

PENGARUH VARIASI DIAMETER PIPA KAPILER PADA SIKLUS TEMPERATUR RENDAH TERHADAP PERFORMANSI *TRAINER UNIT* SISTEM REFRIGERASI *CASCADE*

I Wayan Adi Subagia dan I Dewa Made Susila

Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali

Bukit Jimbaran, P.O Box 1064 Tuban, Badung-Bali Tlp.(0361)701981

e-mail : subagiaadi@yahoo.com

Abstrak: Sistem refrigerasi *cascade* merupakan salah satu sistem yang digunakan pada sistem refrigerasi temperatur rendah, keuntungan sistem ini dapat menggunakan jenis refrigeran yang berbeda. Banyak parameter yang mempengaruhi performansi sistem refrigerasi, salah satunya geometri (diameter) pipa kapiler sebagai alat ekspansi yang digunakan pada sistem refrigerasi kompresi uap. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan studi pengaruh penggunaan diameter pipa kapiler yang berbeda, pada sistem refrigerasi *cascade* dua tingkat terhadap performansi sistem. Dari hasil pengujian untuk penggunaan diameter pipa kapiler 0,036" dan 0,042" didapat rasio tekanan sebesar 4,01 dan 2,81 atau meningkat sebesar 42,6 % untuk penggunaan diameter pipa kapiler yang lebih kecil, capaian temperatur evaporator terendah masing-masing sebesar -37,2 °C dan -20,9 °C, COP sistem 0,74 lebih rendah sebesar 22,9% dibandingkan dengan penggunaan pipa kapiler 0,042" sebesar 0,91, dan konsumsi daya sistem sebesar 0,935 kW lebih besar 0,3 % dibandingkan menggunakan pipa kapiler diameter 0,042" sebesar 0,932 kW.

Kata Kunci : *cascade*, pipa kapiler, performansi

Effect of Capillary Tube Diameter Variation in Low Temperature Cycle Toward Trainer Unit of Cascade Refrigeration System Performance

Abstract: The cascade refrigeration system is one of system that is usually used in a low temperature refrigeration system, the advantage of this system may use a different type of refrigerants. Many parameters affect to the performance of refrigeration systems, such as the geometry (diameter) of the capillary tube which is an expansion device for vapor compression refrigeration system. Therefore, in this study will be investigated the effect of using different diameter capillary tube on a two-stage cascade refrigeration system to system performance. From the test results obtained that with using capillary tube diameter of 0.036 "and 0.042" it was obtained that the pressure ratio of 4.01 and 2.81, respectively or equivalent with 42.6% higher for the smaller capillary diameter. The lowest evaporator temperature can reach are -37.2 °C and -20.9 °C, respectively. The system COP of 0.74 was lower by 22.9% compared with the use of a capillary tube 0.042 "(COP is 0.91), and system power consumption of 0.935 kW or approximately 0.3% greater than the diameter capillary 0,042 " which consumed about 0.932 kW.

Key words: *cascade*, capillary tube, performance

I. PENDAHULUAN

Sistem refrigerasi *cascade* merupakan salah satu alternatif yang banyak digunakan pada sistem refrigerasi temperatur rendah, aplikasi di bidang komersial pada pengawetan dan penyimpanan makanan dibutuhkan temperatur -18 °C sampai dengan -35 °C, sedangkan pada aplikasi proses industri dibutuhkan temperatur pendinginan yang lebih rendah berkisar -35 °C sampai dengan -50 °C. [1][2]. Penggunaan sistem refrigerasi tunggal pada temperatur evaporasi dibawah -35 °C tidak efisien karena rasio tekanan yang tinggi akan menimbulkan permasalahan pada sisi tekanan tinggi dan efisiensi volumetrik [3].

Sistem refrigerasi *cascade* terdiri dari minimal dua siklus kompresi uap dimana satu siklus sebagai siklus

temperatur tinggi atau *high temperature cycle* (HT) dan lainnya sebagai siklus temperatur rendah atau *low temperature cycle* (LT) kedua siklus ini dihubungkan seri menggunakan kondensor *cascade*, dimana panas yang dilepaskan kondensor LT akan diserap oleh evaporator HT [1].

Keuntungan sistem refrigerasi *cascade* dapat menggunakan jenis refrigeran yang berbeda untuk masing-masing siklus, sehingga dapat dilakukan pemilihan pasangan refrigeran yang sesuai dengan temperatur evaporator yang akan dicapai dengan performansi sistem yang maksimal[4][3].

