Variasi Lilitan Pipa Kapiler Terhadap Kerja Unit Pembuat Es Menggunakan Outdoor AC 1 PK

Cendy S. E Tupamahu[1*], **Benjamin G. Tentua**[1], **Topan Hulihulis**[1], **Andiah Nurhaeny**[2]
[1]*Teknik Mesin, Universitas Pattimura, Ambon, Kode Pos 97123, Indonesia*
[2]*Teknik Perancangan Wilayah Kota, Universitas Pattimura, Ambon, Kode Pos 97123, Indonesia*
**Email Corresponding Author: tupamahucendy@gmail.com*

ABSTRAK

Ketersediaan es batu sebagai sarana pengawet ikan hasil tangkapan nelayan masih sulit diakses oleh nelayan yang tingggal di pelosok terutama daerah terpencil. Hal ini disebabkan oleh adanya jarak antara lokasi nelayan dengan pabrik es. Salah satu terobosan yang dapat ditempuh untuk memenuhi kebutuhan ini yakni pembuatan unit pembuat es dengan memanfaatkan outdoor AC (Air Conditioner) sebagai condensing unit yang dirangkai dengan evaporator yang diletakan di dalam kotak pendingin untuk pembuatan es. Setiap unit pendingin memerlukan suatu perangkat ekspansi untuk mengatur aliran refrigeran dari sisi tekanan tinggi kondensor ke sisi tekanan rendah evaporator sesuai dengan beban yang dibutuhkan. Secara teknis outdoor AC tidak dirancang untuk kebutuhan pembekuan produk yang membutuhkan temperatur evaporasi yang rendah, tetapi hanya untuk digunakan pada sistem dengan beban pendinginan rendah atau untuk mendinginkan udara ruangan. Penyesuaian jumlah lilitan pipa kapiler sebagai peralatan ekspansi menjadi satu hal yang penting karena lilitan pada pipa kapiler menyebabkan penurunan tekanan pada fluida kerja atau refrigeran yang mengalir didalamnya. Berkaitan dengan hal tersebut maka penelitian ini akan memodifikasi jumlah lilitan pipa kapiler terhadap performansi pada unit pembuatan es berkapasitas 100 liter dan berdaya 1 pk untuk mendapatkan kerja unit pembuat es. Hasil perhitungan pengaruh jumlah lilitan pipa kapiler terhadap kerja unit pembuat es yaitu untuk pipa kapiler 6 lilitan COP sebesar 4,17, pipa kapiler 8 lilitan, COP sebesar 3,91, dan pipa kapiler 10 lilitan COP sebesar 3,85. Dapat disimpulkan bahwa nilai COP akan menurun seiring dengan penambahan jumlah lilitan pipa kapiler.

Kata kunci: Pipa kapiler; AC; COP

ABSTRACT

The availability of ice cubes as a means of preserving fish caught by fishermen is still difficult to access for fishermen who live in remote areas, especially remote areas. This is caused by the distance between the fishing location and the ice factory. One breakthrough that can be taken to meet this need is the creation of an ice-making unit by utilizing an outdoor AC (Air Conditioner) as a condensing unit which is combined with an evaporator placed in a cooling box (coolbox) for the ice-making process. Each cooling unit requires an expansion device to regulate the flow of refrigerant from the high pressure side of the condenser to the low pressure side of the evaporator according to the required load. Technically, outdoor AC is not designed for the needs of freezing products that require low evaporation temperatures, but only for use in systems with low cooling loads or to cool room air. Adjusting the number of coils in the capillary tube as expansion equipment is important because the coils in the capillary tube cause a decrease in pressure in the working fluid or refrigerant flowing within it. In this regard, this research will modify the number of turns of the capillary pipe on the performance of an ice making unit with a capacity of 100 liters and a power of 1 pk to get the best ice making unit work. The results of the calculation of the effect of the number of turns of the capillary pipe on the work of the ice making unit are that for a 6 winding capillary pipe the COP is 4.17, for an 8 winding capillary pipe the COP is 3.91, and for a 10 winding capillary pipe the COP is 3.85. It can be concluded that the COP value will decrease as the number of capillary tube turns increases.

Keywords: Capillary tube; AC; COP

PENDAHULUAN

Refrigerasi merupakan suatu proses penghilangan panas dari suatu ruang atau bahan untuk mempertahankan suhunya lebih rendah dibandingkan suhu lingkungan [1-3]. Mesin pendingin ialah perangkat yang memanfaatkan prinsip-prinsip refrigerasi untuk mencapai tujuan tersebut [4-6]. Beberapa komponen utama dari mesin pendingin yaitu kompresor, kondensor, evaporator, dan perangkat ekspansi, di mana pipa kapiler sering digunakan sebagai perangkat ekspansi. Fungsi pipa kapiler untuk menurunkan tekanan refrigeran dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi. Indikator untuk menilai prestasi kerja suatu mesin pendingin yaitu

Coefficient of Performance (COP). Semakin tinggi nilai COP, semakin efisien mesin pendingin tersebut.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan prestasi kerja mesin pendingin dengan memvariasikan geometri pipa kapiler berupa panjang pipa kapiler [7]. Dengan menggunakan tiga variasi panjang yakni 0.75, 1 dan 1.25 m. menggunakan refrigeran R-134a. Penelitian lainnya yaitu variasi panjang 80, 90, 100,110,120 mm, laju aliran konstan yaitu 15 lpm. Hasilnya performance terbaik diperoleh pada panjang pipa kapiler 80 cm yaitu 4,05. Hal ini menunjukan semakin panjang pipa kapiler semakin menurun nilai COP.

