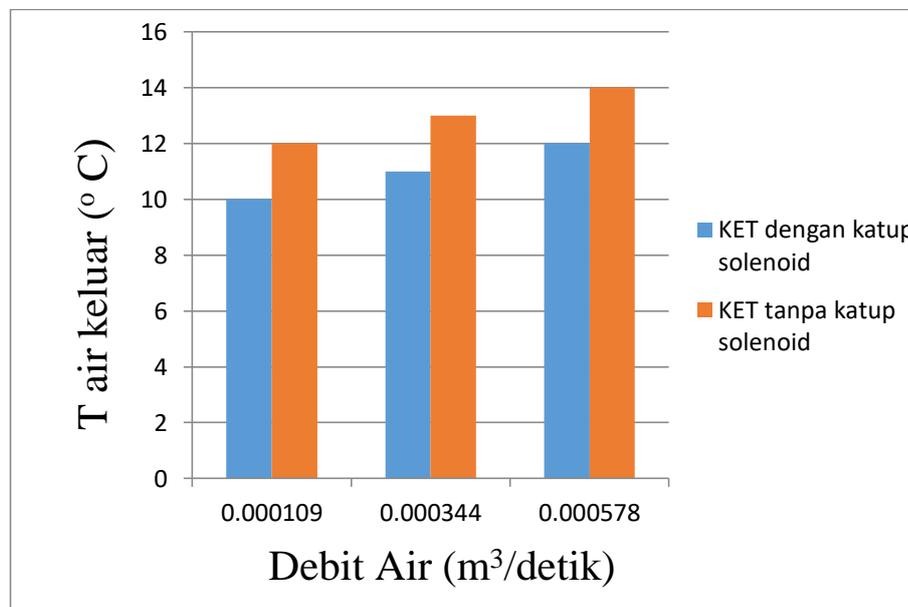
No.	Debit Air (m ³ /dtk)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Pg1 (kJ/kg)	Pg2 (kJ/kg)	Pg3 (kJ/kg)	COP
1.	0,000109	12	13	14	214,3	215,5	193,2	17,5
2.	0,000344	13	14	15	215,5	216,7	192,3	19,3
3.	0,000578	14	13	10	216,7	215,5	196,7	16,6

Berdasarkan data penelitian yang didapat bahwa dengan melihat keadaan tersebut maka dapat dikatakan katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid memiliki kemampuan pendinginan yang lebih baik dibandingkan tidak menggunakan katup solenoid. Hal ini disebabkan karena katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid dapat bekerja dengan cepat terhadap perubahan beban dan perubahan temperatur evaporator. Perubahan tersebut akan mengontrol bukaan katup sehingga laju aliran massa refrigeran cenderung disesuaikan dengan perubahan beban pendinginan.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan debit air terhadap nilai COP terhadap katup ekspansi (KET) dengan menggunakan katup dan tidak menggunakan katup

Dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa nilai *COP* dari katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid lebih kecil dibandingkan dengan nilai *COP* tanpa menggunakan katup. Pada debit air sebesar 0,000344 m³/s, katup ekspansi termostatik yang menggunakan katup solenoid mempunyai nilai *COP* sebesar 7,45 sedangkan yang tidak menggunakan katup solenoid mempunyai nilai *COP* sebesar 19,3. Bertambahnya debit air menyebabkan energi yang diserap oleh refrigeran di evaporator menjadi bertambah besar, sedangkan kerja kompresor tidak mengalami perubahan yang begitu signifikan atau bahkan dapat dikatakan tetap.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh debit air pada temperatur air keluar water chiller

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa temperatur air keluar sistem dengan menggunakan katup ekspansi termostatik dengan katup solenoid lebih rendah dibanding tanpa menggunakan katup solenoid. Ketika *water chiller* beroperasi dengan menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik dan pada debit air 0,000109 m³/detik, *water chiller* mampu mendinginkan air sampai dengan 10°C, sedangkan ketika *water chiller* beroperasi tanpa menggunakan katup solenoid

mampu mendinginkan air sampai dengan 12°C. Saat debit air 0,000578 m³/detik katup ekspansi termostatik mampu mendinginkan sampai 12°C sedangkan tanpa katup solenoid 14°C. Kemampuan pendinginan *water chiller* di pengaruhi oleh nilai *COP* sistem tersebut, untuk nilai *COP* yang lebih besar berarti kemampuan pendinginan akan semakin besar pula. Pada percobaan ini katup solenoid pada katup ekspansi termostatik mempunyai nilai *COP* yang lebih besar dari pada tanpa menggunakan katup solenoid, dan efek pendinginan yang dihasilkan oleh katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid pun lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan katup solenoid

4.3 Perhitungan Perpindahan Panas

Kualitas merupakan salah satu keutamaan dalam sistem produksi yang ada, dimana ini merupakan suatu permasalahan yang cukup besar. Proses pendinginan pada produk kemasan jerigen terjadi pada alat yang disebut dengan *Mould*.

Mould adalah sebuah alat cetakan pada kemasan dimana pada bagian ini terjadi penukaran panas. Pada bagian ini air dari mesin chiller bersirkulasi untuk menyerap panas dari kemasan tersebut.

Berdasarkan persamaan 2.11 jumlah beban panas yang dipindahkan melalui bagian mold yang berbentuk silinder berukuran ¾ inchi, jika diketahui berat kemasan 215 gr dengan panas jenis dari plastik 180°C maka jumlah panas yang akan dipindahkan :

$$W = 215 \text{ gr} = 0,47 \text{ pon}$$

$$c = 180^\circ\text{C}$$

$$T_1 = (10^\circ\text{C} = 283^\circ\text{K}), T_2 = (180^\circ\text{C} = 453^\circ\text{K})$$

$$Q = W \times c \times (T_2 - T_1)$$

$$= 0,47 \times 180 \times (453 - 283)$$

$$= 14382 \text{ BTU}$$

Jika mesin proses pendinginan pada selama 12 detik = 0,2 jam maka :

$$Q \times \text{waktu (jam)}$$

$$Q = 14382 \times 0,2$$

$$= 28764 \text{ BTU}/\text{H}$$

Untuk mendapatkan kemasan dengan kualitas baik dibutuhkan temperatur pada chiller sebesar 10°C dengan perpindahan panas berdasarkan persamaan diatas sebesar $28764 \text{ BTU}/\text{H}$



Gambar 4.7 Kemasan dengan Proses Pendinginan yang Baik

Sedangkan dengan berat yang sama dan panas jenis yang sama hanya tetapi temperatur air pada chiller sebesar 18°C atau lebih, berdasarkan persamaan 2.11 maka :

$$W = 215 \text{ gr} = 0,47 \text{ pon}$$

$$c = 180^\circ\text{C}$$

$$T1 = (18^\circ\text{C} = 288^\circ\text{K}), T2 = (180^\circ\text{C} = 453^\circ\text{K})$$

$$Q = W \times c \times (T2 - T1)$$

$$= 0,47 \times 180 \times (453 - 291)$$

$$= 13705 \text{ BTU}$$

Jika mesin proses pendinginan pada selama 12 detik = 0,2 jam maka :

$$Q \times \text{waktu (jam)}$$

$$Q = 14382 \times 0,2$$

$$= 2741 \text{ BTU}/\text{H}$$

Dengan diketahui temperatur air pada 19°C penyerapan kalor hanya sebesar $2741 \text{ BTU}/\text{H}$ dan ini menyebabkan kualitas produk menjadi tidak baik dan menghasilkan kerusakan pada produk.