Banyak studi yang telah dilakukan pada sistem *cascade* dengan menggunakan berbagai pasangan refrigeran untuk mendapatkan unjuk kerja sistem yang efisien termasuk penggunaan refrigeran natural untuk

mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Xie et.al (2008) melakukan studi komparasi pada sistem refrigerasi *cascade* dengan membandingkan penggunaan pasangan R22/R23 dengan pasangan refrigeran hidrokarbon R290/R170 terhadap performansi sistem, hasil yang didapat pasangan refrigeran hidrokarbon R290/R170 dapat digunakan sebagai pengganti R22/R23 karena performansi sistem yang dihasilkan hampir sama [5]. Pyasi et.al (2011) melakukan studi analisis performansi pada sistem refrigerasi *cascade* dengan menggunakan pasangan refrigeran R404a/508b mendapatkan, bahwa temperatur evaporator LT sangat berpengaruh terhadap COP sistem[3]. Shah et.al (2011) dari hasil komparasi sistem refrigerasi *cascade* dengan menggunakan berbagai pasangan refrigeran pada LS dan HS, secara umum didapat bahwa semakin rendah temperatur evaporasi pada LS maka COP sistem pun menurun[6].

Pada sistem refrigerasi temperatur rendah perbedaan tekanan pada sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah cukup besar, perbedaan tekanan yang besar ini didapat dengan menggunakan alat ekspansi untuk menurunkan tekanan dan mengatur laju aliran refrigeran. Pipa kapiler merupakan salah satu jenis alat ekspansi yang banyak digunakan pada unit refrigerasi dengan kapasitas kecil, seperti domestik refrigerator, sistem refrigerasi, penyejuk udara dan frezeer dengan kapasitas refrigerasi berkisar 10 kW. Ukuran dari diameter pipa kapiler yang umum digunakan berkisar 0,5 - 2 mm, dengan variasi panjang berkisar 1- 6 m tergantung pada aplikasi. [7].

Pipa kapiler sebagai alat ekspansi menjadi sangat penting karena akan berpengaruh terhadap performansi sistem refrigerasi kompresi uap yang menggunakan pipa kapiler. Oleh karena itu, banyak studi yang dilakukan untuk mendapatkan pengaruh geometri pipa kapiler terhadap performansi sistem. Pathak (2014) dari *review* literatur yang dilakukan bahwa geometrik pipa kapiler seperti panjang, diameter, *pith* koil berpengaruh terhadap penurunan tekanan, COP, laju aliran massa refrigeran[8].

Hal ini yang melatarbelakangi dilakukannya pengujian pada *trainer unit* sistem refrigerasi *cascade*, dengan menggunakan pasangan MC-22/R404A dan diameter pipa kapiler yang berbeda untuk mendapatkan profil performansi sistem.

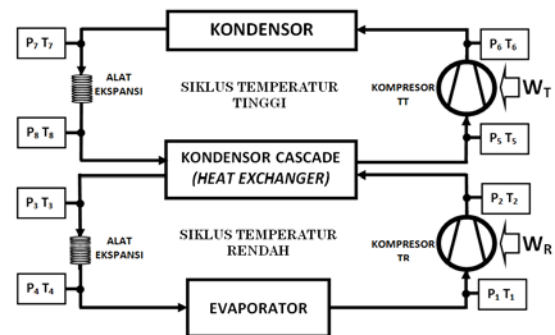
1. Metode Penelitian

2.1 Deskripsi Penelitian

Studi ini dilakukan pada hasil rancang bangun *trainer unit* sistem refrigerasi *cascade* dua tingkat, sistem ini terdiri dari dua siklus kompresi uap yang menggunakan dua jenis refrigeran yang berbeda yaitu untuk HT menggunakan refrigeran hidrokarbon (MC-22) dan LT menggunakan refrigeran R404A, kondensor *cascade* yang digunakan tipe *double pipe* dengan aliran *counterflow*. Komponen kedua siklus terdiri dari kompresor jenis torak, kondensor, *filter drier*, pipa kapiler dan evaporator, kapasitas kompresor

yang digunakan pada HT sebesar 1/3 Pk dan 1/3 Pk untuk LT. Alat ini berada pada Laboratorium Refrigerasi Jurusan Teknik Mesin PNB.

