

KAJI EKSPERIMENTAL SISTEM *MINI BRINE COOLING* UNTUK PENDINGIN KABIN DENGAN METODE *RADIANT COOLING*

Arda Rahardja Lukitobudi^{1,a}, Asep Rohmat Hidayat¹

¹ Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Parompong, Jawa Barat

^a ardarl@yahoo.com

Abstrak

Pendinginan ruangan dengan *radiant cooling* menyerap panas yang masuk melalui proses radiasi dan konveksi dengan menggunakan *brine* serta mensirkulasikan *brine* tersebut ke dalam saluran pemipaan yang dipasang secara khusus dengan cara ditanam pada dinding semen, lantai dan atap kabin untuk memberikan suhu yang rendah sebagai penyimpan kalor. Pendingin *brine* menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap dengan *secondary refrigerant* yaitu larutan *propylene glycol* sejumlah 33% dari besar volume *thermal storage* yang dirancang. Desain *mini brine cooling* ini dibuat agar dapat digunakan sebagai sistem pendinginan umum yang pada penelitian ini menggunakan beban pendinginan tomat 1 kg, menggunakan metode *radiant cooling* dengan semen sebagai media penyimpan kalor serta untuk menguji performansinya. Dalam perhitungan didapatkan beban total pendinginan sebesar 1152,62 watt. Chilling Time selama 93 menit dengan sistem kompresi uap berkapasitas 1Hp. Temperatur cut off kabin pada temperatur 5 °C dengan media pendingin larutan *propylene glycol* 33% dan beban produk tomat 1 Kg. COP aktual yang didapatkan sebesar 3,70 dan COP carnot sebesar 4,57 serta nilai efisiensi sistem sebesar 80,96%. Capaian pendinginan *brine* pada temperatur -3,2 °C dan capaian pendingin produk paling rendah pada temperatur 4,1 °C pada menit ke-430.

Kata kunci: *radiant cooling, propylene glycol*

Abstract

Cabin cooling by *radiant cooling* absorbs incoming heat by radiation and convection process using *brine* and circulate it into piping system specifically installed by planted on the cement wall, roof and floor of the cabin to decrease the temperature as a thermal storage. *Brine cooling* using vapor compression refrigeration system with *propylene glycol* solution as *secondary refrigerant* of 33% thermal storage designed volume. *Mini brine cooling* design in this research was made to be used as a general cooling using 1 kg tomatos as a cooling load, using *radiant cooling* method with cement as a thermal storage to test the performance. From the calculation obtained the total cooling load of 1152.62 watt. Chilling time is 93 minutes using condensing unit of 1Hp. Cabin cut off temperature of 5 °C. COP actual is 3.7 and COP carnot is 4.57 so system efficiency is 80.96%. *Brine cooling* achievements is at temperature of -3.2 °C and the lowest product cooling temperature is 4.1 °C in 430 minutes.

Keywords: *radiant cooling, propylene glycol*

1. Pendahuluan

Pendinginan tomat pasca panen perlu dilakukan agar produk pertanian tersebut menjadi awet. Untuk itu diperlukan penyimpanan yang tepat baik pada temperature, kelembaban maupun kecepatan aliran udara agar produk pasca panen dapat bertahan lebih lama. Pendinginan dengan metode *radiant cooling* berbasis air menjadi salah satu inovasi di bidang pendinginan. Dalam sistem ini, air dingin disirkulasikan melalui serangkaian jalur pemipaan yang ditanam di lantai, dinding atau atap yang berbahan baku semen atau beton. Dengan mengendalikan suhu air dingin tersebut, suhu lapisan lantai, dinding atau atap yang dipasang sistem *radiant cooling* di suatu ruangan dapat dikontrol untuk memberikan pendinginan[4]. Proses pendinginan air pada sistem *radiant cooling* sebagai *secondary refrigerant* tersebut menggunakan sistem refrigerasi kompresi uap dengan pendinginan tidak langsung [5]. *Secondary refrigerant* yang digunakan adalah *brine* larutan *propylene glycol*. Pada penelitian ini tidak diatur parameter kelembaban dan kecepatan laju aliran udara.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini diawali dengan pembuatan *mini brine cooling test rig* dengan metode *radiant cooling* dan setelah dilakukan *commissioning test* kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data-data yang diperlukan untuk menghitung parameter-parameter uji sebelum mengambil kesimpulan penelitian ini.

