

LAJU PENDINGINAN AIR DENGAN *ICE ON COIL* PADA MESIN PENDINGIN *TYPE CHILLER* UNTUK *COLD STORAGE*

Irwandi Hidayat, Azridjal Aziz, Herisiswanto, Rahmat Iman Mainil

Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau,
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia

E-mail: rahmat.iman@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Es pada *coil* adalah teknologi penyimpanan es dimana pipa atau *coil* yang direndam didalam air. Es terbentuk diluar tabung dengan sirkulasi pendingin sekunder atau pendingin didalam tabung terjadinya es. Mesin-mesin pendingin pada saat ini telah banyak berkembang seiring dengan kemajuan teknologi. Umumnya mesin ini digunakan untuk pengawetan makanan, sayuran dan buah. Mesin pendingin ini bertujuan mendinginkan air sebagai refrigeran sekunder hingga bertemperatur 0°C untuk mengukur kemampuan mesin pendingin dalam mendinginkan ruangan dan kotak penyimpanan dingin. Performansi mesin pendingin untuk kotak penyimpanan dingin dan ruangan mempunyai perbedaan nilai. Nilai COP yang ke ruangan lebih besar dibanding dengan yang ke kotak penyimpanan dingin disebabkan kerja yang diberikan ke ruangan lebih besar dari pada ke kotak penyimpanan dingin, perubahan entalpi evaporator juga sangat mempengaruhi nilai COP, semakin besar perubahan entalpi evaporator maka akan semakin besar pula nilai COP yang diberikan mesin tersebut.

Kata Kunci: mesin pendingin, cold storage, refrigeran

ABSTRACT

The Ice on coil is ice storage technology where a tube coil is immersed in water. Ice formed out of a tube with a circulation of coolant in the secondary cooling tube generally the ice. The cooling machines at this time has evolved along with advances in technology. Generally, this machines utilizet for preservation of foods, vegetables and fruits. Interest cool water as secondary refrigerant temperature is 0 ° C to measure the ability of a coolant in the engine cool down the room and cold storage box. Performance cooler for cold storage box and the rooms have different values. COP value that all the rooms are larger than the storage box cold due to the labor supplied to the room is bigger than the box of cold storage, the temperature changes in the evaporator also greatly affect the value of COP, the greater the change in enthalpy evaporator, the greater the value of the COP given the machine

Keywords: refrigeration machine, cold storage, refrigerant

PENDAHULUAN

Pada temperatur biasa (temperatur kamar) makanan cepat menjadi busuk karena pada temperatur biasa bakteri akan berkembang cepat, sedangkan pada temperatur 4,4 °C atau 40 °F (temperatur yang biasa untuk mengawetkan makanan) bakteri berkembang sangat lambat sehingga makanan akan lebih tahan lama. Dengan kata lain makanan tersebut diawetkan dengan cara mendinginkannya. Kegunaan lain dari mesin

pendingin adalah penyejuk ruangan, mendinginkan minuman (*beverage cooling*), untuk membuat es batu, es mambo dan lain-lain, pada rumah tangga dapat kita lihat lemari es dapat menyimpan susu, sayuran, buah-buahan, daging dan lain-lain. Untuk pengawetan dalam jumlah yang lebih besar dapat dilihat pada tempat pemotongan ternak (*butcher*). Dan juga pada kendaraan pengangkut daging, sayuran, dan ikan ketempat-tempat yang jauh agar tidak busuk sampai ditempat tujuan (Hanafi, 2006).

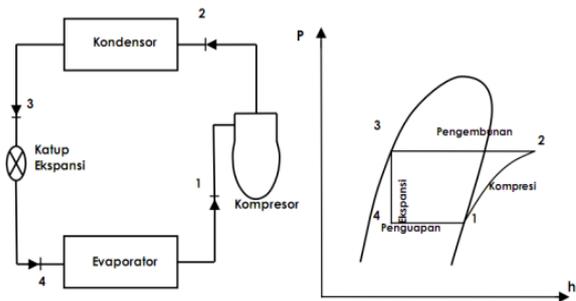
Penelitian yang dilakukan tentang performansi mesin pendingin telah banyak dilakukan. Komang dkk, 2010, telah melakukan penelitian tentang analisa performansi sistem pendingin ruangan dan efisiensi energi listrik pada sistem *water chiller* dengan penerapan metode *cooled energy storage* didapat nilai performansi sistem pendingin dengan penggunaan *full* sistem lebih rendah dari pada performansi sistem pendingin pada penggunaan *half* sistem. Hal ini dapat dilihat pada hasil perhitungan kerja kompresi, dampak refrigrasi dan COP.