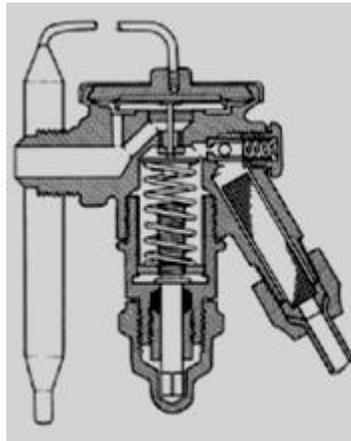
Gambar 4.8 Kemasan dengan Proses Pendinginan yang Kurang Baik

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Unjuk Kerja Katup Ekspansi Termostatik

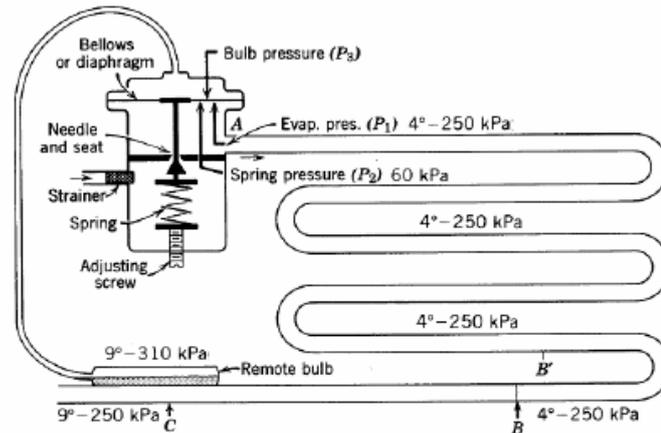
Katup ekspansi termostatik adalah jenis katup yang paling banyak digunakan, karena efisiensinya tinggi dan mudah diadaptasikan dengan berbagai aplikasi refrigerasi. Bagian utama katup ekspansi termostatik adalah katup jarum dan dudukannya, diafragma, *remote bulb* yang berisi refrigeran cair, dilengkapi dengan pipa kapiler yang langsung terhubung ke diafragma, dan pegas yang dapat diatur tekanannya melalui sekrup pengatur tekanan. Seperti semua piranti kontrol laju aliran refrigeran lainnya, katup ekspansi termostatik juga dilengkapi dengan filter dari kasa baja yang diletakkan di sisi dalam dari katup ekspansi termostatik



Gambar 4.1 Katup Ekspansi Termostaik

Remote bulb dipasang pada sisi keluaran evaporator, dicekam atau diklem kuat pada saluran outlet evaporator agar dapat mendeteksi atau merespon langsung temperatur refrigeran yang mengalir pada sisi outlet evaporator. Kerja katup ekspansi termostatik merupakan hasil interaksi tiga jenis tekanan yang bekerja pada

diafragma, yaitu tekanan pegas dan tekanan evaporasi yang akan menekan diafragma sehingga cenderung menutup katup. Dan tekanan yang dihasilkan oleh refrigeran saturasi yang ada di dalam *remote bulb* bila refrigerannya mengembang yang melawan tekanan pegas dan tekanan evaporasi, sehingga cenderung membuka katup. Gambar berikut memperlihatkan skematis cara kerja KET.

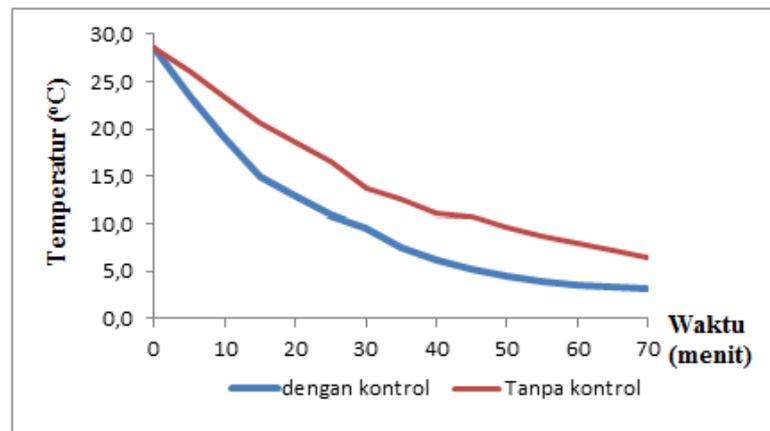


Gambar 4.2 Skematis Cara Kerja Katup Ekspansi Termostatik

4.2 Unjuk Kerja Kontrol Katup Ekspansi Otomatis Pada Mesin Chiller

Kualitas penggunaan kontrol katup ekspansi otomatis pada mesin pendingin chiller, perlu dilakukan pengujian guna menunjukkan kinerja yang dapat dicapai. Dimana proses pengujian unjuk kerja katup dilakukan dengan cara membandingkan penggunaan energi dan hasil pendinginan tanpa menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis dengan menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis.

Proses pendinginan merupakan proses penurunan temperatur bahan atau material sesuai batasan tertentu. Tujuan dari proses pendinginan tersebut untuk mendapatkan kualitas kemasan melalui proses pendinginan. Gambar 4.3 menunjukkan bagaimana grafik proses pendingin ketika menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis



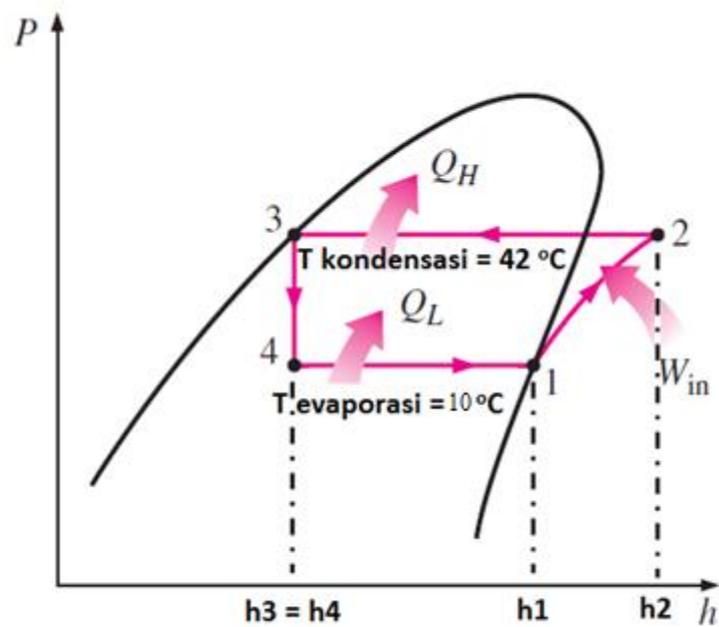
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pendinginan dengan Menggunakan Kontrol Ekspansi Katup Otomatis dan Tanpa Kontrol Katup Otomatis Katup Ekspansi

Gambar 4.3 Proses pendinginan air pada mesin pendingin tersebut dilakukan untuk mengetahui bagaimana hasil pendinginan yang dapat dilakukan oleh mesin pendingin chiller ketika dioperasikan dengan menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis dan tanpa menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis. Dari hasil tersebut dapat diperlihatkan bahwa dengan menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis hasil pendinginan air lebih cepat dibandingkan tanpa menggunakan kontrol solenoid pada katup ekspansi otomatis.

Setelah melakukan serangkaian uji coba pada *water chiller* di PT. Pacific Medan Industri, dimana pengujian masing – masing alat ekspansi pada *water chiller* yang beroperasi dilakukan secara bergantian. Pengujian ini mencakup pengambilan data diantaranya debit air yang dihasilkan oleh pompa, temperatur refrigeran yang keluar dari evaporator, temperatur air yang keluar dari evaporator, temperatur refrigeran keluaran kompresor, dan hasil perhitungan nilai *COP* (*Coefficient Of Performace*). Untuk menghitung seberapa besar nilai *COP* yang dihasilkan oleh *water chiller* baik ketika *water chiller* beroperasi menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi dan beroperasi pada saat tanpa menggunakan katup solenoid,

pada penelitian ini menggunakan tabel temperatur refrigeran R-22 yang tersedia pada properties (lampiran). Dimana besarnya nilai entalpi tersebut berdasarkan nilai temperatur yang didapat pada masing-masing kondisi debit air dan kemudian nilai – nilai entalpi tersebut kita masukkan kedalam persamaan.

Dari data yang diperoleh dari gambar 4.4 siklus kompresi uap, dimana temperatur pada saat kondensasi pada bab 3 rata – rata 38 – 40°C dan temperatur penyerapan kalor evaporasi di evaporator sebesar 10 – 12°C



Gambar 4.4 Diagram Pressure dengan Enthalpy Siklus Kompresi Uap

Sesuai dengan persamaan 2.8, data penelitian pada tiga shift ketika water chiller beroperasi menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik dan pengambilan data temperatur pada setiap shift.

