

Simulasi Sistem Refrigerasi Berdaya Rendah Menggunakan Turbin Dua Fasa dan Optimisasi Refrigeran

Haryadi

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jln. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung
INDONESIA

E-mail: haryadi.mesin@polban.ac.id

Abstrak

Aplikasi teknologi pendingin pada pengawetan makanan, memiliki kelebihan khusus dibandingkan dengan metode lainnya, seperti pengeringan atau pengasinan. Pengawetan sayuran dan buah-buahan organik bisa dilakukan dengan pendinginan. Jawa Barat pada umumnya, dan Bandung Raya secara khusus adalah salah satu penghasil pangan yang penting di Indonesia. Dengan demikian sudah selayaknya Politeknik Negeri Bandung mendukung infrastruktur ketahanan pangan berwawasan lingkungan diperlukan Teknologi Pendingin dengan daya rendah yang ramah lingkungan. Di sisi yang lain, berbagai industri, seperti industri proses, elektronika, serta bangunan gedung pengkondisian ruangan juga menggunakan pendingin atau secara masif. Untuk penggunaan pada bangunan gedung misalnya, pada umumnya konsumsi energi listrik untuk pengkondisian ruangan sekitar 60 dari konsumsi listrik. Mesin refrigerasi kompresi uap, saat ini masih menjadi pilihan utama untuk tujuan-tujuan tersebut. Penggunaan refrigeran hidrokarbon dapat menghasilkan COP yang tinggi. Untuk lebih meningkatkan COP, proses penurunan tekanan dalam mesin refrigerasi kompresi uap bisa diekstraksi untuk mengasihkan daya berguna. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan prototipe mesin refrigerasi berdaya rendah dengan memilih refrigeran yang tepat dan melakukan perolehan kembali (recovery) daya kompresor. Perolehan daya kembali dilakukan dengan mengganti katup ekspansi dengan turbin dua fasa. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Aspen 11, sedangkan sifat-sifat refrigeran diperoleh menggunakan perangkat lunak Refprop. Dari perhitungan yang dilakukan terhadap beberapa refrigeran, yaitu: HC 12, Propan, R 134a, dan R 22 diperoleh kesimpulan bahwa dengan menggunakan turbin dua fasa akan meningkatkan COP sekitar 25% - 38%. COP tertinggi diperoleh dengan menggunakan refrigeran HC 12, sebesar 3,75.

Kata kunci: COP, perolehan kembali, daya, refrigeran, turbin dua fasa

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini, penggunaan teknologi pendinginan atau refrigerasi semakin luas, seperti pada pengkondisian udara, industri proses dan pengawetan makanan. Aplikasi teknologi pendingin pada pengawetan makanan, memiliki kelebihan khusus dibandingkan dengan metode lainnya, seperti pengeringan atau pengasinan. Kualitas makanan yang diawetkan dengan cara pendinginan dapat dijaga secara lebih baik. Seiring dengan peningkatan kondisi ekonomi dan kesadaran masyarakat terhadap kesehatan, maka kebutuhan akan pangan yang berkualitas baik akan semakin meningkat. Pengawetan sayuran dan buah-buahan organik bisa dilakukan dengan pendinginan. Jawa Barat pada umumnya, dan Bandung Raya secara khusus adalah salah satu penghasil pangan yang penting di Indonesia. Dengan demikian sudah selayaknya Politeknik Negeri Bandung mendukung infrastruktur ketahanan pangan

berwawasan lingkungan diperlukan Teknologi Pendingin dengan daya rendah yang ramah lingkungan. Di sisi yang lain, berbagai industri, seperti industri proses, elektronika, serta bangunan gedung pengkondisian ruangan juga menggunakan pendingin atau secara masif. Untuk penggunaan pada bangunan gedung misalnya, pada umumnya konsumsi energi listrik untuk pengkondisian ruangan sekitar 60 dari konsumsi listrik (Indartono dkk., 2010). Mesin refrigerasi kompresi uap, saat ini masih menjadi pilihan utama untuk tujuan-tujuan tersebut. Penggunaan mesin refrigerasi kompresi uap semakin luas, dengan tingkat konsumsi energi listrik yang sangat tinggi. Dengan demikian perlu dilakukan usaha-usaha menurunkan penggunaan energi untuk pendinginan.