Adapun pengaruh variasi diameter pipa kapiler [8-9]. Hasil penelitian menunjukan semakin besar diameter pipa kapiler yang digunakan semakin rendah COP yang dihasilkan. Diameter yang lebih kecil atau lebih besar dari optimal dapat mengurangi COP, sehingga perlu dipilih diameter yang tepat untuk efisiensi maksimal. Diameter pipa kapiler yang sesuai dapat meningkatkan efisiensi energi sistem, sehingga coolbox lebih efektif dalam menggunakan daya untuk mencapai suhu yang diinginkan.

Selain panjang dan diameter [10], pemilihan jumlah lilitan pipa kapiler perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan prestasi mesin pendingin [11]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah lilitan yang terlalu banyak menyebabkan penurunan COP.

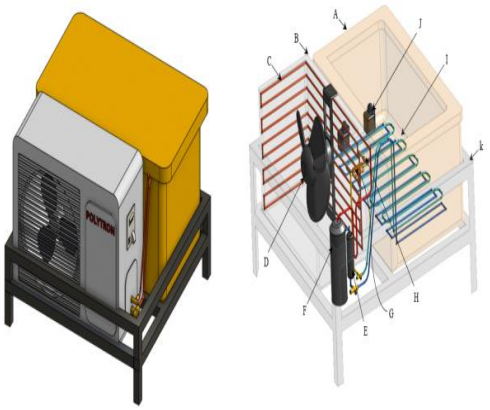
Dalam penelitian ini kembangkan unit refrigerasi siklus kompresi uap untuk pembuatan es dengan memanfaatkan outdoor unit AC yang dimodifikasi sebagai condensing unit dan diuji untuk mendapatkan kondisi operasi yang optimum [12]. Modifikasi secara khusus diperlukan untuk dapat menghasilkan temperatur pembekuan es yang dikehendaki, mengingat unit AC pada dasarnya dirancang bangun hanya untuk tujuan pendinginan udara, yakni untuk hanya menghasilkan temperatur pendinginan di atas titik beku air, sedangkan kondisi optimum terkait dengan kondisi kerja yang menghasilkan *Coefficient of Performance* (COP).

Berdasarkan kajian diatas, maka akan dilakukan penelitian pengaruh variasi jumlah lilitan pipa kapiler terhadap kerja unit pembuat es, dengan variasi jumlah lilitan pipa kapiler 6, 8, dan 10 lilitan. Tujuannya untuk mendapatkan nilai prestasi kerja mesin pembuat es.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Pendingin dan Pengkondisian Udara Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Variabel bebas pada penelitian ini adalah jumlah lilitan dari pipa kapiler yang digunakan, yang dalam penelitian ini akan divariasikan sebesar 6 lilitan, 8 lilitan, dan 10 lilitan. Variabel terikat pada penelitian ini ialah dampak refrigerasi, kerja kompresi, kalor yang dilepas kondensor, koefisien performansi (COP).

Gambar 1, diperlihatkan konstruksi unit pembuat es dengan coolbox berukuran 100 liter, yaitu dengan ukuran panjang dalam 69 cm, lebar-dalam 40 cm dan tinggi-dalam 40 cm. Kompresor R-32 yang digunakan adalah dari merek Polytron tipe PAC 09VH dengan *power inpu*t pada voltase 220 V, yang terpasang dalam out door AC yang dilengkapi dengan kondensor yang didinginkan dengan kipas angin (*air cooled condenser*). Evaporator dirangkai dari pipa tembaga berukururan ½ inch dan ditempatkan di dasar kotak pendingin. Pada proses pendinginan pembekuan, *brine* yang memasuki ruang evaporator pada dasar *coolbox* dihisap dengan bantuan 2 pompa celup yang selanjutnya mensirkulasi *brine* yang telah didinginkan ke dalam ruang pendinginan/pembekuan. *Brine* yang digunakan berupa larutan air garam dengan konsentrasi garam sebesar 23% basis massa, yang dimaksudkan agar dapat dicapai titik beku larutan terendah.



Gambar 1 Skema Alat Uji.