Shift 1 :

$$\begin{aligned}
 Q1(\text{debit air}) &= 0,000109 \text{ m}^3/\text{dtk} \\
 T1 &= 10^\circ\text{C}, h1 = 211,9 \text{ kJ/kg} \\
 T2 &= 12^\circ\text{C}, h2 = 214,3 \text{ kJ/kg} \\
 T3 &= 12^\circ\text{C}, h3 \approx h4 = 194,9 \text{ kJ/kg} \\
 COP &= \frac{211,9 - 194,9}{214,3 - 211,9} = \frac{17 \text{ kJ/kg}}{2,4 \text{ kJ/kg}} = 7,08
 \end{aligned}$$

Shift 2 :

$$\begin{aligned}
 Q2(\text{debit air}) &= 0,000344 \text{ m}^3/\text{dtk} \\
 T1 &= 10^\circ\text{C} \quad h1 = 211,9 \text{ kJ/kg} \\
 T2 &= 12^\circ\text{C} \quad h2 = 214,3 \text{ kJ/kg} \\
 T3 &= 12^\circ\text{C} \quad h3 \approx h4 = 194,0 \text{ kJ/kg} \\
 COP &= \frac{211,9 - 194,0}{214,3 - 211,9} = \frac{17,9 \text{ kJ/kg}}{2,4 \text{ kJ/kg}} = 7,45
 \end{aligned}$$

Shift 3 :

$$\begin{aligned}
 Q3(\text{debit air}) &= 0,000578 \text{ m}^3/\text{dtk} \\
 T1 &= 10^\circ\text{C} \quad h1 = 211,9 \text{ kJ/kg} \\
 T2 &= 11^\circ\text{C} \quad h2 = 213,1 \text{ kJ/kg} \\
 T3 &= 12^\circ\text{C} \quad h3 \approx h4 = 194,9 \text{ kJ/kg} \\
 COP &= \frac{211,9 - 194,9}{213,1 - 211,9} = \frac{17 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 14,1
 \end{aligned}$$

Tabel 4.1 Hasil Penelitian water chiller dengan katup solenoid pada katup ekspansi

No.	Debit Air (m ³ /dtk)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	h1 (kJ/kg)	h2 (kJ/kg)	h3 (kJ/kg)	COP
1.	0,000109	10	12	12	211,9	214,3	194,9	7,08
2.	0,000344	10	12	12	211,9	214,3	194,0	7,45
3.	0,000578	10	11	12	211,9	213,1	194,9	14,1

Data penelitian pada tiga shift ketika water chiller beroperasi tanpa menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik dan pengambilan data temperatur dilakukan secara acak pada setiap shift.

Shift 1 :

$$Q1(\text{debit air}) = 0,000109 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 12^\circ\text{C}, h1 = 214,3 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 13^\circ\text{C}, h2 = 215,5 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 14^\circ\text{C}, h3 \approx h4 = 193,2 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{214,3 - 193,2}{215,5 - 214,3} = \frac{21,1 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 17,5$$

Shift 2 :

$$Q2(\text{debit air}) = 0,000344 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 13^\circ\text{C} h1 = 215,5 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 14^\circ\text{C} h2 = 216,7 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 15^\circ\text{C} h3 \approx h4 = 192,3 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{215,5 - 192,3}{216,7 - 215,5} = \frac{23,2 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 19,3$$

Shift 3

$$Q3(\text{debit air}) = 0,000578 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 14^\circ\text{C}, h1 = 216,7 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 13^{\circ}\text{C}, h2 = 215,5 \text{ kJ/kg}$$

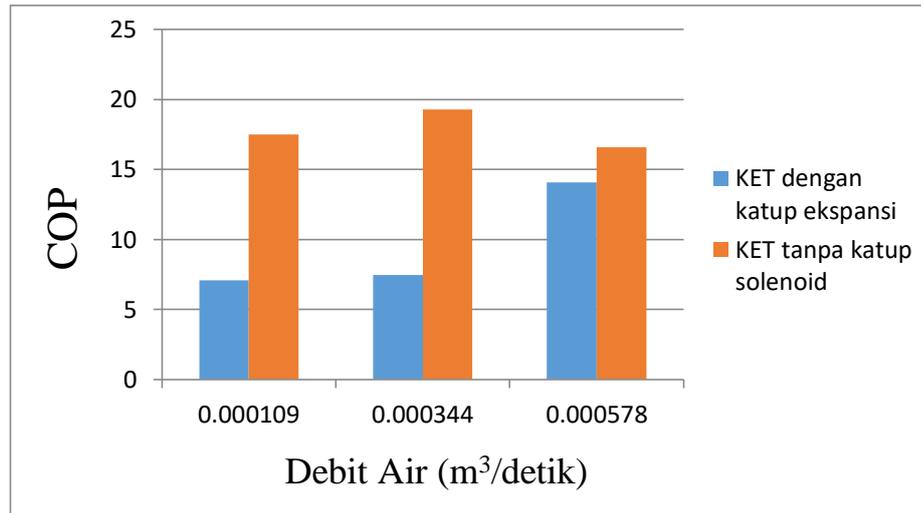
$$T3 = 10^{\circ}\text{C}, h3 \approx h4 = 196,7 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{216,7 - 196,7}{215,5 - 216,7} = \frac{20}{1,2} = 16,6$$

Tabel 4.2 Hasil Penelitian water chiller tanpa katup solenoid pada katup ekspansi

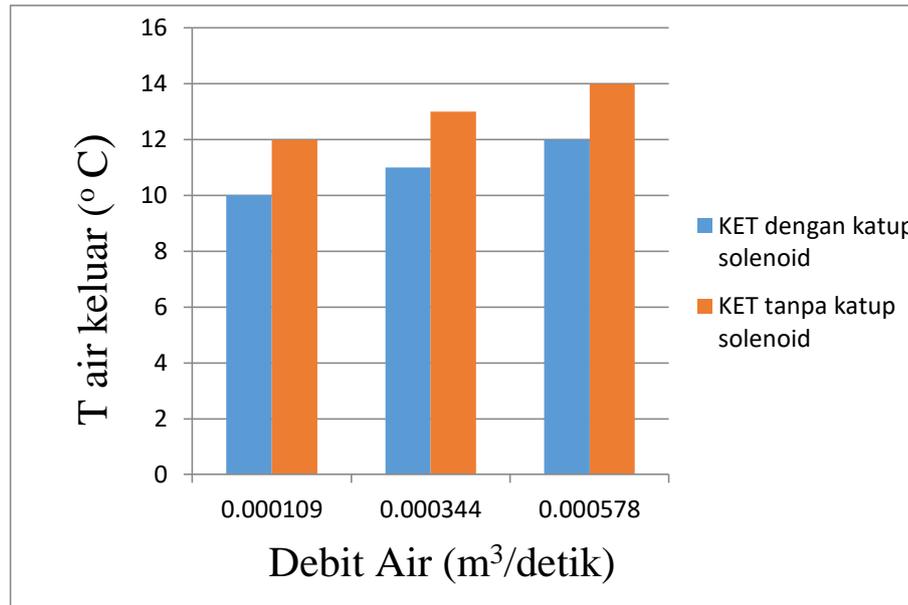
No.	Debit Air (m ³ /dtk)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Pg1 (kJ/kg)	Pg2 (kJ/kg)	Pg3 (kJ/kg)	COP
1.	0,000109	12	13	14	214,3	215,5	193,2	17,5
2.	0,000344	13	14	15	215,5	216,7	192,3	19,3
3.	0,000578	14	13	10	216,7	215,5	196,7	16,6

Berdasarkan data penelitian yang didapat bahwa dengan melihat keadaan tersebut maka dapat dikatakan katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid memiliki kemampuan pendinginan yang lebih baik dibandingkan tidak menggunakan katup solenoid. Hal ini disebabkan karena katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid dapat bekerja dengan cepat terhadap perubahan beban dan perubahan temperatur evaporator. Perubahan tersebut akan mengontrol bukaan katup sehingga laju aliran massa refrigeran cenderung disesuaikan dengan perubahan beban pendinginan.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan debit air terhadap nilai COP terhadap katup ekspansi (KET) dengan menggunakan katup dan tidak menggunakan katup

Dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa nilai *COP* dari katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid lebih kecil dibandingkan dengan nilai *COP* tanpa menggunakan katup. Pada debit air sebesar 0,000344 m³/s, katup ekspansi termostatik yang menggunakan katup solenoid mempunyai nilai *COP* sebesar 7,45 sedangkan yang tidak menggunakan katup solenoid mempunyai nilai *COP* sebesar 19,3. Bertambahnya debit air menyebabkan energi yang diserap oleh refrigeran di evaporator menjadi bertambah besar, sedangkan kerja kompresor tidak mengalami perubahan yang begitu signifikan atau bahkan dapat dikatakan tetap.



