

RANCANGAN BANGUN MODEL MESIN PENDINGIN TERPADU PENGHASIL ES SERUT

Agus Slamet, Wahyu Djalmono P.

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. Soedarto, S.H., Tembalang, Kotak Pos 6199/SMG, Semarang 503293
Telp. 024-7473417, 024-7466420 (hunting), Fax. 024-7472396

Abstrak

Untuk mendapatkan efek pendinginan yang merata dan praktis penempatannya, es dibuat dalam bentuk serutan atau es serut (*ice planer*). Menghasilkan es serut dalam jumlah banyak biasanya es blok dibawa ke mesin penyerut es tersendiri sehingga diperlukan energy untuk transportasi dari mesin freezer ke mesin penyerut es sehingga tidak efisien. Pemecahan masalah ini bias dikembangkan dengan pembuatan model mesin refrigerasi terpadu dengan keluaran produk es dalam bentuk serutan. Pada model ini akan memadukan mesin freezer dengan mesin serut secara compact, sehingga menjadi satu mesin keluaran produknya langsung berupa es serut (*ice planer*). Komponen utama model mesin ini adalah kompresor refrigeran hermetic, evaporator jenis bar-tube, piston-liner digunakan untuk mencetak es blok dan mendorongnya menuju menyerut. Metode penelitian yang dilakukan melalui tahapan perancangan dan pembuatan model mesin refrigerasi terpadu dan pengujiannya. Prosedur pengujian menggunakan air temperatur 25°C sebagai sampel uji dimasukan di dalam piston-liner pada mesin refrigerasi. Pengambilan data pengujian dengan cara menghidupkan mesin refrigerasi terpadu dan mengamati temperatur evaporator kondensor dan sampel uji, waktu pembekuan dan penyerutan sampel uji (produk) yang dihasilkan. Dari data pengujian didapatkan tingkat keadaan tunak (*steady state*) model mesin ini pada temperature sekitar -15°C butuh waktu 20 menit sebelum diberi beban pendinginan. Waktu pembekuan dari sampel uji menjadi es blok -5°C adalah 90 menit, waktu penyerutan dibutuhkan waktu 18 menit, sehingga waktu total untuk merubah air 25°C menjadi es serut -5°C adalah 108 menit. Ukuran rata-rata panjang dan diameter es serut yang dihasilkan sekitar 6 mm dan 4 mm.

Kata kunci : “refrigerasi”, “terpadu”, “esserut”

1. Pendahuluan

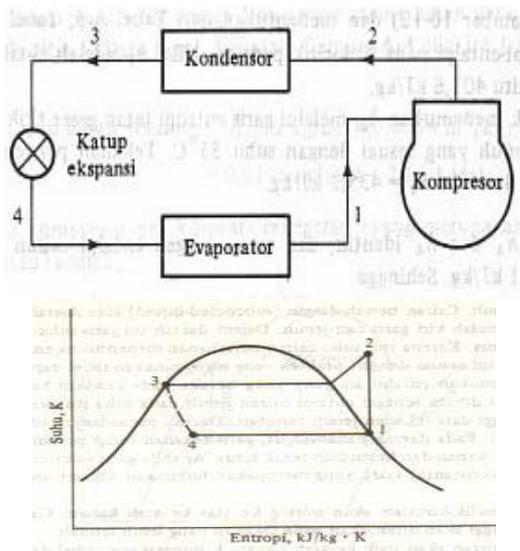
Pada rancangan sistem refrigerasi pada model mesin penghasil es serut yang dilatarbelakangi bahwa, pendinginan pada produk makanan, farmasi dan obat-obatan menggunakan es blok kurang efektif untuk mendapatkan efek pendinginan yang merata dan kurang praktis, makasalah satu alternative solusinya adalah dengan mengganti bentuk es blok diganti dengan bentuk es serut/ *ice planer*. (Agus Slamet, 2011)

Rancangan system refrigerasi tersebut memadukan mesin freezer dengan mesin serut, dengan komponen utamanya antara lain rangka utama, system refrigerasi, poros engkol, piston-liner, motor listrik, reduser, dinding komposit, pemukul dan penyerut es blok. Berdasarkan dari hasil rancangan ini akan dibuat Rancang Bangun Model Mesin

Pendingin Terpadu Penghasil Es Serut yang keluaran produknya langsung berupa es serut (*ice planer*), mempunyai kapasitas es serut 1 kg/jam menggunakan bahan baku air bertemperatur 30 °C. Untuk mengetahui unjuk kerja model mesin pendingin terpadu ini perlu dilakukan pengujian berdasarkan waktu pembekuan, waktu penyerutan dan bentuk dimensi es serut yang dihasilkan.