Yudisworo dkk, 2014, juga telah melakukan penelitian tentang *cooling unit performance analysis of fish (cold storage) to Improve quality in fishermen catch* Cirebon didapat nilai COP *actual* yang dicapai oleh *cold storage* tersebut adalah sekitar 2,24 lebih kecil dari COP Carnot nya yang sebesar 4,13.

Daur siklus Kompresi Uap Standar (Teoritis)

Daur kompresi uap standar merupakan siklus teoritis, Siklus kompresi uap disebut sebagai siklus yang dioperasikan oleh kerja (*work operated system*), karena kenaikan tekanan refrigeran dilakukan oleh kompresor yang memerlukan kerja dari luar. Mesin pendingin dengan siklus kompresi uap (*Vapour Compression Cycle*) merupakan mesin yang paling banyak digunakan pada refrigrasi. Pada siklus ini uap ditekan, kemudian diembunkan menjadi cairan, kemudian tekanannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali. Penyerapan panas pada siklus kompresi uap dilakukan dalam evaporator dengan temperatur dan tekanan rendah.

Di dalam evaporator, refrigeran berubah dari fase cair menjadi fasa gas, lalu masuk ke kompresor. Karena kerja kompresor, refrigeran menjadi gas bertemperatur dan bertekanan tinggi. Untuk melepaskan panas yang diserap oleh evaporator, refrigeran diembunkan di dalam kondensor sehingga refrigeran menjadi cair. Sebelum refrigeran memasuki evaporator, refrigeran diekspansikan terlebih dahulu oleh katup ekspansi. Pada alat ini tekanan refrigeran yang masuk ke evaporator diturunkan. Penurunan tekanan ini disesuaikan dengan kondisi yang diinginkan, sehingga refrigeran tersebut dapat menyerap cukup banyak kalor dari evaporator. Komponen utama dari siklus kompresi uap adalah kompresor, evaporator, kondensor dan katup ekspansi. Instalasi mesin pendingin siklus kompresi uap ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Daur siklus kompresi uap standar dan diagram P-h (Stoecker, 1989)

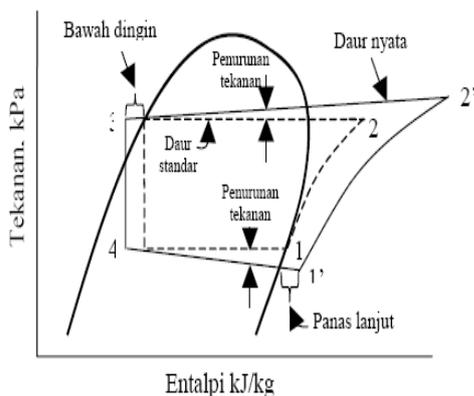
Proses pada siklus kompresi uap seperti Gambar 1 adalah sebagai berikut (Stoecker, 1989) :

- Proses kompresi (1-2)
Proses ini dilakukan oleh kompresor dan berlangsung secara isentropik. Kondisi awal refrigeran pada saat masuk ke dalam kompresor adalah uap jenuh bertekanan rendah, setelah mengalami kompresi refrigeran akan menjadi uap bertekanan tinggi. Karena proses ini berlangsung secara isentropik, maka temperatur ke luar kompresor pun meningkat.
- Proses kondensasi (2-3)
Proses ini berlangsung di dalam kondensor. Refrigeran yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi yang berasal dari kompresor akan membuang kalor sehingga fasanya berubah menjadi cair. Hal ini berarti bahwa di dalam kondensor terjadi pertukaran kalor antara refrigeran dengan lingkungannya (udara), sehingga panas berpindah dari refrigeran ke udara pendingin yang menyebabkan uap refrigeran mengembun menjadi cair.
- Proses ekspansi (3-4)
Proses ekspansi ini berlangsung secara isoentalpi. Hal ini berarti tidak terjadi perubahan entalpi tetapi terjadi *drop* tekanan dan penurunan temperatur, proses penurunan tekanan terjadi pada katup ekspansi yang berbentuk pipa kapiler atau *orifice* yang berfungsi untuk mengatur laju aliran refrigeran dan menurunkan tekanan.
- Proses evaporasi (4-1)
Proses ini berlangsung secara isobar *isothermal* (tekanan konstan, temperatur konstan) di dalam evaporator. Panas dari dalam ruangan akan diserap oleh cairan refrigeran yang bertekanan rendah sehingga refrigeran berubah fasa menjadi uap

bertekanan rendah. Kondisi refrigeran saat masuk evaporator sebenarnya adalah campuran cair dan uap.