2.1. Skematik sistem

Pada sistem *mini brine cooling* ini, sistem pendingin kompresi uap dengan *air cooled condensing unit 1 Hp* ini akan mendinginkan larutan *propylene glycol* sebagai *secondary refrigerant* pada wadah evaporator dimana *brine* larutan *propylene glycol* yang dingin akan dipompa menuju koil yang ditanam pada lantai, dinding sebelah kiri dan kanan serta atap semen dari kabin *radiant cooling cold room* dan balik lagi ke wadah evaporator untuk didinginkan kembali, dimana lantai, dinding sebelah kiri dan kanan serta atap semen berfungsi sebagai *thermal storage*. *Brine* larutan *Propylene Glycol* yang digunakan dengan konsentrasi 33% memiliki temperatur beku pada -15°C seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Refrigeran sekunder yang digunakan (%) berdasarkan temperatur yang diinginkan [1]

Larutan	Freezing temperature		
	-15°C	-30°C	-40°C
<i>Ethylene Glycol/Water</i>	30.5%	45.5%	2.8%
<i>Propylene Glycol/Water</i>	33.0%	48.0%	54.0%
<i>Ethyl Alcohol/water</i>	24.5%	40.9%	53.1%
<i>Methyl Alcohol/Water</i>	20.0%	33.6%	41.0%
<i>Glycerol/Water</i>	39.5%	56.0%	63.0%
<i>Ammonia/Water</i>	10.8%	17.7%	21.1%
<i>Potassium Carbonat/Water</i>	27.0%	36.6%	-

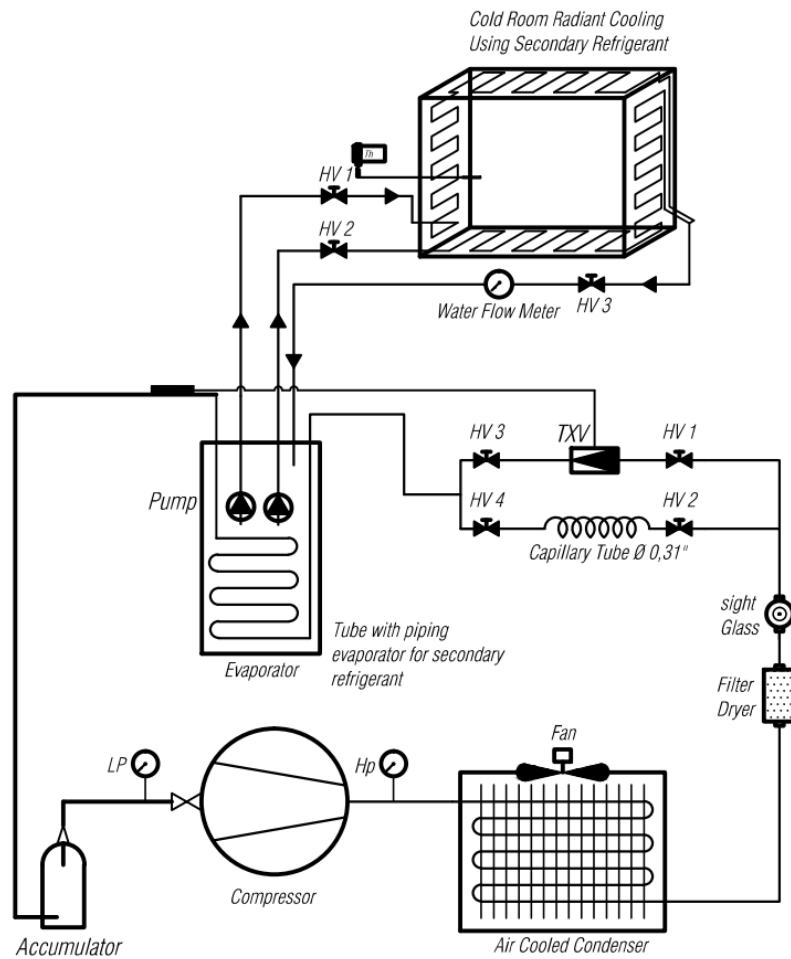
Sistem *mini brine cooling test rig* dengan metode *radiant cooling* yang digunakan pada penelitian ini memiliki:

1. kabin dengan volume $500 \times 500 \times 500 \text{ mm}^3$, dimana terdapat pipa tembaga yang tertanam di bagian lantai, dinding kiri, atap dan dinding kanan yang berbahan semen sebagai *thermal storage*-nya yang menggunakan metode *radiant cooling*. Temperatur kabin dirancang pada suhu 5°C .
2. menggunakan larutan *propylene glycol* dengan konsentrasi sebesar 33 %.
3. *air cooled condensing unit 1 Hp*, katup ekspansi yang digunakan adalah *TXV*, *filter dryer*, *sight glass*, *accumulator*, *pressure gauges*, *hand valves*.
4. sistem pemipaan tembaga *brine cooling*, *water flow meter*, *water valve*, selang, pompa sirkulasi.
5. *thermostat*, *voltmeter*, *amperemeter*, *time delay relay*, *selector switch*, *pilot lamp*, *contactor*.
6. produk tomat yang didinginkan seberat 1 kg.



Gambar 1. Konstruksi *Mini Brine Cooling* dengan Kabin *Radiant Cooling*

Pada Gambar 1 terlihat konstruksi dari *Mini Brine Cooling* dengan kabin *radiant cooling* dimana terdapat pemipaan yang ditanam pada lantai, dinding sebelah kiri dan kanan serta atap semen kabin. Sedangkan pada Gambar 2 terlihat skematik sistem *Mini Brine Cooling* dengan kabin *radiant cooling cold room*.



Gambar 2. Skematik sistem *Mini Brine Cooling* dengan Kabin *Radiant Cooling Cold Room*

2.2. Parameter yang diukur

Adapun parameter-parameter yang diukur pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan katup ekspansi jenis TXV yaitu:

1. Tekanan *Discharge* (Bar)
2. Tekanan *Suction* (Bar)
3. Temperatur *Discharge* (°C)
4. Temperatur *Suction* (°C)
5. Temperatur Keluaran Kondensor (°C)
6. Temperatur *Brine* di *Thermal Storage* (°C)
7. Temperatur Kabin (°C)
8. Temperatur Produk (°C)
9. Temperatur Semen (°C)
10. Temperatur *Brine* + Air Keluaran Kabin (°C)
11. Arus Sistem (*Ampere*)
12. Tegangan Sistem (*Volt*)
13. Laju aliran *Brine* (LPM dan GPM)

Selanjutnya, pengambilan data dilakukan pada kondisi *steady state*, dan dilakukan pencatatan setiap 5 menit selama 430 menit.

Adapun persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapat kinerja dari sistem ini adalah sebagai berikut:

$$Q_w = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (1)$$

$$Q_e = \dot{m} (h_1 - h_4) \quad (2)$$

$$R_k = \frac{P_d}{P_s} \quad (3)$$

$$\text{COP}_{\text{actual}} = \frac{Q_e}{Q_w} \quad (4)$$

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = \frac{T_e}{T_k - T_e} \quad (5)$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{COP}_{\text{aktual}}}{\text{COP}_{\text{carnot}}} \times 100\% \quad (6)$$

$$Q_{\text{beban}} = Q_{\text{dinding}} + Q_{\text{produk}} + Q_{\text{infiltrasi}} + Q_{\text{brine}} + Q_{\text{ts}} + Q_{\text{pompa}} \quad (7)$$

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{dinding}} \times 110\% \quad (8)$$

Dimana Q_w adalah daya kompresor yang diperlukan, Q_e adalah jumlah kalor yang diserap di evaporator, \dot{m} adalah laju lairan massa refrigeran, h_1 adalah entalpi *suction*, h_2 adalah entalpi *discharge*, h_4 adalah entalpi masuk evaporator, R_k adalah perbandingan tekanan *discharge* (P_d) dengan tekanan *suction* (P_s), $\text{COP}_{\text{aktual}}$ adalah perbandingan efek refrigerasi (q_e) terhadap kerja kompresi (q_w), $\text{COP}_{\text{carnot}}$ adalah perbandingan temperatur evaporasi (T_e) dibandingkan dengan selisih temperatur kondensasi (T_k) dan evaporasi (T_e), Efisiensi adalah perbandingan $\text{COP}_{\text{aktual}}$ dan $\text{COP}_{\text{carnot}}$, Q_{beban} dan Q_{total} adalah beban pendingin dan beban pendingin total [2], [3], [6], [7], [8], [9].