Hasil dari penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk pengembangan dan inovasi untuk memadukan mesin refrigerasi dengan mesin penyerut es mesin menjadi model mesin refrigerasi terpadu yang *compact*, dan digunakan sebagai dasar penelitian lanjutan untuk menghasilkan prototype mesin refrigerasi terpadu dengan keluaran produk es dalam bentuk serutan.

Prinsip rancang bangun system refrigerasi ini mengacu berdasarkan Siklus dari system refrigerasi adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Blok & Diagram T-s Siklus Kompresi Uap Standar
(W.F. Stoecker, 1998)

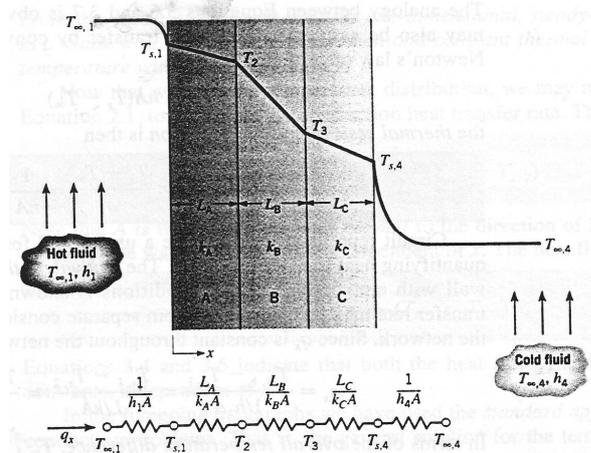
Siklus ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan kapasitas pendinginan dan kerja kompresor dengan persamaan aliran energy panas spesifik (Kharagpur, 2008) :

$$Q_{in} = h_1 - h_4 \quad \text{atau} \quad RE = h_1 - h_4 \quad (\text{kJ/kg})$$

Kerja kompresor spesifik menggunakan persamaan (Michael J. Moran, 2006) :

$$W_C = h_2 - h_1 \quad (\text{kJ/kg})$$

Menentukan beban pendinginan salah satunya adalah beban transmisi yaitu aliran energy panas yang mengalir melalui dinding komposit, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Frank P. Incropera, David P. DeWitt, 1996) :



Gambar 2. Rangkaian Termal Ekuivalen Pada Dinding Datar Komposit

Laju perpindahan energy panas (pinerpan) satu dimensi system ini adalah:

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\sum R_t} \quad (\text{Watt})$$

$T_{\infty,1} - T_{\infty,4}$ adalah perbedaan temperatur total dan melibatkan semua tahanan termal yang ada, sehingga:

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,4}}{\{(1/h_1A) + (L_A/k_A A) + (L_B/k_B A) + (L_C/k_C A) + (1/h_2A)\}}$$

Persamaan laju pinerpan ini juga biasanya diekspresikan dengan menggunakan koefisien pinerpan total (*overall heat transfer coefficient*) U, yaitu :

$$UA = 1/R_{tot}$$

$$q_x = UA \Delta T \quad (\text{Watt})$$

2. Metode Penelitian

a. Perancangan dan Pembuatan Model Mesin Refrigerasi Terpadu

Model mesin refrigerasi terpadu mempunyai 4 komponen utama yang harus dirancang dan dibuat atau dipilih sesuai dengan fungsinya. Komponen-komponen tersebut adalah :

- 1) Kompresor refrigerant *hermetic* dengan kapasitas daya 1 hp yang berfungsi untuk menaikkan tekanan refrigerant ke kondensor dan untuk mengatasi beban pendingin pada evaporator.
- 2) Evaporator jenis *bar-tube*, yang dapat menurunkan temperature refrigeran -10^0 C berfungsi sebagai penyerap energy panas pada beban produk berupa air sehingga dapat membeku sampai menjadi es bertemperature -5^0 C.
- 3) Piston dan Liner mempunyai kapasitas volume 1 liter digunakan untuk mencetak es blok dan mendorongnya dengan putaran poros engkol menuju mesin penyerut es.
- 4) Mesin penyerut es jenis pilar dengan input daya 0,5 hp yang dimodifikasi sebagai dapat menghasilkan es serut (*ice planer*) yang berasal dari piston dan liner penghasil es blok.