Pada HT dan LT masing-masing dipasang 4 alat ukur tekanan menggunakan bourdon gauge : 0-210 psi dan 0-500 psi, thermokopel tipe K : -50/100 °C sebagai alat ukur temperatur, serta 2 amperemeter : 0-10 A serta analog voltmeter : 0-250 V untuk mengukur besar arus dan tegangan yang digunakan sistem. Adapun rangkaian komponen sistem seperti pada gambar 3.1 berikut :



Gambar 3.1 Rangkaian komponen sistem refrigerasi *cascade*

2.2 Pengujian Trainer Unit

Pada studi ini menggunakan metode eksperimen, dengan melakukan pengukuran langsung parameter tekanan, temperatur, besar arus dan tegangan. Variasi diameter pipa kapiler dilakukan pada LT menggunakan diameter 0,036" dan 0,042" dengan panjang pipa kapiler yang sama 1,5 m.

Pengambilan data dilakukan setiap 5 menit selama 105 menit dengan kondisi sistem tanpa beban. Adapun data yang diambil adalah data tekanan dan temperatur di 4 titik pada HT dan 4 titik pada LT, temperatur evaporator LT, besar arus serta tegangan.

2.3 Analisis Data

Data hasil pengujian sistem akan diolah menggunakan P-H diagram R404A untuk LT dan HT yang menggunakan refrigeran hidrokarbon MC22 dengan kandungan utama *propane* sebagai pendekatan akan menggunakan P-H diagram R290 [8 Adamson]. Hasil pengolahan akan ditampilkan dalam bentuk grafik dan analisis akan dilakukan terhadap rasio tekanan, capaian temperatur evaporator, COP sistem serta konsumsi daya sistem terhadap waktu selama proses pencapaian temperatur evaporator LS terendah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

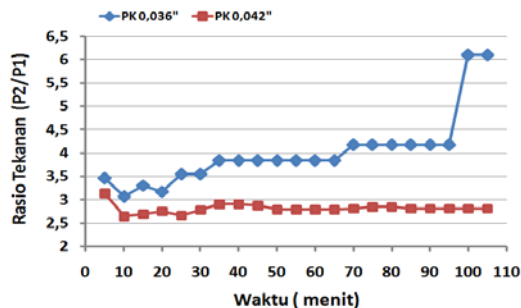
3.1 Rasio tekanan LT

Profil rasio tekanan P_2/P_1 pada LT untuk penggunaan diameter pipa kapiler 0,036" dan 0,042" seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4, untuk penggunaan diameter pipa kapiler 0,036" rasio tekanan selama proses pencapaian temperatur evaporator LT terendah dari menit ke 5 hingga menit ke 105 menunjukkan peningkatan yang lebih besar

dibandingkan dengan rasio tekanan pada penggunaan diameter pipa kapiler 0,042". Rasio tekanan rata-rata pada LT sebesar 4,01 untuk penggunaan diameter pipa kapiler 0,036", nilai ini lebih besar 42,6 % jika dibandingkan dengan menggunakan diameter pipa kapiler 0,042" sebesar 2,81. Hasil ini menunjukkan bahwa besar diameter pipa kapiler sangat berpengaruh terhadap rasio tekanan sistem.

Untuk panjang pipa kapiler yang sama semakin kecil diameter pipa kapiler yang digunakan akan menimbulkan hambatan gesekan yang lebih besar, sehingga rasio tekanan pada sistem akan semakin besar dan temperatur evaporator LT akan semakin rendah serta laju aliran massa refrigeran akan semakin kecil [10].

Jika dibandingkan perubahan rasio tekanan selama proses pencapaian temperatur evaporator LT terendah, pada penggunaan diameter pipa kapiler 0,042" kenaikan rasio tekanan berlangsung relatif stabil akan tetapi pada penggunaan diameter pipa kapiler 0,036" terjadi kenaikan yang cukup besar dari menit ke 95 sebesar 4,17 menjadi 6,1 pada menit ke 100. Hal ini disebabkan oleh semakin kecil diameter pipa kapiler akan menurunkan laju aliran massa refrigeran, sehingga selama proses penurunan tekanan pada sisi tekanan rendah tidak terjadi keseimbangan laju aliran massa refrigeran pada sisi tekanan rendah dan sisi tekanan tinggi sehingga menyebabkan terjadinya penumpukan refrigeran pada kondensor.