Gambar 4.6 Grafik pengaruh debit air pada temperatur air keluar water chiller

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa temperatur air keluar sistem dengan menggunakan katup ekspansi termostatik dengan katup solenoid lebih rendah dibanding tanpa menggunakan katup solenoid. Ketika *water chiller* beroperasi dengan menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik dan pada debit air 0,000109 m³/detik, *water chiller* mampu mendinginkan air sampai dengan 10°C, sedangkan ketika *water chiller* beroperasi tanpa menggunakan katup solenoid mampu mendinginkan air sampai dengan 12°C. Saat debit air 0,000578 m³/detik katup ekspansi termostatik mampu mendinginkan sampai 12°C sedangkan tanpa katup solenoid 14°C. Kemampuan pendinginan *water chiller* di pengaruhi oleh nilai *COP* sistem tersebut, untuk nilai *COP* yang lebih besar berarti kemampuan pendinginan akan semakin besar pula. Pada percobaan ini katup solenoid pada katup ekspansi termostatik mempunyai nilai *COP* yang lebih besar dari pada tanpa menggunakan katup solenoid, dan efek pendinginan yang dihasilkan oleh katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid pun lebih baik dibandingkan tanpa menggunakan katup solenoid

4.3 Perhitungan Perpindahan Panas

Kualitas merupakan salah satu keutamaan dalam sistem produksi yang ada, dimana ini merupakan suatu permasalahan yang cukup besar. Proses pendinginan pada produk kemasan jerigen terjadi pada alat yang disebut dengan *Mould*.

Mould adalah sebuah alat cetakan pada kemasan dimana pada bagian ini terjadi penukaran panas. Pada bagian ini air dari mesin chiller bersirkulasi untuk menyerap panas dari kemasan tersebut.

Berdasarkan persamaan 2.11 jumlah beban panas yang dipindahkan melalui bagian mold yang berbentuk silinder berukuran $\frac{3}{4}$ inchi, jika diketahui berat kemasan 215 gr dengan panas jenis dari plastik 180°C maka jumlah panas yang akan dipindahkan :

$$W = 215 \text{ gr} = 0,47 \text{ pon}$$

$$c = 180^{\circ}\text{C}$$

$$T1 = (10^{\circ}\text{C} = 283^{\circ}\text{K}), T2 = (180^{\circ}\text{C} = 453^{\circ}\text{K})$$

$$Q = W \times c \times (T2 - T1)$$

$$= 0,47 \times 180 \times (453 - 283)$$

$$= 14382 \text{ BTU}$$

Jika mesin proses pendinginan pada selama 12 detik = 0,2 jam maka :

$$Q \times \text{waktu (jam)}$$

$$Q = 14382 \times 0,2$$

$$= 28764 \text{ BTU}/\text{H}$$

Untuk mendapatkan kemasan dengan kualitas baik dibutuhkan temperatur pada chiller sebesar 10°C dengan perpindahan panas berdasarkan persamaan diatas sebesar $28764 \text{ BTU}/\text{H}$



Gambar 4.7 Kemasan dengan Proses Pendinginan yang Baik

Sedangkan dengan berat yang sama dan panas jenis yang sama hanya tetapi temperatur air pada chiller sebesar 18°C atau lebih, berdasarkan persamaan 2.11 maka :

$$W = 215 \text{ gr} = 0,47 \text{ pon}$$

$$c = 180^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = (18^{\circ}\text{C} = 288^{\circ}\text{K}), T_2 = (180^{\circ}\text{C} = 453^{\circ}\text{K})$$

$$Q = W \times c \times (T_2 - T_1)$$

$$= 0,47 \times 180 \times (453 - 291)$$

$$= 13705 \text{ BTU}$$

Jika mesin proses pendinginan pada selama 12 detik = 0,2 jam maka :

$$Q \times \text{waktu (jam)}$$

$$Q = 14382 \times 0,2$$

$$= 2741 \text{ BTU}/\text{H}$$

Dengan diketahui temperatur air pada 19°C penyerapan kalor hanya sebesar 2741 BTU/H dan ini menyebabkan kualitas produk menjadi tidak baik dan menghasilkan kerusakan pada produk.



Gambar 4.8 Kemasan dengan Proses Pendinginan yang Kurang Baik

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan pada sistem pendingin chiller didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Katup ekspansi termostatik dengan katup solenoid mempunyai nilai *COP* (*Coefficient Of Performance*) antara 7,08 hingga 14,1, sedangkan katup ekspansi termostatik tanpa katup solenoid mempunyai nilai *COP* (*Coefficient Of Performance*) antara 17,5 hingga 16,6. Pada debit air sebesar 0,000109 m³/detik katup ekspansi termostatik dengan katup solenoid mampu menghasilkan temperatur air keluaran (*chilled water*) evaporator sebesar 10 °C, sedangkan katup ekspansi tanpa katup solenoid menghasilkan temperatur sebesar 13 °C. Dan pada debit air sebesar 0,000578 m³/detik katup ekspansi termostatik mampu menghasilkan temperatur air keluaran (*chilled water*) evaporator sebesar 10 °C, sedangkan tanpa menggunakan katup solenoid menghasilkan temperatur sebesar 14 – 15 °C. Sehingga katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid ketika digunakan pada sistem pendingin *water chiller* mempunyai performansi dan efek pendinginan yang lebih baik dibandingkan dengan tidak menggunakan katup solenoid.
2. Dengan diketahui selisih temperatur dengan menggunakan katup solenoid dan tidak menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik berdampak pada efek pendinginan, sehingga akan mempengaruhi kualitas produk. Pada temperatur 10 °C dengan penyerapan kalor sebesar 28764

BTU/H pada proses pendinginan menyebabkan kualitas produk menjadi baik, sedangkan pada temperatur 14 - 18 °C dengan penyerapan kalor sebesar 13705 BTU/H menyebabkan kualitas produk menjadi tidak baik hingga menyebabkan cacat pada fisik produk.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengujian kembali letak atau posisi mesin chiller pada PT. Pacific Medan Industri, dikarenakan letaknya sangat jauh dengan posisi mesin produksi ini akan berdampak kenaikan temperatur sehingga air dingin yang diterima oleh mesin produksi tidak sama dengan air dingin pada tangki chiller selisihnya berkisar 2 sampai 3 °C.
2. Untuk menjaga temperatur air pendingin agar tetap stabil pada temperatur *set point* perlu dibuat konstruksi pada tangki air pendingin yang sesuai dengan dimensi evaporator dan juga bahan pada tangki pendingin harus menggunakan bahan yang mempunyai isolasi termal yang baik sehingga temperatur panas dari lingkungan tidak dapat masuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Khairil., dkk. 2010. “Efek Temperatur Pipa Kapiler Terhadap Kinerja Mesin Pendingin”. Jurnal Mekanikal, Vol. 1 No. 1. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- Arisanto, Budi., 2005, ”Pengoperasian *Chiller* Untuk Menunjang *Management* Tata Udara Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif”. Hasil Penelitian dan Kegiatan PLTR Pusat Teknologi Limbah Radioaktif.
- Aziz, Azridjal. 2013, “Komparasi Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler terhadap Temperatur dan Tekanan Mesin Pendingin”. Prosiding SNTK TOPI 2013, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Kiswanto, Heri. 2010, ”Analisa Kerja Mesin *Water Chiller*”. Bab III, Skripsi Fakultas Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
- Putra, Achmad Rogman., dkk. 2013, ”Sistem Pengendalian Suhu Pada Tungku Bakar Menggunakan Kontrol Logika *Fuzzy*”. Jurnal Seminar Hasil Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Rudiyanto, Bayu., dkk. 2016, “Aplikasi Kontrol PI (*Proportional Integral*) pada Katup Ekspansi Mesin Pendingin”. Jurnal Rona Teknik Pertanian Program Studi Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Jember.