Daur siklus Kompresi Uap Aktual (Nyata)

Daur kompresi uap yang sebenarnya (aktual), berbeda dari siklus standar (teoritis). Perbedaan ini muncul karena asumsi-asumsi yang ditetapkan dalam siklus standar. Pada siklus aktual terjadi *superheat* atau pemanasan lanjut uap refrigeran yang meninggalkan evaporator sebelum masuk ke kondensor. Pemanasan lanjut ini terjadi akibat tipe peralatan ekspansi yang digunakan atau dapat juga karena penyerapan panas dijalur masuk (*suction line*) antara evaporator dan kompresor. Pemanasan lanjut yang terjadi pada evaporator juga merupakan sesuatu yang menguntungkan karena peristiwa ini dapat mencegah refrigeran yang masih dalam fase cair memasuki kompresor. Begitu juga dengan refrigeran cair mengalami *subcooling* pendinginan lanjut atau bawah dingin sebelum masuk katup ekspansi atau pipa kapiler, daur siklus kompresi uap aktual diagram P-h dapat dilihat pada Gambar 2 (Stoecker dkk, 1989, Muchammad 2006).



Gambar 2. Daur kompresi uap aktual diagram P-h (Stoecker dkk, 1989, Muchammad 2006)

Untuk menyatakan unjuk kerja suatu siklus kompresi uap, yang ditinjau adalah kerja kompresi, laju aliran massa refrigeran, kapasitas kondensor, kapasitas evaporator, dan laju pendinginan (Cengel, 2005) :

1. Kerja Kompresi (W_c)

Adalah kerja yang diperlukan kompresor untuk menekan refrigeran agar bersirkulasi ke sistem tersebut.

$$W_c = \frac{V \times I \times \cos \theta}{1000} \quad (\text{kW}) \quad (1)$$

2. Laju aliran massa refrigeran (\dot{m}_{ref})

Laju aliran massa refrigeran dapat dihitung dengan membagi kerja kompresi dengan perubahan entalpi masuk dan keluar kompresor.

$$\dot{m}_{ref} = \frac{W_c}{(h_2 - h_1)} \quad (\text{kg/s}) \quad (2)$$

3. Kapasitas Kondensor (Q_{kond})

Kapasitas kondensor adalah besarnya panas yang dilepaskan persatuan massa refrigeran.

$$Q_{kond} = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_3) \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

4. Kapasitas Evaporator (Q_{eva})

Kapasitas evaporator adalah besarnya panas yang diserap persatuan massa refrigeran.

$$Q_{eva} = \dot{m}_{ref} (h_1 - h_4) \quad (\text{kW}) \quad (4)$$

5. Laju pendinginan

Laju pendinginan adalah kecepatan penurunan temperatur oleh sistem pendingin terhadap ruangan per satuan waktu atau selang waktu tertentu.

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (\text{kJ/s}) \quad (5)$$

Kualitas air

Air yang digunakan untuk mencairkan mesin pendingin konsentrat untuk digunakan harus berkualitas tinggi, bersih dan rendah klorida. Hindari menggunakan air yang payau atau tidak bisa diminum. Sulingan air sangat ideal digunakan untuk mesin pendingin yang akan digunakan. Persyaratan air yang bisa dipakai pada mesin pendingin yang dianggap cocok untuk digunakan dapat dilihat pada Tabel 1 (Lima, 1989). Air melebihi tingkat ini dapat menyebabkan skala yang berlebihan, endapan lumpur dan potensi korosi meningkat.