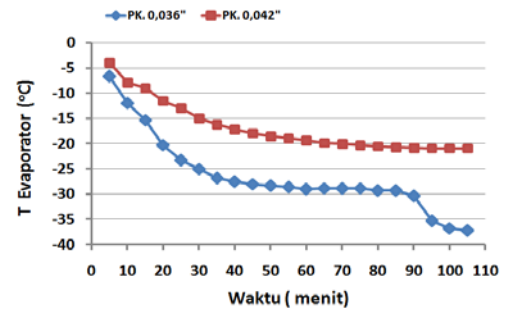
Gambar 3.4 Rasio tekanan pada LT

3.2 Pencapaian temperatur evaporator sistem terhadap waktu.

Dari hasil pengujian sistem didapat profil pencapaian temperatur terendah evaporator LT untuk diameter pipa kapiler 0,036" dan 0,042" seperti yang ditunjukkan gambar 3.2 berikut, capaian temperatur evaporator terendah sebesar -37,2 °C dan -20,9 °C untuk penggunaan diameter pipa kapiler 0,036" dan 0,042". Hasil ini menunjukkan bahwa pencapaian temperatur evaporator LT, sangat dipengaruhi oleh diameter dan panjang pipa kapiler. Semakin kecil diameter pipa kapiler maka pencapaian temperatur evaporator LT akan semakin rendah, seiring dengan menurunnya tekanan pada sisi tekanan rendah LT.

Di samping itu, diameter pipa kapiler juga mempengaruhi proses pencapaian temperatur terendah dari gambar 3.2 ditunjukkan bahwa untuk penggunaan

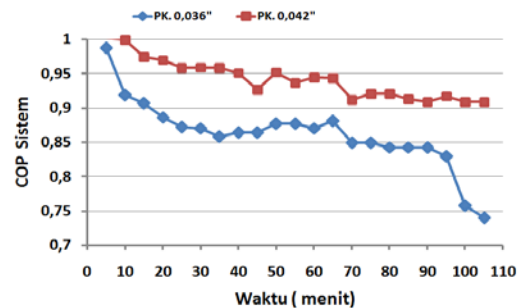
pipa kapiler 0,042" proses penurunan temperatur dari awal hingga mencapai titik terendah berjalan dengan lebih stabil jika dibandingkan dengan penggunaan pipa kapiler 0,036" yang mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai temperatur -37,2 °C. Pada menit ke 90 temperatur evaporator LT sebesar -30,4 °C mengalami penurunan yang cukup besar sampai dengan menit ke 105 °C, proses ini seiring dengan kenaikan rasio tekanan sistem dan penurunan tekanan pada sisi tekanan rendah atau masuk evaporator serta menurunnya laju aliran massa refrigeran.



Gambar 3.2 Pencapaian temperatur evaporator LT

3.3 COP sistem

Dari hasil pengolahan data didapat profil COP sistem selama proses pencapaian temperatur terendah LT seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut :



Gambar 3.3 COP Sistem

Selama proses pencapaian temperatur evaporator terendah besar nilai COP sistem menurun, untuk penggunaan pipa kapiler 0,036" besar COP sistem pada temperatur evaporator LT terendah mencapai 0,74 nilai ini lebih rendah sebesar 22,9% dibandingkan dengan penggunaan pipa kapiler 0,042" pada temperatur evaporator LT terendah mencapai 0,91.

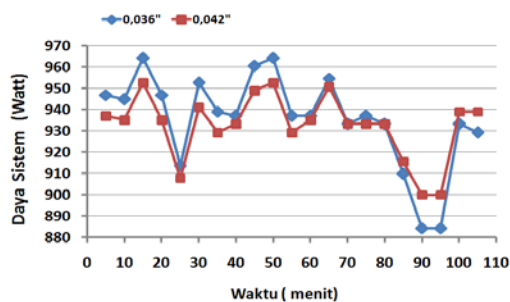
Pada menit ke 90 COP sistem mulai menunjukkan penurunan yang cukup besar, seiring dengan penurunan temperatur evaporator LT dan kenaikan rasio tekanan sistem yang akan menyebabkan meningkatnya kerja kompresi dari kompresor LT.

Proses ini menunjukkan bahwa diameter pipa kapiler merupakan salah satu parameter yang sangat berpengaruh terhadap capaian COP sistem, semakin

rendah temperatur evaporator LT maka semakin rendah pula COP sistem [6].