Tulisan ini berisi pemaparan peluang penghematan energi pada mesin pendingin siklus refrigerasi kompresi uap, pada berbagai macam

refrigeran. Proses penurunan tekanan dalam mesin refrigerasi kompresi uap bisa diekstraksi untuk mengasilkan daya berguna, khususnya pada mesin refrigerasi dengan kapasitas besar, yang memberikan laju aliran refrigeran yang memadai. Kemajuan teknik CFD untuk memecahkan berbagai masalah dalam aliran fluida, teknologi CAD, manufaktur dan meterial dewasa ini, memungkinkan pengembangan turbin mikro untuk keperluan tersebut.

Refrigeran yang akan dievaluasi tidak terbatas pada refrigeran senyawa tunggal, tetapi juga termasuk refrigeran campuran. Teknik yang digunakan perhitungan potensi penghematan daya, adalah simulasi menggunakan perangkat lunak Aspen Plus 11.

1.1 Tinjauan Pustaka

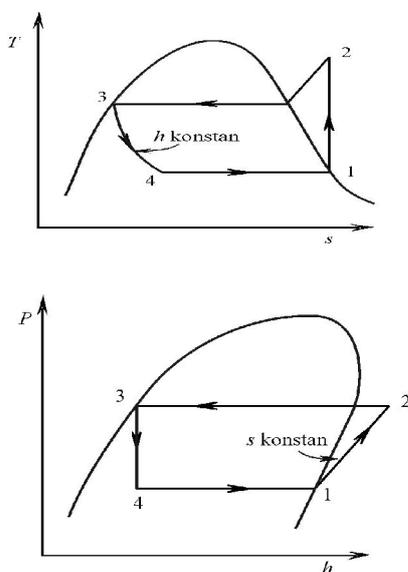
Siklus refrigerasi kompresi uap telah dikenal dan diaplikasikan secara luas. Reperesentasi siklus tersebut digambarkan pada diagram $T - s$ dan $P - h$, dapat dilihat pada Gambar 1. Proses-proses yang terjadi pada siklus refrigerasi kompresi uap adalah:

Proses 1-2 : Proses kerja kompresi isentropik di dalam kompresor

Proses 2-3 : Proses kondensasi (pengembunan) di dalam kondensor pada tekanan tetap

Proses 3-4: Proses penurunan tekanan di dalam pipa kapilar atau katup ekspansi berlangsung pada entalpi tetap

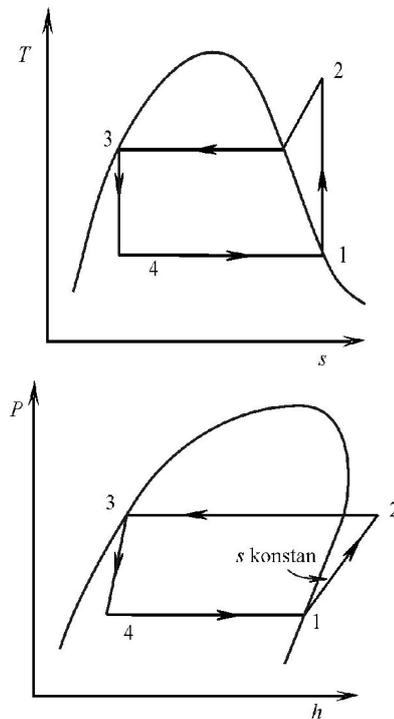
Proses 4-1 : Proses evaporasi (penguapan) di dalam evaporator pada tekanan tetap dan dihasilkan efek pendinginan.



Gambar 1 Siklus refrigerasi kompresi uap

Penggunaan turbin untuk menggantikan katup ekspansi akan mengubah bentuk siklus pada

bidang $T - s$ maupun $P - h$. Siklus ideal refrigerasi kompresi uap yang telah dimodifikasi terlihat pada gambar 2. Proses 3 - 4 adalah proses ekspansi isentropik yang menghasilkan daya poros sebesar $h_3 - h_4$.