Tabel 1. Kualitas air (Lima, 1989)

Property	Requirement
Total solids,maximum	340 ppm (20 grains/gal)
Total hardness,maximum	170 ppm (10 grains/gal)
Chloride (as CL),maximum	40 ppm (2.5 grains/gal)
Sulfate (as SO ₄)	100 ppm (5.8 grains/gal)

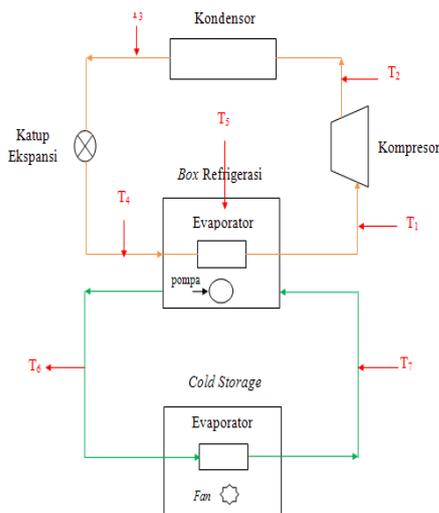
Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui performansi mesin pendingin *type chiller* dengan *ice on coil* untuk *cold storage* dan *indoor* menggunakan air sebagai refrigeran sekunder.

- Mengetahui perbedaan temperatur dari box refrigerasi yang dipompakan ke *cold storage* dan dari kotak refrigerasi dialirkan ke ruangan (*indoor*).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan melakukan pengambilan data dilapangan dan pengolahan data secara matematis. Menggunakan 1 unit alat mesin pendingin *type chiller* untuk *cold storage*, menggunakan R134a, dengan memanfaatkan evaporator dari *box refrigerasi* sebagai sumber pendinginnya, dimana pada evaporator dipasang saluran menuju *cold storage* sebagai kotak penyimpanan dingin, pengujian dilakukan selama 6 jam, 4 jam pertama itu untuk mendinginkan air sehingga air menjadi es pada *coil*, dan setelah 4 jam temperatur air akan mencapai lebih kurang 2 °C maka disalurkan ke *cold storage* selama 2 jam, kemudian pengambilan data dengan interpal waktu 10 menit.

Skema mesin pendingin *type chiller* untuk *cold storage* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.

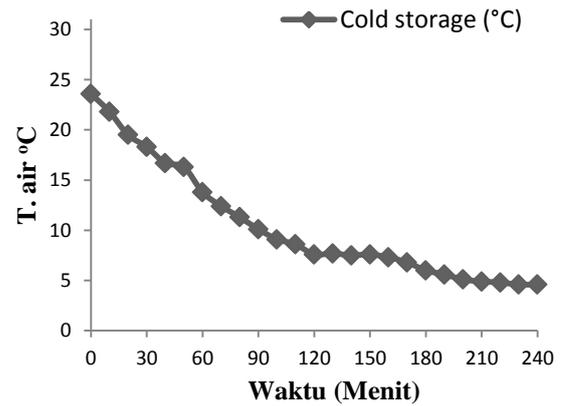


Gambar 3. Siklus mesin pendingin *type chiller* untuk *cold storage* dan *indoor*

HASIL DAN PEMBAHASAN

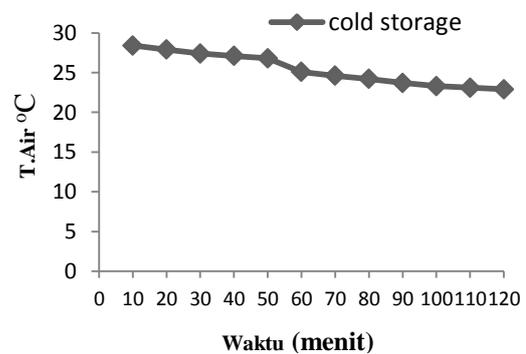
Hasil dibawah ini merupakan Gambar yang menunjukkan grafik hubungan waktu terhadap lama pengujian selama 4 jam untuk mendinginkan *cold storage*, dan selama 2 jam disirkulasikan ke *cold storage*.

Dari Gambar 4 terlihat bahwa temperatur air pada menit ke 240 mencapai 4,60 °C sebelum disirkulasikan ke *cold storage*, penurunan temperatur ini terjadi karena belum ada beban yang diserap oleh air.