b. Pengujian Model Mesin Refrigerasi Terpadu

Langkah-langkah pengujian model mesin refrigerasi terpadu sebagai berikut :

Model mesin refrigerasi terpadu diseting pada posisi yang mudah dan aman untuk mengoperasikan dan pengambilan data. Mesin refrigerasi dihidupkan sampai mencapai kondisi tunak (*steady state*) dengan temperatur kerja evaporator mencapai -10°C , selanjutnya Masukkan sample uji air 1 kg dengan temperatur $\pm 25^{\circ}\text{C}$ ke dalam liner dan tutup rapat ruang pendinginan dari bahan dinding komposit.

Waktu pengukuran temperatur dilakukan setiap 10 menit pada evaporator dan air di dalam liner, jumlah waktu tersebut sebagai data saat air sudah membeku dengan temperatur -5°C . Pengaturan timer kontak motor listrik kondisi on dilakukan pada waktu tersebut di atas, sehingga motor memutar poros engkol dan piston mendorong keluar es blok menuju mesin penyerut dan diputar di dalamnya menjadi es serut. Pengambilan data waktu penyerutan dimulai sampai semua es block menjadi es serut, selanjutnya dilakukan pengukuran dimensi rata-rata butiran es serut.

Langkah pengujian sampel uji untuk pengambilan data dilakukan 10 kali dengan tingkat keadaan sampel uji sama setiap pengujian. Data pengujian tersebut berupa waktu pembekuan, temperatur produk yang dihasilkan, temperatur kerja evaporator, dan kecepatan atau waktu penyerutan es dengan dimensi rata-rata es serut. Dari data-data tersebut dapat ditentukan unjuk kerja dan karakteristik model mesin refrigerasi terpadu dengan keluaran produk es dalam bentuk serutan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perancangan dan Pembuatan Alat

Model Mesin Refrigerasi Terpadu Penghasil Es Serutan mempunyai empat komponen utama diantaranya kompresor refrigeran *hermetic*, evaporator jenis *bar-tube*, rangkaian sistem piston dan liner dan mesin penyerut es jenis pilar. Perancangan keempat

komponen tersebut dilakukan berdasarkan dari data yang didapat pada observasi awal, untuk Kompresor refrigeran *hermetic* dengan jenis refrigeran R 134a berkapasitas 1 hp dipilih dari kompresor refrigeran bekas untuk kulkas Toshiba yang menggunakan pasokan daya listrik. (Wahyu Djalmono dkk, 2012)



Gambar 3. Kompresor Refrigeran *Hermetic*

Evaporator jenis *bar-tube* dirancang berdasarkan perhitungan beban pendinginan, tube dipilih dari pipa tembaga $\varnothing 1$ inch. Panjang pipa evaporator hasil perhitungan dirancang berbentuk spiral dan dililitkan pada liner tempat menyimpan air untuk menjadi es blok.



Gambar 4. Evaporator jenis *Bar-Tube*

Pembuat es blok dibuat dari rangkaian piston dan liner yang juga dilengkapi dengan *connecting rod* sebagai rangkaian mekanisme yang digerakan oleh motor listrik untuk mengeluarkan es blok dari liner kemudian meluncur menuju mesin penyerut es. Rakitan piston-liner ini dibuat dari bekas mesin diesel satu silinder yang dimodifikasi mempunyai kapasitas menampung air 1 liter.



Gambar 5. Rangkaian Sistem Piston-Liner

Mesin penyerut es jenis pilar dibuat dari penyerut es manual yang penyerutannya dengan cara berputar dilakukan modifikasi agar dapat diputar menggunakan motor listrik. Putaran dan daya poros dari motor listrik yang digunakan sama dengan daya poros untuk menggerakkan mekanisme rangkaian sistem piston-liner.



Gambar 6. Mesin Penyerut Es

Perakitan dilakukan pada keempat komponen utama tersebut sehingga menghasilkan Model Mesin Refrigerasi Terpadu Dengan Keluaran Produk Es Dalam Bentuk Serutan (Mohammad Romiyadi,dkk, 2011) yang mempunyai kapasitas tiap siklus 1 kg es serut.