3. Hasil dan Analisis

Chilling time sistem *mini brine cooling* didapat pada saat pengujian yaitu 93 menit dikarenakan temperatur pada kabin sudah tercapai pada temperatur 5 °C. Pada saat itu temperatur *brine* mencapai -3,2 °C yang terus disirkulasikan oleh pompa dengan laju aliran *brine* sebesar 1,5 GPM dimana selama 93 menit mendinginkan semen hingga mencapai temperatur -0,3 °C. Dengan menggunakan diagram *pressure-enthalpy* R22 pada menit 93 diperoleh:

$$Q_{\text{beban}} = 1047,84 \text{ watt}$$

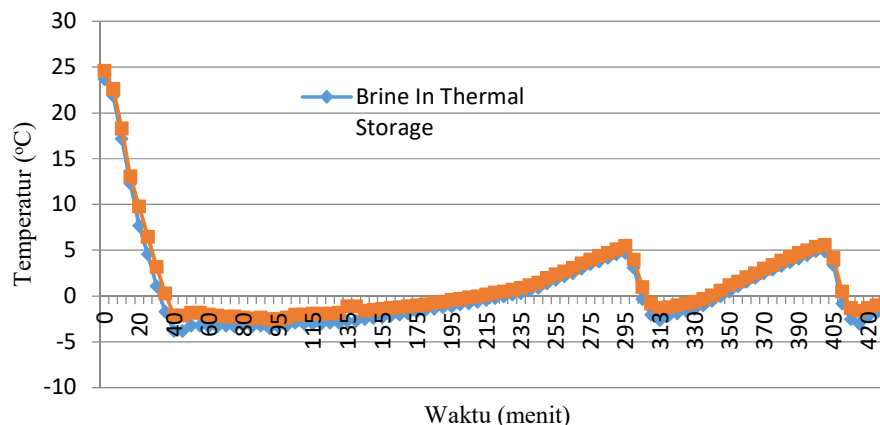
$$Q_{\text{total}} = 1152,62 \text{ watt}$$

$$\text{COP}_{\text{actual}} = 3,7$$

$$\text{COP}_{\text{carnot}} = 4,57$$

$$\text{Efisiensi} = 80,96\%$$

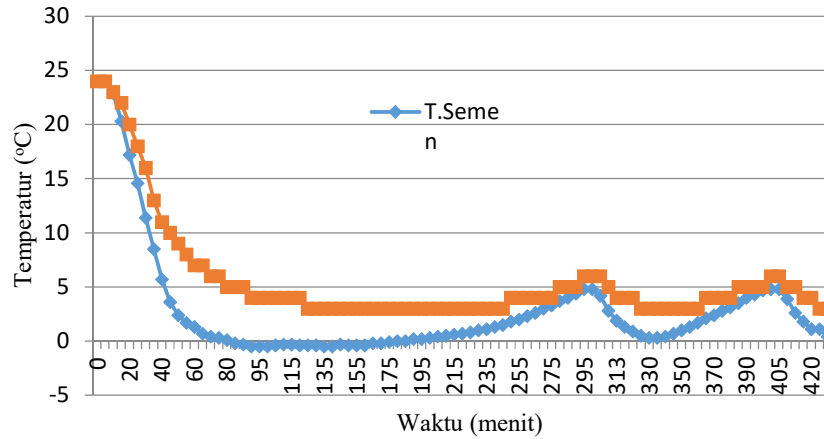
Temperatur *brine* -3,2 °C pada thermal storage dan temperatur *brine* keluar kabin -2,1 °C dicapai pada menit ke 430 terlihat pada Gambar 3 sedangkan temperatur semen dan kabin terlihat pada Gambar 4 dan temperatur produk pada 5 °C dicapai pada menit ke 255 dan capaian temperatur produk terendah adalah pada suhu 4,1 °C pada menit ke 430 seperti terlihat pada Gambar 5.