Gambar 4. Grafik temperatur air didalam *box refrigerasi* terhadap waktu selama 4 jam sebelum disirkulasikan ke *cold storage*

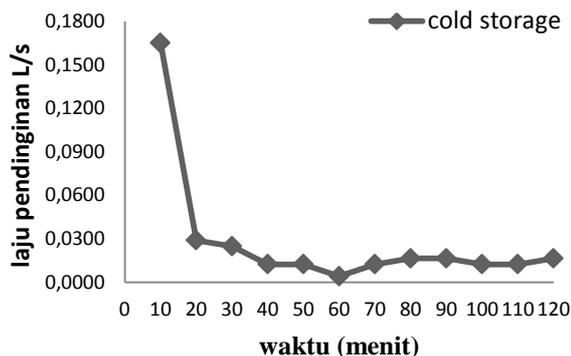
Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa perubahan temperatur air berangsur meningkat, pada menit ke 10 temperaturnya mencapai 28,4 °C, dan setelah menit ke 120 menjadi 22,9 °C, hal ini disebabkan karena adanya beban yang diserap oleh air, semakin besar beban yang diserap maka temperatur air juga akan semakin meningkat.



Gambar 5. Grafik temperatur air didalam *box refrigerasi* terhadap waktu selama 2 jam setelah disirkulasikan ke *cold storage*

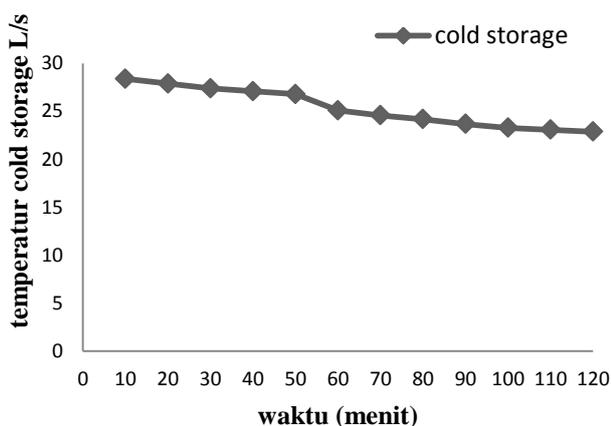
Pada Gambar 6 dapat dilihat laju pendinginan pada *cold storage* pada menit ke 10 adalah 0,165 °C, dan pada menit ke 120 mencapai 0,016°C, terjadi penurunan laju pendinginan. Hal ini disebabkan oleh temperatur masuk dan keluar pada *cold storage*.

Semakin besar temperatur pada *cold storage* maka akan semakin besar pula laju pendinginannya. Pada *cold storage* terjadi penurunan laju pendinginan karena beban kalor yang diserap air semakin kecil.



Gambar 6. Grafik laju pendinginan cold storage terhadap waktu selama 2 jam

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa temperatur pada cold storage konstan menurun, pada menit ke 10 adalah 28,4°C, dan setelah menit ke 120 mencapai 22,9 °C, penurunan ini terjadi karena beban pada cold storage ini semakin kecil, sehingga temperatur juga akan semakin turun.



Gambar 7. Temperatur pada ruangan cold storage terhadap waktu selama 2 jam

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan : temperatur air pada box refrigerasi selama 4 jam sebelum disirkulasikan cenderung turun mencapai 4,60 °C, temperatur air pada box refrigerasi selama 2 jam setelah disirkulasikan juga konstan turun mencapai 22,9 °C, temperatur yang dapat dihasilkan cold storage selama 2 jam mencapai 22,9 °C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DRPM dan LPPM Universitas Riau yang telah membiayai penelitian ini melalui dana Penelitian Hibah Bersaing tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, A Yunus., 2005. *Heat transfer A practical approach second edition*. Mc Graw Hill. Boston.
- Hanafi, Nuri. 2006. Mencari dan memperbaiki kerusakan lemari ES, Edisi pertama, PT kawan pustaka, Jakarta.
- Komang, Hendra. , dan Nengah, Made., 2010. Analisa Performansi sistem pendingin ruangan dan efisiensi energy listrik pada sistem water chiller dengan penerapan metode cooled energy storage. Kampus Bukit Jimbaran. Bandung.
- Lima, A. Josep dan Otterman, George., 1989. *Manual On Selection And Use Of Engine Coolants And Cooling System Chemicals 4th Edition*. American
- Muchammad. 2006. Pengujian performance dan analisa pressure drop sistem water cooled chiller menggunakan refrigerant R22 dan HCR 22. UNDIP.
- Stoecker, W.J dan Jerold, J.W., 1989, refrigerasi dan pengkondisian udara, erlangga, Jakarta.
- Yudisworo, W. Djoko.Heri, Junial dan Wibowo Hadi. *Cooling Unit Performance Analysis of Fish (Cold Storage) To Improve Quality In Fishermencatch* Cirebon, Faculty Of Engineering, UNTAG Cirebon.