3.4 Konsumsi daya sistem

Profil konsumsi daya selama proses pencapaian temperatur evaporator LT terendah hingga mencapai kondisi stabil seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.5, dimana besar konsumsi daya sistem merupakan jumlah daya yang dibutuhkan pada HT dan LT. Dari gambar 3.5 besar konsumsi daya pada penggunaan pipa kapiler 0,036" dan 0,042" terlihat mempunyai profil menurun dan berfluktuasi, besar konsumsi daya sistem rata-rata untuk penggunaan diameter pipa kapiler 0,036" sebesar 0,935 kW lebih besar 0,3 % dibandingkan menggunakan pipa kapiler diameter 0,042" sebesar 0,932 kW.



Gambar 3.5 Konsumsi daya sistem

Hasil ini menunjukkan bahwa diameter pipa kapiler mempengaruhi konsumsi daya sistem, semakin kecil diameter pipa kapiler menyebabkan rasio tekanan semakin besar sehingga kerja kompresor akan semakin besar.

4. SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dengan panjang yang sama besar diameter pipa kapiler sangat berpengaruh terhadap proses dan besar rasio tekanan, temperatur evaporator terendah, COP dan konsumsi daya sistem.
2. Semakin kecil diameter pipa kapiler menyebabkan besar hambatan berupa gesekan akan semakin besar, sehingga menyebabkan rasio tekanan meningkat, temperatur evaporator dan COP sistem menurun serta konsumsi daya sistem meningkat.
3. Hasil studi dengan penggunaan panjang pipa kapiler yang sama, untuk diameter pipa kapiler yang berbeda pada LT sistem refrigerasi *cascade* dua tingkat didapat, untuk penggunaan diameter 0,036" dan 0,042" rasio tekanan LT masing-masing sebesar 4,01 dan 2,81 atau meningkat sebesar 42,6% untuk penggunaan diameter pipa kapiler yang lebih kecil. Capaian temperatur evaporator LT terendah masing-masing -37,2 °C dan -20,9 °C, COP sistem untuk diameter pipa kapiler 0,036" sebesar 0,74 lebih rendah 22,9% dibandingkan dengan penggunaan pipa kapiler

0,042" dan konsumsi daya untuk diameter pipa kapiler 0,036" sebesar 0,935 kW lebih besar 0,3 % dibandingkan menggunakan pipa kapiler diameter 0,042" sebesar 0,932 kW.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Penelitian ini dibiayai oleh Kemenristekdikti melalui program kegiatan penelitian hibah bersaing. Terima kasih saya ucapkan kepada P3M Politeknik Negeri Bali dan teman-teman dosen Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali dan semua pihak yang telah memberikan masukan serta saran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASHRAE. 2010. *Refrigeration*. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. USA.
- [2] Althouse, D.A., Turnquist, C.H., Bracciano, A.F. 2004. *Modern Refrigeration And Air Conditioning*. The Goodheart-Willcox Company, Inc. USA.
- [3] Pyasi D, Gupta R.C., "Performance Analysis of 404a/508b Cascade Refrigeratioan Cycle for low temperatur" *International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST)*, Vol 3 No.8, 2011, p 6501-6507.
- [4] Songire P., Mali.V.K ., "Comparative Assessment of Alternative Refrigerants in Cascade Refrigeration System" *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*, Vol-4, 2015, p 7-11.
- [5] Xie Y, Liu C., Lun L., Zhang X., Use of R290/R170 in Lieu of R22/R23 in Cascade Refrigeration Cycle, *International Refrigeration and Air Conditioner Conference* , 2008, p 1-7.
- [6] Shah H.A., Kapadia. R.G., "Comparative Assessment of a Cascade Refrigeration Cycle with Different Refrigerant Pair" *International Conference on Current Trends in Technology*, 08 Dec 2011, p1-6.
- [7] Stoecker .W.F., Jones W.J., *Refrigeration and Air Conditioning*, Second edition. Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1983.
- [8] Pathak S.S., Shukla P., Chauhan S., Effect of Capillary Tube on The Performance of a Simple Vapour Compression Refrigeration System, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, Vol 11, 2014, p5-7.
- [9] Adamson B.M., Application of Hydrocarbon Refrigerants In Low Temperature cascade System, 7th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Working Fluids, (2006) 1-8.
- [10] Sharma A., Singh J., Experimental Invertigation of Refrigerant Flow Rate With Spirally Coiled Adiabatic Capillary Tube In Vapour Compression Refrigeration Cycle Using Eco Friendly Refrigerant, *International Journal of*

Mechanical and Production Engineering
Research and Development, Vol 3, 2013, p85-94.