Gambar 2 Siklus refrigerasi kompresi uap yang dimodifikasi

Secara toritik, keuntungan yang bisa diperoleh dengan melakukan proses ekspansi menggunakan turbin dibandingkan dengan menggunakan piranti ekspansi konvensional, seperti katup ekspansi termostatik atau pipa kapiler adalah:

1. Memperoleh kembali (recovery) sebagian daya poros.
2. Memperoleh tambahan efek pendinginan sebesar perolehan daya poros yang diperoleh kembali tersebut.

Akan tetapi usaha untuk mengekstraksi daya dari proses ekspansi tersebut, masih menghadapi berbagai kendala seperti:

- Belum tersedianya turbin yang terjangkau dan memadai untuk tujuan tersebut.
- Daya poros yang tersebut bergantung pada beban pendinginan pada mesin refrigerasi, sehingga pemanfaatannya memerlukan berbagai piranti pendukung.

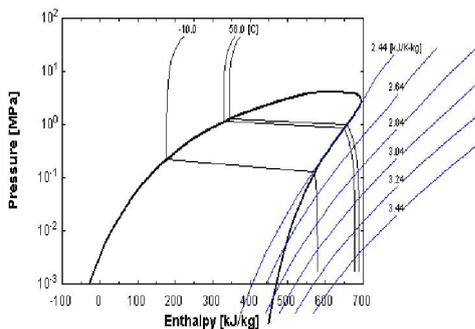
Untuk mesin refrigerasi dengan kapasitas besar dan beban kontinu, kendala yang kedua, bisa dikatakan tidak ada. Dengan perkembangan teknologi desain dan manufaktur, pembuatan turbin dua fasa untuk mengekstraksi daya dari

proses ekspansi pada siklus refrigerasi kompresi uap, sangat mungkin untuk dilakukan. Masalah yang mungkin terjadi dalam integrasi turbin mikro pada mesin refrigerasi, adalah pengontrolan laju aliran refrigeran dan mempertahankan tekanan evaporator pada harga yang diinginkan.

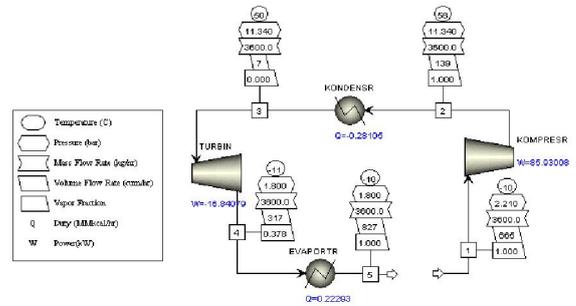
Beberapa peneliti telah menerapkan sistem refrigerasi yang telah dimodifikasi ini, pada mesin berkapasitas besar (2000 – 5000 TR), menggunakan HFC 134a (Hays dkk., 1998). Penelitian ini akan berfokus pada mesin refrigerasi berkapasitas menengah, sekitar 50 hp, yang memerlukan desain turbin yang berbeda dengan penelitan yang telah dilakukan sebelumnya. Selanjutnya turbin dua fasa akan diaplikasikan pada sistem dengan refrigeran yang menghasilkan COP tinggi, sehingga COP secara keseluruhan akan lebih tinggi, dengan tetap memperhatikan aspek keamanan dan keselamatan.

1.2 Simulasi dan Pembahasan

Refrigeran yang akan dievaluasi adalah: HC 12, Propan, HFC 134a dan HCFC 22. Temperatur kondenser diasumsikan 50 °C, sedangkan temperatur evaporator disumsikan -10 °C. Efisiensi isentropik kompresor diasumsikan 80%, sedangkan efisiensi isentropik turbin disumsikan 85%. Untuk menghitung balans energi dilakukan menggunakan perangkat lunak **Aspen Plus 11**. Sedangkan sifat-sifat refrigeran, termasuk refrigeran campuran akan diitung menggunakan perangkat lunak **Refprop**. Gambar 3 menunjukkan Diagram P – h HC 12 menurut Refprop. Sedangkan Gambar 3 menunjukkan model **Aspen Plus 11** dari sistem refrigerasi kompresi uap yang telah dimodifikasi dengan refrigeran HC 12.