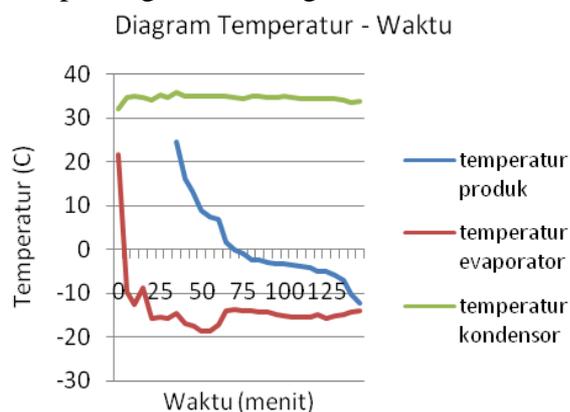


Gambar 7. Model Mesin Refrigerasi Terpadu Dengan Keluaran Produk Es Dalam Bentuk Serutan

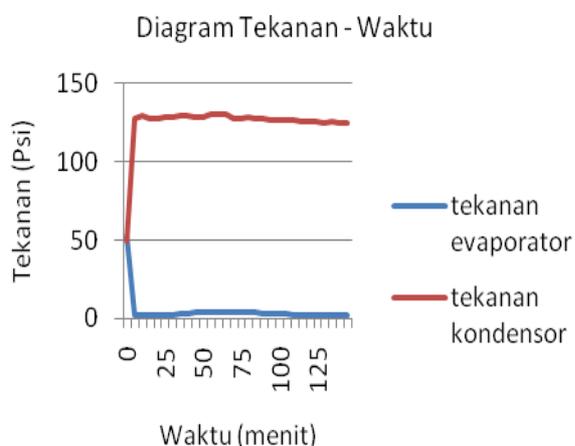
3.2. Pengujian Model Mesin Refrigerasi Terpadu

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sampel uji air dengan massa 1 kg bertemperatur 25°C . Mesin refrigerasi dihidupkan sampai mencapai kondisi tunak (*steady state*) dengan temperature kerja evaporator mencapai -10°C , selanjutnya masukan sample uji air kedalam liner dan tutup rapat ruang pendinginan dari bahan dinding komposit. Waktu pengukuran temperature dilakukan setiap 5 menit pada evaporator dan air di dalam liner, jumlah waktu tersebut sebagai data saat air sudah membeku dengan temperatur -5°C . Saat air di dalam liner sudah membeku dan mencapai temperature pembekuan yang telah ditentukan, maka system mekanis piston-liner dan mesin penyerut dihidupkan. Sistem mekanis ini akan bekerja yang menyebabkan es blok berbentuk silinder di dalam liner akan terdorong keluar dan meluncur menuju mesin penyerut. Pengamatan yang dilakukan pada proses penyerutan adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyerut es blok dan dimensi atau bentuk produk es serutnya.

Hasil pengujian data yang diperoleh menunjukkan bahwa temperatur dan tekaanan kerja evaporator tingkat keadaan tunak (*steady state*) berturut-turut adalah rata-rata -15,63⁰C dan 1,8 psi, waktu tingkat keadaan *transient* yang dibutuhkan adalah 20 menit. Temperatur dan tekanan kerja kondensor tingkat keadaan tunak dicapai berturut-turut pada 35⁰C dan 129 psi, waktu yang dibutuhkan untuk tingkat keadaan *transiennya* adalah 40 menit. Sampel uji berupa air 1 kg di dalam liner membeku menjadi es blok temperatur sekitar -5⁰C dibutuhkan waktu pembekuannya sekitar 90 menit. Memproses es blok berbentuk silinder menjadi es serutan waktu yang dibutuhkan adalah 18 menit. Hasil pengukuran dari pengujian ini dapat dilihat pada grafik yang terdapat di gambar sebagai berikut :