PT. PACIFIC MEDAN INDUSTRI

Jl. Pulau Nias Selatan, KIM II Mabar, Medan 20242, North Sumatra, Indonesia
Phone. (62-61) 6871414 / 6871415 Fax. (62-61) 6871126 / 6871453 E-mail: pamin@pacificmedan.com



SURAT KETERANGAN

674 / HR / PMI / XII / 2017

Hal : Balasan surat nomor
0974 / IL.3-AU/UMSU-07/F/2017

Kepada Yth :
Dekan / wakil Dekan I Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T.
Ditempat

Dengan hormat,
Yang bertanda tangan dibawah ini :
Nama : Dinno Saptana
Jabatan : HR Asist Manager

Menerangkan bahwa,
Nama : Mashendra
NPM : 1307220036
Jurusan : Teknik Elektro

Telah kami setujui untuk melaksanakan penelitian pada perusahaan kami
Sebagai salah satu syarat penyusunan skripsi dengan judul :

**“ Analisa Sistem Kontrol Katup Ekspansi Valve Sebagai Pengendali
Temperatur Chiller”**

Demikian surat ini kami sampaikan atas kerjasamanya kami
mengucapkan terima kasih.

Medan, 29 Juli 2017

Hormat kami


Dinno Saptana
HR Asist Manager

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Profil Pribadi



Nama : Mashendra
Tempat/Tgl Lahir : Karang Anyar/30 Mei 1992
Alamat : Dusun III Karang Baru Kec.
Talawi Kab. Batu Bara
Prov. Sumatera Utara
Jenis Kelamin : Laki –Laki
Agama : Islam
Kewargaan : Warga Negara Indonesia
Anak Ke : 1 Dari 5 Bersaudara

Orang Tua

Nama Ayah : Rusli
Agama : Islam
Nama Ibu : Suprpti
Agama : Islam

Pendidikan

1998 – 2004 : Lulus SD Negeri 014736 Karang Anyar
2004 – 2007 : Lulus SMP Negeri 02 Talawi
2007 – 2010 : Lulus SMK Budhi Dharma Indra Pura
2013 – 2017 : Tercatat Sebagai Mahasiswa Program Studi
Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas
Muhammadiyah Sumatera Utara.

ANALISA SISTEM KONTROL EKSPANSI VALVE SEBAGAI PENGENDALI TEMPERATUR CHILLER

Mashendra, Eddy Warman, Rimbawati.
Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Email : mashendrah03@gmail.com

ABSTRAK

Mesin pendingin yang paling banyak digunakan saat ini adalah mesin pendingin yang beroperasi dengan siklus kompresi uap (SKU). Pada siklus refrigeran akan tersirkulasi melalui empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Alat ekspansi berfungsi mengekspansikan cairan refrigeran bertekanan dan bertemperatur tinggi dari kondensor sampai tekanan dan temperaturnya rendah serta mengatur pemasukan refrigeran sesuai dengan beban pendinginan yang dapat dilayani oleh evaporator. Pada pokok permasalahan bagaimanakah sistem kontrol katup ekspansi sebagai pengendali temperatur chiller dan berapakah selisih temperatur yang dicapai terhadap kualitas produk. Katup ekspansi termostatik dengan katup solenoid mempunyai nilai COP antara 7,08 hingga 14,1, sedangkan katup ekspansi termostatik tanpa katup solenoid mempunyai nilai COP antara 17,5 hingga 16,6. Sehingga katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid ketika digunakan pada sistem pendingin water chiller mempunyai performansi dan efek pendinginan yang lebih baik dibandingkan dengan tidak menggunakan katup solenoid. Pada katup ekspansi dengan menggunakan katup solenoid dapat menyerap kalor sebesar 28764 BTU/H, dengan temperatur 10 °C sedangkan dengan tidak menggunakan katup solenoid hanya dapat menyerap kalor sebesar 13705 BTU/H dengan temperatur 14 – 18 °C, perbedaan penyerapan kalor ini akan berdampak pada kualitas produk itu sendiri.

ABSTRACT

The most widely used cooling machine today is a cooling machine that operates with a vapor compression cycle (SKU). In the refrigerant cycle will be circulated through four main components of the compressor, condenser, expansion tool and evaporator. The expansion device serves to expand the high pressure and high-temperature refrigerant fluid from the condenser to low pressure and temperature and adjust the refrigerant input according to the cooling load that can be served by the evaporator. At what point is the expansion valve control system as the chiller temperature controller and what is the difference in temperature achieved on product quality. The thermostatic expansion valve with the solenoid valve has a COP value between 7.08 and 14.1, while the thermostatic expansion valve without solenoid valve has a COP value of 17.5 to 16.6. Thus, thermostatic expansion valves using solenoid valves when used in water chiller cooling systems have better cooling performance and effects than do not use solenoid valves. In the expansion valve using solenoid valve can absorb the heat of 28764 BTU / H, with a temperature of 10oC while not using solenoid valve can only absorb the heat of 13705 BTU / H with the temperature of 14-18 oC, the difference of this heat absorption will have an impact on the quality the product itself.

I. PENDAHULUAN

Mesin pendingin yang paling banyak digunakan saat ini adalah mesin pendingin yang beroperasi dengan siklus kompresi uap (SKU) atau yang dikenal dengan mesin chiller. Mesin pendingin siklus kompresi uap memiliki empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator.

Pada pokok persoalannya menyangkut sebuah alat yakni katup ekspansi. Katup ekspansi yang dipasang setelah kondensor yang menyebabkan temperatur dan tekanan cairan refrigeran turun, panas yang dihasilkan dari sirkulasi proses produksi akan diserap kembali oleh cairan refrigeran di evaporator melalui media air sebagai penghantar panas.

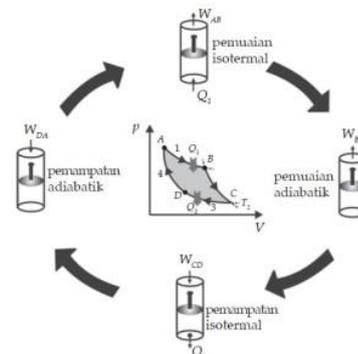
Alat ekspansi berfungsi mengekspansikan cairan refrigeran bertekanan dan bertemperatur tinggi dari kondensor sampai tekanan dan temperaturnya rendah serta mengatur pemasukan refrigeran sesuai dengan beban pendinginan yang dapat dilayani oleh evaporator. Alat ekspansi akan mengatur aliran refrigeran baik secara manual maupun otomatis. Alat ekspansi yang banyak digunakan adalah jenis pipa kapiler dan jenis katup ekspansi termostatik (*Thermostatic Expansion Valve/TEV*).

Katup ekspansi termostatik (KET) adalah katup ekspansi serbaguna dan paling banyak digunakan dalam sistem pendingin. Sebuah KET akan mempertahankan tingkat *superheat* konstan di ujung keluar evaporator, karena itu TEV adalah yang paling efektif untuk evaporator kering dalam mencegah kerusakan kompresor karena refrigeran cair tidak boleh masuk ke

kompresor. Pada saat beban pendingin bertambah, cairan refrigeran di evaporator akan menguap lebih banyak, sehingga temperatur *superheat* akan naik. Kenaikan temperatur dari evaporator akan menyebabkan cairan refrigeran yang sama yang terdapat dalam *sensing bulb* akan menguap yang menyebabkan naiknya tekanan. Tekanan ini akan menekan diafragma ke bawah sehingga katup terbuka lebih besar, selanjutnya cairan refrigeran dari kondensor akan mengalir lebih banyak ke dalam evaporator. Temperatur *superheat* di evaporator akan kembali berubah dan menyesuaikan dengan beban pendinginan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Siklus Carnot adalah Salah satu jenis mesin refrigerasi yang umum digunakan pada zaman sekarang adalah jenis kompresi uap. Mesin pendingin jenis ini bekerja secara mekanik dan perpindahan panas dilakukan dengan memanfaatkan sifat refrigeran yang berubah dari fase cair ke fase gas (uap) dan kembali ke fase cair secara berulang – ulang.