Gambar 3 Diagram P – h HC 12 (Refprop)



Gambar 4 Model Aspen Plus 11 dari sistem refrigerasi kompresi uap yang dimodifikasi dengan refrigeran HC 12

Tabel 1 menunjukkan hasil perhitungan COP dari perhitungan balans energi yang telah dilakukan. Dari tabel tersebut terlihat bahwa COP tertinggi diberikan oleh sistem refrigerasi kompresi uap yang telah dimodifikasi dengan refrigeran HC 12, yaitu sebesar 3,753. Sedangkan peningkatan COP yang dihasilkan dari modifikasi sistem, juga diberikan oleh sistem dengan refrigeran HC 12, yaitu sebesar 33,84%.

Tabel 1 Hasil Balans massa dan energi berbagai refrigeran

Refrigeran	COP 1 *	COP 2**	Peningkatan
HC 12	2,804	3,753	33,84%
Propan	2,370	3,124	31,83%
R134a	2,429	3,147	29,57%
R22	2,491	3,111	24,88%

* COP 1: COP sistem refrigerasi konvensional
 ** COP 2: COP sistem refrigerasi yang sudah dimodifikasi

Dari sisi COP yang dihasilkan, sistem dengan refrigeran HC 12 adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan sistem yang menggunakan refrigeran lainnya. Selain itu refrigeran hidrokarbon juga memiliki angka ODP dan GWP yang rendah, masing-masing sebesar 0 dan 3 (Pasek, 1998). Akan tetapi penerapan refrigeran hidrokarbon pada umumnya, HC 12 pada khususnya sekarang ini masih banyak kendala. Hal ini karena refrigeran hidrokarbon mudah terbakar. Sekalipun secara teknis hal ini dapat ditanggulangi, akan tetapi dalam pengoperasiannya diperlukan kehati-hatian yang tinggi. Selanjutnya, pilihan refrigeran yang lebih moderat adalah R 134a. Refrigeran ini memiliki angka ODP dan GWP masing-masing sebesar 0 dan 1300 (Pasek, 1998), serta tidak mudah terbakar. COP sistem refrigerasi yang telah dimodifikasi dengan refrigeran R 134a adalah sebesar 3,147.

2. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa COP tertinggi diberikan oleh sistem refrigerasi kompresi uap yang telah dimodifikasi dengan refrigeran HC 12, yaitu sebesar 3,753. Untuk aplikasinya pada sistem refrigerasi berdaya rendah, bila diperlukan bisa dilakukan secara bertahap, yaitu dengan terlebih dahulu menggunakan refrigeran yang relatif lebih aman, yaitu R 134a.

3. DAFTAR PUSTAKA

1. Indartono, Yuli S., Suwono, A., Pasek, Ari D., Mujahidin, Didin, Rizal, Irfansyah, 2010. Thermal Characteristics Evaluation of Vegetables Oil to be Used as Phase Change Material in Air Conditioning System, *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 12, No 2.
2. Hays, L. G., Brasz, J. J., 1996. Two-Phase Turbines for Compressor Energy Recovery. International Compressor Engineering Conference, Purdue University.
3. Hays, L. G., Brasz, J. J., 1998. Two-Phase-Flow Turbines as Stand-Alone Throttle Replacement Units in Large 2000 – 5000 Ton Centrifugal Chiller Installations. International Compressor Engineering Conference, Purdue University.
4. Martins, Gleyzer, Mendoza, Oscar Saul H., Tumialan, Jose A., 1996. Semi-empirical Modeling of small size Radial turbines for refrigeration purpose. International Compressor Engineering Conference, Purdue University.
5. Pasek, Ari Darmawan, 1998. Modul Pelatihan Retrofit Refrigeran. Institut Teknologi Bandung, Bandung
6. Aspen Technology, Inc., 2001. Aspen Plus, Getting Started Modeling Processes with Electrolyts. Cambridge, Massacussets.
7. Rencana Induk Penelitian (RIP)
8. Politeknik Negeri Bandung 2012 – 2016.