Gambar 8. Grafik Perubahan Temperatur Terhadap Waktu Pendinginan



Gambar 9. Grafik Perubahan Tekanan Terhadap Waktu Pendinginan

Pada grafik Gambar 8 temperatur kerja evaporator mencapai tingkat keadaan tunak sekitar -15⁰C dibutuhkan waktu 20 menit tanpa beban pendinginan produk (sampel uji). Temperatur kerja kondensor terlihat dengan waktu relatif cepat sudah mencapai tingkat keadaan tunak, dan temperatur tersebut tidak terpengaruh pada saat mesin refrigerasi dibebani pendinginan produk pada menit ke 35 sampai produk berhasil dibekukan pada temperatur sekitar -5⁰C. Data temperatur kerja kondensor tersebut mengindikasikan bahwa beban pendinginan terlalu kecil atau kapasitas kondensor terlalu besar untuk beban pendinginan tersebut. Mengacu pada gambar grafik yang sama terlihat temperatur produk (sampel uji) menurun cukup tajam dengan membutuhkan waktu 35 menit untuk menurunkan temperatur produk dari 25⁰C menjadi 0⁰C, sedangkan untuk proses pembekuan atau perubahan fasa dari fasa cair 0⁰C menjadi fasa padat -5⁰C terjadi penurunan temperatur yang lambat yaitu membutuhkan waktu sekitar 55 menit, sehingga total waktu pembekuan produk adalah 90 menit.

Berdasarkan grafik pada Gambar 9 terlihat bahwa untuk mencapai tekanan kerja evaporator maupun kondensor untuk tingkat keadaan tunak relatif dibutuhkan waktu singkat sekitar 10 menit untuk keduanya. Pembebanan pendinginan produk tidak terlihat mempengaruhi tekanan kerja evaporator maupun kondensor, ini bisa menjadi salah satu indikasi bahwa kapasitas maupun spesifikasi kompresor refrigeran *hermatic* yang digunakan pada mesin refrigerasi ini sesuai.

Bentuk serutan es yang dihasilkan melalui sistem mekanis piston-liner dan mesin penyerut yang terintegrasi pada mesin refrigerasi adalah lonjong dengan panjang rata-rata 6 mm dan menggumpal membutuhkan waktu penyerutan sekitar 18 menit untuk 1 kg es blok. Bentuk serutan es tersebut dihasilkan pada pengaturan posisi pisau penyerut es ± 4 mm muncul ke permukaan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil pengujian dan pengambilan data serta pembahasannya maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

- Model Mesin Refrigerasi Terpadu Dengan Keluaran Produk Es Dalam Bentuk Serutan dapat berfungsi untuk menghasilkan bentuk produk es serut dari bahan 1 kg air.
- Model mesin refrigerasi terpadu ini untuk mencapai tingkat keadaan tunak (*steady state*), pada temperature dan tekanan evaporator -15°C dan 2 psi sebelum diberikan beban pendinginan membutuhkan waktu sekitar 20 menit.
- Waktu pembekuan produk (sampel uji) dari temperatur air 25°C menjadi es blok -5°C adalah sekitar 90 menit.
- Proses penyerutan dari es blok menjadi produk es serut dibutuhkan waktu 18 menit, sehingga waktu total yang dibutuhkan mesin refrigerasi terpadu ini untuk merubah air bertemperatur 25°C menjadi es serut -5°C adalah 108 menit.

5. Daftar Pustaka

- Agus Slamet, 2011, *Rancangan Sistem Refrigerasi Pada Model Mesin Penghasil Es Serut*, Vol. 6, No. 3 Jurnal Teknis, Semarang.
- Frank P. Incropera, David P. DeWitt, 1996, *Introduction to Heat Transfer*, 3rd edition John Wiley & Son, New York.
- Kharagpur, 2008, *Refrigeration And Air Conditioning*, EE IIT, New Delhi.
- Mohammad Romiyadi, Dkk, 2011, *Rancang Bangun Model Mesin Penghasil lSerbuk Es Berkapasitas 1 Kg/Jam, Memadukan Prinsip Mesin Pendingin Dan Mesin Penghancur Es*, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Mesin Polines, Semarang.
- Moran, M.J, Howard N. Shapiro, 2006, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 5nd edition, John Wiley & Son, New York.
- Stocker Wilbert F., 1982, *Refrigeration And Air Conditioning*, McGraw-Hill,Inc,Sydney.
- Wahyu Djalmono, dkk, 2012, *Kajian Model Mesin Refrigerasi Terpadu Dengan Keluaran Produk Es Dalam Bentuk Serutan*, Laporan Penelitian Terapan, Polines, Semarang.