Gambar 1 Siklus Carnot

Berdasarkan gambar diatas dapat dijelaskan siklus carnot sebagai berikut.

5. Proses AB adalah pemuaian isothermal pada suhu T_1 . Pada proses ini sistem menyerap kalor Q_1 dari reservoir bersuhu tinggi T_1 dan melakukan usaha W_{AB} .
6. Proses BC adalah pemuaian adiabatik. Selama proses ini berlangsung suhu sistem turun dari T_1 menjadi T_2 sambil melakukan usaha W_{BC} .
7. Proses CD adalah pemampatan isothermal pada suhu T_2 . Pada proses ini sistem menerima usaha W_{CD} dan melepas kalor Q_2 ke reservoir bersuhu rendah T_2 .
8. Proses DA adalah pemampatan adiabatik. Selama proses ini suhu sistem naik dari T_2 menjadi T_1 akibat menerima usaha W_{DA} .

Untuk siklus Carnot berlaku hubungan

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \times 100 \%$$

sehingga efisiensi mesin carnot dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \times 100 \%$$

Keterangan:

η : efisiensi mesin carnot

T_1 : suhu reservoir bersuhu tinggi ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 : suhu reservoir bersuhu rendah ($^{\circ}\text{C}$)

Efisiensi mesin Carnot merupakan efisiensi yang paling besar karena merupakan mesin ideal yang hanya ada di dalam teori. Artinya, tidak ada mesin yang mempunyai efisien melebihi efisiensi mesin kalor Carnot. Oleh karena itu, mesin kalor Carnot adalah mesin yang sangat ideal. Hal ini disebabkan proses kalor Carnot merupakan proses reversibel. Sedangkan kebanyakan mesin biasanya

mengalami proses irreversibel (tak terbalikkan) tidak seperti [mesin carnot](#).

Water chiller adalah alat mekanis yang digunakan untuk memperlancar pertukaran panas dari air ke zat pendingin yang dalam sistem loop tertutup. Kemudian zat pendingin dipompa ke lokasi dimana dibutuhkan zat pendingin. Water chiller terdiri dari dua siklus yang saling berkaitan, siklus refrigeran primer dan siklus refrigeran sekunder. Pada siklus primer, refrigeran primer tersirkulasi melalui empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator. Pada siklus sekunder refrigeran sekunder disirkulasikan oleh pompa dari evaporator ke AHU (*air handling unit*) dan kembali lagi ke evaporator secara kontinu. Refrigeran sekunder yang biasa digunakan dalam hal ini adalah air.

Perpindahan kalor merupakan ilmu yang mempelajari tentang bagaimana kalor berpindah/mengalir dari tempat yang bertemperatur tinggi ke temperatur lebih rendah jadi panas dapat berpindah karena adanya beda temperatur. Seperti yang kita ketahui bersama, bahwa yang namanya kalor itu adalah berupa suatu energi. Dimana berdasar hukum kekekalan energi, energi dapat berpindah dari suatu tempat ke tempat lain dan dapat pula berubah bentuk, dari bentuk energi satu ke energi lain. Dengan persamaan

$$Q = W \times c \times (T_2 - T_1) \dots (2.11)$$

Dimana :

Q = jumlah panas (BTU)

W = berat produk (lb/pon)

c = panas jenis produk (BTU/ $^{\circ}\text{C}$)

T_1 = Temperatur awal (K)

T_2 = temperatur akhir (K)

Perpindahan Kalor adalah suatu proses perpindahan energi panas pada suatu zat atau dari satu zat ke zat lain. Kalor dapat berpindah dapat melalui suatu zat perantara maupun tanpa zat perantara.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun lokasi penelitian ini di PT. PACIFIC MEDAN INDUSTRI tahap II Kawasan Industri Medan (KIM) II Desa Saentis, Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara. Ruang lingkup kerja memproduksi dan pengembangan minyak sayur, *Vegetable Ghee*, *Shortening Margarin* dan lemak khusus yang berasal minyak kelapa sawit mentah *Crude Palm Oil (CPO)* serta memproduksi kemasan metal kaleng, tutup *jerrycan* plastik dan botol.

adapun data yang diambil yakni :

3. DATATEMPERATUR CHILLER

Merupakan data suhu air pada chiller baik yang masuk dan yang keluar, data tersebut dicatat setiap jamnya pada tiga shift berlanjut. Data tersebut pada saat chiller menggunakan kontrol solenoid pada katup ekspansi.

Tabel 1 Data Temperatur Chiller dengan Menggunakan Kontrol Solenoid Pada Katup Ekspansi

Data Monitoring chiller										
		Time								
		Shift 1	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20	
	out	10	10	10	10	10	12	12	12	
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22	
	out	40	38	38	38	40	40	38	38	

Data Monitoring chiller										
		Time								
		Shift 2	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20	
	out	10	10	10	10	11	12	12	12	
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22	
	out	40	38	38	38	40	40	38	38	

Data Monitoring chiller										
		Time								
		Shift 3	23.00	24.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20	
	out	10	10	11	11	10	12	12	12	
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22	
	out	40	38	38	38	40	40	38	38	

Tabel 2 Data Temperatur Chiller Pada Saat Tanpa Menggunakan Kontrol Solenoid Pada Katup Ekspansi

Data Monitoring chiller										
		Time								
		Shift 1	07.00	08.00	09.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20	
	out	12	12	13	13	13	14	14	14	
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22	
	out	43	40	40	40	43	43	40	40	

Data Monitoring chiller										
		Time								
		Shift 2	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20	
	out	14	14	14	13	13	15	14	14	
Condensor	in	22	22	22	23	23	22	22	22	
	out	42	40	40	40	41	41	41	41	

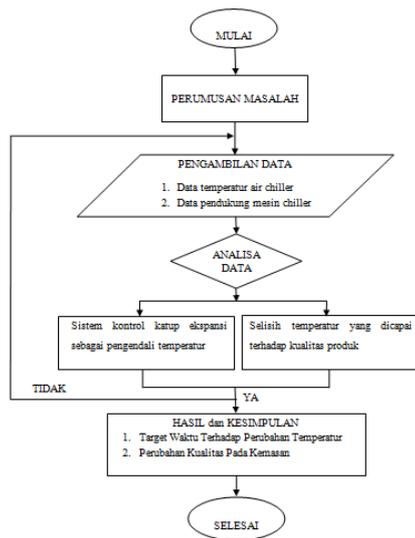
Data Monitoring chiller										
		Time								
		Shift 3	23.00	24.00	01.00	02.00	03.00	04.00	05.00	06.00
Evaporator	in	20	22	20	20	23	22	25	20	
	out	14	14	13	13	13	10	10	10	
Condensor	in	20	20	20	20	20	20	20	20	
	out	43	43	43	43	43	43	43	43	

4. DATA PENDUKUNG MESIN CHILLER

Data pendukung mesin chiller adalah data yang mendukung pada saat pengoperasian mesin chiller tersebut, ada beberapa data yang dikumpulkan yakni :

5. Mesin chiller carrier dengan daya 180 Kw.
6. Tangki air dingin dengan kapasitas 1000 liter.
7. Buku pedoman pengoperasian mesin chiller.
8. Data *quality control sheet* pada mesin produksi yang menggunakan chiller tersebut.