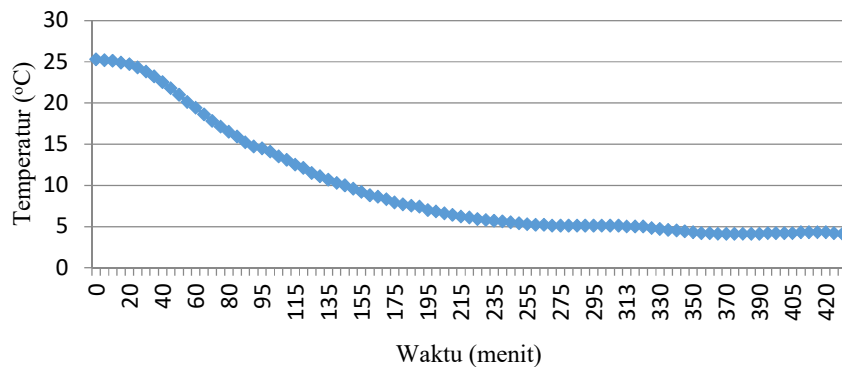
Gambar 3. Temperatur *brine* pada thermal storage dan temperatur *brine* keluar kabin terhadap waktu

Temperatur semen cenderung menurun karena *brine* terus disirkulasikan untuk mendinginkan semen yg berada didalam kabin. Awal temperatur semen yaitu pada 24 °C. Selama proses *chilling time*

berlangsung, semen pun ikut mengalami penurunan temperatur namun ketika temperatur kabin sudah tercapai, temperatur semen ikut naik seiring dengan penyerapan kalor produk tomat yang terjadi didalam kabin. Temperatur kabin dan temperatur semen tidak berbeda jauh karena kabin didinginkan oleh semen dengan produk tomat seberat 1 kg. Disini dapat diindikasikan bahwa semen berhasil menyimpan kalor agar proses pendinginan ketika sistem kompresi uap cut off tetap berjalan. Terbukti dengan temperatur kabin yang terjaga hingga temperatur 3 °C.



Gambar 4. Temperatur semen dan kabin terhadap waktu



Gambar 5. Temperatur produk terhadap waktu

4. Kesimpulan

Berdasarkan data dan analisa serta perhitungan pada penelitian tentang “Kaji Eksperimental Sistem *Mini Brine Cooling* Untuk Pendingin Kabin Dengan Metode *Radiant Cooling*”, didapatkan beban total pendinginan sebesar 1152,62 watt. Chilling Time dicapai selama 93 menit dengan sistem kompresi uap berkapasitas 1Hp. Temperatur cut off kabin pada temperatur 5 °C dengan media pendingin *brine* larutan *Propylene Glycol* 33% dan beban produk tomat seberat 1 Kg. COP_{aktual} yang didapat sebesar 3,70 dan COP_{carnot} sebesar 4,57 dimana nilai Efisiensi sistem sebesar 80,96%. Capaian pendingin *brine* pada temperatur -3,2°C dan capaian pendingin produk paling rendah pada temperatur 4,1 °C pada menit ke-420.

Studi lanjut berikut dapat dilakukan dengan mengontrol kelembaban dan laju aliran udara pada kabin *mini brine cooling* dengan metoda *radiant cooling* ini karena pada penelitian ini baik kelembaban maupun laju aliran udara tidak dikontrol.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Bandung atas bantuan yang diberikan pada pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Zafer URE Zafer M.Sc., MCIBSE, MASHRAE, M.Inst.R. *Secondary Refrigeration European Experiences*, 2003 ASHRAE Winter Meeting Chicago, USA, 2003.
- [2] Dossat, Roy J. *Principle of Refrigeration, SI Version*, Second Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1981.
- [3] Althouse, A. D., et. all. *Modern Refrigeration and Air Conditioning*. Illinois: Goodheart Wilcox. 2004
- [4] Moore, Bauman and Huizenga. *Radiant Cooling Research Scoping Study*. Center for Built Environment, Internal Report: April 20, 2006.
- [5] Uponor. *Radiant Cooling Design Manual. Embedded Systems for Commercial Applications*. Apple Valley: Uponor. Inc. 2013.
- [6] Holman, J.P. *Heat Transfer*. Seventh Edition. New York: Mc-Graw Hill. 1992.
- [7] ASHRAE. *ASHRAE Handbook of Fundamental*. SI Edition. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. 2005.
- [8] ASHRAE. *ASHRAE Handbook of HVAC Systems and Equipment*. SI Edition. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc. 2008.
- [9] ASHRAE. *ASHRAE Handbook of Refrigeration System and Applications*. SI Edition. Atlanta, Georgia: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineer, Inc. 2006.