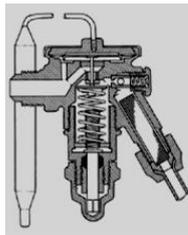
Diagram alir dalam penelitian seperti tertera dibawah ini :



Gambar 2 diagram alir penelitian

IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

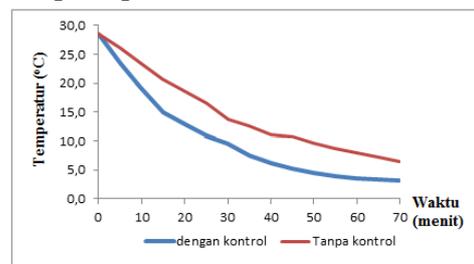
Katup ekspansi termostatik adalah jenis katup yang paling banyak digunakan, karena efisiensinya tinggi dan mudah diadaptasikan dengan berbagai aplikasi refrigerasi. Bagian utama katup ekspansi termostatik adalah katup jarum dan dudukannya, diafragma, *remote bulb* yang berisi refrigeran cair, dilengkapi dengan pipa kapiler yang langsung terhubung ke diafragma, dan pegas yang dapat diatur tekanannya melalui sekrup pengatur tekanan. Seperti semua piranti kontrol laju aliran refrigeran lainnya, katup ekspansi termostatik juga dilengkapi dengan filter dari kasa baja yang diletakkan di sisi dalam dari katup ekspansi termostatik.



Gambar 3 Katup Ekspansi Termostatik

Proses pendinginan air pada mesin pendingin tersebut dilakukan untuk mengetahui bagaimana hasil pendinginan yang dapat dilakukan

oleh mesin pendingin chiller ketika dioperasikan dengan menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis dan tanpa menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis. Dari hasil tersebut dapat diperlihatkan bahwa dengan menggunakan kontrol katup ekspansi otomatis hasil pendinginan air lebih cepat dibandingkan tanpa menggunakan kontrol solenoid pada katup ekspansi otomatis.



Gambar 4 Grafik Hasil Pendinginan dengan Menggunakan Kontrol Ekspansi Katup Otomatis dan Tanpa Kontrol Katup Otomatis Katup Ekspansi

Pengujian ini mencakup pengambilan data diantaranya debit air yang dihasilkan oleh pompa, temperatur refrigeran yang keluar dari evaporator, temperatur air yang keluar dari evaporator, temperatur refrigeran keluaran kompresor, dan hasil perhitungan nilai *COP* (*Coefficient Of Performace*). Untuk menghitung seberapa besar nilai *COP* yang dihasilkan oleh *water chiller* baik ketika *water chiller* beroperasi menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi dan beroperasi pada saat tanpa menggunakan katup solenoid, pada penelitian ini menggunakan tabel temperatur refrigeran R-22 yang tersedia pada properties (lampiran). Dimana besarnya nilai entalpi tersebut berdasarkan nilai temperatur yang didapat pada masing-masing kondisi debit air dan kemudian nilai –

nilai entalpi tersebut kita masukkan kedalam persamaan.

Dari data yang diperoleh dari dimana temperatur pada saat kondensasi pada bab 3 rata – rata 38 – 40°C dan temperatur penyerapan kalor evaporasi di evaporator sebesar 10 – 12°C.

Data penelitian pada tiga shift ketika water chiller beroperasi menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik dan pengambilan data temperatur pada setiap shift.

Shift 1 :

$$Q1(\text{debit air}) = 0,000109 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 10^\circ\text{C}, h1 = 211,9 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 12^\circ\text{C}, h2 = 214,3 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 12^\circ\text{C}, h3 \approx h4 \\ = 194,9 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{211,9 - 194,9}{214,3 - 211,9} \\ = \frac{17 \text{ kJ/kg}}{2,4 \text{ kJ/kg}} = 7,08$$

Shift 2 :

$$Q2(\text{debit air}) = 0,000344 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 10^\circ\text{C} \quad h1 = 211,9 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 12^\circ\text{C} \quad h2 = 214,3 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 12^\circ\text{C} \quad h3 \approx h4 \\ = 194,0 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{211,9 - 194,0}{214,3 - 211,9} \\ = \frac{17,9 \text{ kJ/kg}}{2,4 \text{ kJ/kg}} = 7,45$$

Shift 3 :

$$Q3(\text{debit air}) = 0,000578 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 10^\circ\text{C} \quad h1 = 211,9 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 11^\circ\text{C} \quad h2 = 213,1 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 12^\circ\text{C} \quad h3 \approx h4 = 194,9 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{211,9 - 194,9}{213,1 - 211,9} \\ = \frac{17 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 14,1$$

Tabel 3 Hasil Penelitian water chiller dengan katup solenoid pada katup ekspansi

No.	Debit Air (m ³ /dtk)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	h1 (kJ/kg)	h2 (kJ/kg)	h3 (kJ/kg)	COP
1.	0,000109	10	12	12	211,9	214,3	194,9	7,08
2.	0,000344	10	12	12	211,9	214,3	194,0	7,45
3.	0,000578	10	11	12	211,9	213,1	194,9	14,1

Data penelitian pada tiga shift ketika water chiller beroperasi tanpa menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik dan pengambilan data temperatur dilakukan secara acak pada setiap shift.

Shift 1 :

$$Q1(\text{debit air}) = 0,000109 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 12^\circ\text{C}, h1 = 214,3 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 13^\circ\text{C}, h2 = 215,5 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 14^\circ\text{C}, h3 \approx h4 \\ = 193,2 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{214,3 - 193,2}{215,5 - 214,3} \\ = \frac{21,1 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 17,5$$

Shift 2 :

$$Q2(\text{debit air}) = 0,000344 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 13^\circ\text{C} \quad h1 = 215,5 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 14^\circ\text{C} \quad h2 = 216,7 \text{ kJ/kg}$$

$$T3 = 15^\circ\text{C} \quad h3 \approx h4 = 192,3 \text{ kJ/kg}$$

$$COP = \frac{215,5 - 192,3}{216,7 - 215,5} \\ = \frac{23,2 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 19,3$$

Shift 3

$$Q3(\text{debit air}) = 0,000578 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

$$T1 = 14^\circ\text{C}, h1 = 216,7 \text{ kJ/kg}$$

$$T2 = 13^\circ\text{C}, h2 = 215,5 \text{ kJ/kg}$$

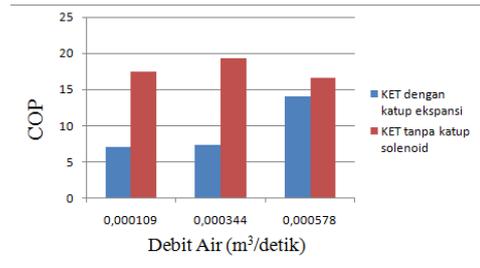
$$T3 = 10^\circ\text{C}, h3 \approx h4 = 196,7 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned} COP &= \frac{216,7 - 196,7}{\frac{20 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}}} \\ &= \frac{20 \text{ kJ/kg}}{1,2 \text{ kJ/kg}} = 16,6 \end{aligned}$$

Tabel 4 Hasil Penelitian water chiller tanpa katup solenoid pada katup ekspansi

No.	Debit Air (m ³ /dtk)	T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	Pg1 (kJ/kg)	Pg2 (kJ/kg)	Pg3 (kJ/kg)	COP
1.	0,000109	12	13	14	214,3	215,5	193,2	17,5
2.	0,000344	13	14	15	215,5	216,7	192,3	19,3
3.	0,000578	14	13	10	216,7	215,5	196,7	16,6

Berdasarkan data penelitian yang didapat bahwa dengan melihat keadaan tersebut maka dapat dikatakan katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid memiliki kemampuan pendinginan yang lebih baik dibandingkan tidak menggunakan katup solenoid. Hal ini disebabkan karena katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid dapat bekerja dengan cepat terhadap perubahan beban dan perubahan temperatur evaporator. Perubahan tersebut akan mengontrol bukaan katup sehingga laju aliran massa refrigeran cenderung disesuaikan dengan perubahan beban pendinginan.

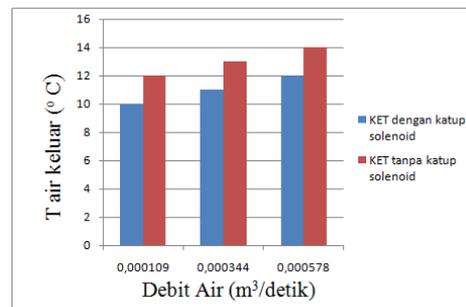


Gambar 5 Grafik perbandingan debit air terhadap nilai COP terhadap katup ekspansi (KET) dengan menggunakan katup dan tidak menggunakan katup

Dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa nilai *COP* dari katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid lebih kecil dibandingkan dengan nilai *COP* tanpa menggunakan katup.

Pada debit air sebesar 0,000344 m³/s, katup ekspansi termostatik yang menggunakan katup solenoid mempunyai nilai *COP* sebesar 7,45 sedangkan yang tidak menggunakan katup solenoid mempunyai nilai *COP* sebesar 19,3.

Bertambahnya debit air menyebabkan energi yang diserap oleh refrigeran di evaporator menjadi bertambah besar, sedangkan kerja kompresor tidak mengalami perubahan yang begitu signifikan atau bahkan dapat dikatakan tetap.



Gambar 6 Grafik pengaruh debit air pada temperatur air keluar water chiller

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa temperatur air keluar sistem dengan menggunakan katup ekspansi termostatik dengan katup solenoid lebih rendah dibanding tanpa menggunakan katup solenoid.

Ketika *water chiller* beroperasi dengan menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik dan pada debit air 0,000109 m³/detik, *water chiller* mampu mendinginkan air sampai dengan 10°C, sedangkan ketika *water chiller* beroperasi tanpa menggunakan katup solenoid mampu mendinginkan air sampai dengan 12°C.

Kualitas merupakan salah satu keutamaan dalam sistem produksi yang ada, dimana ini merupakan suatu permasalahan yang cukup besar. Proses pendinginan pada produk kemasan jerigen terjadi pada alat yang disebut dengan *Mould*.

Jumlah beban panas yang dipindahkan melalui bagian mold yang berbentuk silinder berukuran ¾ inchi, jika diketahui berat kemasan 215 gr dengan panas jenis dari plastik 180°C maka jumlah panas yang akan dipindahkan :

$$\begin{aligned}
 W &= 215 \text{ gr} = 0,47 \text{ pon} \\
 c &= 180^\circ\text{C} \\
 T1 &= (10^\circ\text{C} = 283^\circ\text{K}), \\
 T2 &= (180^\circ\text{C} = 453^\circ\text{K}) \\
 Q &= W \times c \times (T2 - T1) \\
 &= 0,47 \times 180 \times (453 - 283) \\
 &= 14382 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

Jika mesin proses pendinginan pada selama 12 detik = 0,2 jam maka :

$$\begin{aligned}
 Q \times \text{waktu (jam)} \\
 Q &= 14382 \times 0,2 \\
 &= 28764 \text{ BTU}/\text{H}
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan kemasan dengan kualitas baik dibutuhkan temperatur pada chiller sebesar 10°C dengan perpindahan panas berdasarkan persamaan diatas sebesar 28764 BTU/H



Gambar 7 Kemasan dengan Proses Pendinginan yang Baik

Sedangkan dengan berat yang sama dan panas jenis yang sama hanya tetapi temperatur air pada chiller sebesar 18°C atau lebih maka

$$\begin{aligned}
 W &= 215 \text{ gr} = 0,47 \text{ pon} \\
 c &= 180^\circ\text{C} \\
 T1 &= (18^\circ\text{C} = 288^\circ\text{K}), \\
 T2 &= (180^\circ\text{C} = 453^\circ\text{K}) \\
 Q &= W \times c \times (T2 - T1) \\
 &= 0,47 \times 180 \times (453 - 291) \\
 &= 13705 \text{ BTU}
 \end{aligned}$$

Jika mesin proses pendinginan pada selama 12 detik = 0,2 jam maka :

$$\begin{aligned}
 Q \times \text{waktu (jam)} \\
 Q &= 13705 \times 0,2 \\
 &= 2741 \text{ BTU}/\text{H}
 \end{aligned}$$

Dengan diketahui temperatur air pada 19°C penyerapan kalor hanya sebesar 2741 BTU/H dan ini menyebabkan kualitas produk

menjadi tidak baik dan menghasilkan kerusakan pada produk.



Gambar 8 Kemasan dengan Proses Pendinginan yang Kurang Baik

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan pada sistem pendingin chiller didapat kesimpulan sebagai berikut :

3. Katup ekspansi termostatik dengan katup solenoid mempunyai nilai *COP* (*Coefficient Of Performance*) antara 7,08 hingga 14,1, sedangkan katup ekspansi termostatik tanpa katup solenoid mempunyai nilai *COP* (*Coefficient Of Performance*) antara 17,5 hingga 16,6. Pada debit air sebesar 0,000109 m³/detik katup ekspansi termostatik dengan katup solenoid mampu menghasilkan temperatur air keluaran (*chilled water*) evaporator sebesar 10 °C, sedangkan katup ekspansi tanpa katup solenoid menghasilkan temperatur sebesar 13 °C. Dan pada debit air sebesar 0,000578 m³/detik katup

ekspansi termostatik mampu menghasilkan temperatur air keluaran (*chilled water*) evaporator sebesar 10 °C, sedangkan tanpa menggunakan katup solenoid menghasilkan temperatur sebesar 14 – 15 °C. Sehingga katup ekspansi termostatik dengan menggunakan katup solenoid ketika digunakan pada sistem pendingin *water chiller* mempunyai performansi dan efek pendinginan yang lebih baik dibandingkan dengan tidak menggunakan katup solenoid.

4. Dengan diketahui selisih temperatur dengan menggunakan katup solenoid dan tidak menggunakan katup solenoid pada katup ekspansi termostatik berdampak pada efek pendinginan, sehingga akan mempengaruhi kualitas produk. Pada temperatur 10 °C dengan penyerapan kalor sebesar 28764 BTU/H pada proses pendinginan menyebabkan kualitas produk menjadi baik, sedangkan pada temperatur 14 - 18 °C dengan penyerapan kalor sebesar 13705 BTU/H menyebabkan kualitas produk menjadi tidak baik hingga menyebabkan cacat pada fisik produk.

B. Saran

3. Perlu dilakukan pengujian kembali letak atau posisi mesin chiller pada PT. Pacific Medan Industri, dikarenakan letaknya sangat jauh dengan posisi mesin produksi ini akan berdampak kenaikan temperatur sehingga air

dingin yang diterima oleh mesin produksi tidak sama dengan air dingin pada tangki chiller selisihnya berkisar 2 sampai 3 °C.

4. Untuk menjaga temperatur air pendingin agar tetap stabil pada temperatur *set point* perlu dibuat konstruksi pada tangki air pendingin yang sesuai dengan dimensi evaporator dan juga bahan pada tangki pendingin harus menggunakan bahan yang mempunyai isolasi termal yang baik sehingga temperatur panas dari lingkungan tidak dapat masuk.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Khairil., dkk. 2010. "Efek Temperatur Pipa Kapiler Terhadap Kinerja Mesin Pendingin". Jurnal Mekanikal, Vol. 1 No. 1. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tadulako.
- Arisanto, Budi., 2005, "Pengoperasian *Chiller* Untuk Menunjang *Management* Tata Udara Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif". Hasil Penelitian dan Kegiatan PLTR Pusat Teknologi Limbah Radioaktif.
- Aziz, Azridjal. 2013, "Komparasi Katup Ekspansi Termostatik dan Pipa Kapiler terhadap Temperatur dan Tekanan Mesin Pendingin"., Prosiding SNTK TOPI 2013, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Kiswanto, Heri. 2010, "Analisa Kerja Mesin *Water Chiller*"., Bab III, Skripsi Fakultas Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
- Putra, Achmad Rogman., dkk. 2013, "Sistem Pengendalian Suhu Pada Tungku Bakar Menggunakan Kontrol Logika *Fuzzy*"., Jurnal Seminar Hasil Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Rudiyanto, Bayu., dkk. 2016, "Aplikasi Kontrol PI (*Proportional Integral*) pada Katup Ekspansi Mesin Pendingin"., Jurnal Rona Teknik Pertanian Program Studi Teknik Energi Terbarukan Politeknik Negeri Jember.