Keterangan Gambar

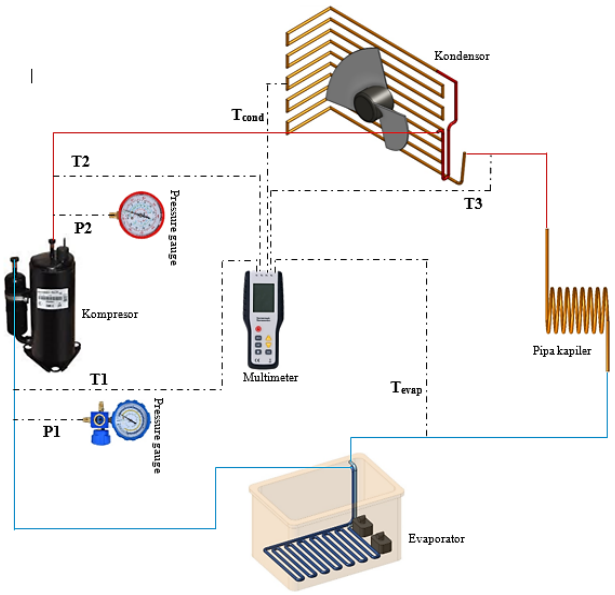
A = Coolbox	E = Akumulator	I = Evaporator
B = Outdoor AC	F = Kompresor	J = pompa
C = Kondensor	G = Pipa Kapiler	K= Rangka
D = Fan	H = Filter-Dryer	

Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan antara lain:

1) lepaskan sambungan antara pipa kondensor dan pipa kapiler menggunakan obor butane.
2) Persiapkan pipa kapiler yang akan digunakan pada percobaan dalam hal ini

pipa kapiler dengan jumlah lilitan 6, 8, dan 10 lilitan.

3) Sambungkan pipa kapiler dengan pipa kondensor dengan menggunakan obor butane dan kawat las perak.
4) Lakukan proses vakum pada sistem unit pendinginan es.
5) Lakukan proses charging atau pengisian kembali refrigerant pada sistem pendingin unit pembuat es.
6) Lakukan pengukuran tekanan dengan menggunakan manifold gauge pada tekanan suction/ tekanan rendah dan tekanan discharge/ tekanan tinggi pada sistem pendingin unit pembuat es.
7) Lakukan pengukuran temperatur refrigerant pada pipa sebelum masuk ke kompresor (T1), pipa keluaran dari kompresor (T2), pipa keluaran kondensor (Tkond) dan pipa keluaran dari pipa kapiler (Tevap).
8) Lakukan pencatatan data pada tiap variasi lilitan pipa kapiler yang digunakan pada sistem pendingin unit pembuat es dengan selang waktu 10 menit.



Gambar 2 Penempatan alat ukur

Perhitungan Besaran Kerja Unit Pendingin

1) Dampak Refrigerasi
Dampak refrigerasi dihitung sebagai selisih entalpi pada titik 1 dengan titik 4 [7], yaitu

$$q_c = (h_1 - h_4) \quad (1)$$

2) Kerja Kompresi
Kerja kompresi dihitung dengan persamaan [8] :

$$w_k = (h_2 - h_1) \quad (2)$$

3) Kalor Yang Dilepas Oleh Kondensor

$$q_k = w_k + q_c \quad (3)$$

4) Koefisien Performansi (COP)
Koefisien Performansi (*Coefficient of Performance*, COP) dihitung dengan persamaan:

$$COP = \frac{q_c}{w_k} \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

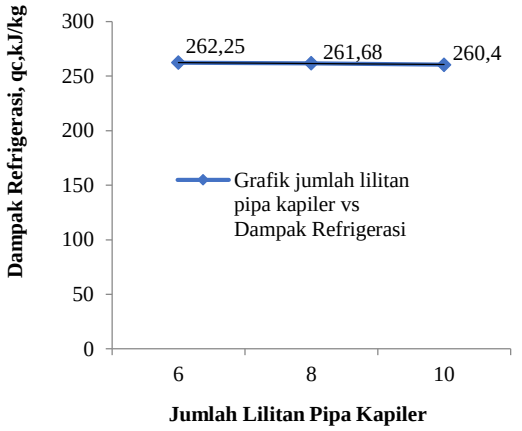
Dari hasil penelitian variasi jumlah lilitan pipa kapiler yaitu: dengan jumlah lilitan pipa kapiler sebanyak 6 (enam) lilitan, 8 (delapan) lilitan, 10 (sepuluh), Adapun data yang dicatat dalam penelitian ini temperatur *refrigerant* pada pipa sebelum masuk ke kompresor (T1), pipa keluaran dari kompresor (T2), pipa keluaran kondensor (T_{kond}) dan pipa keluaran dari pipa kapiler (T_{evap}). Berikut tabel hasil hasil pengukuran dan perhitungan pengaruh jumlah lilitan pipa kapiler terhadap kondisi dan variabel kerja unit pendingin coolbox berkapasitas 1 PK yang digunakan

Tabel 1. Hasil Pengukuran Dan Perhitungan Pengaruh jumlah lilitan Pipa Kapiler Terhadap Kondisi Dan Variabel Kerja Unit Pendingin

Variabel kerja Mesin Pendingin	Jumlah Lilitan Pipa Kapiler			Satuan
	6	8	10	
Tekanan kondensasi, $p_2=p_3$	355.61	359.62	371.07	Psia
Tekanan evaporasi, $p_1=p_4$	83.38	80.57	79.04	Psia
Penurunan tekanan ekspansi, $\Delta P = (p_3-p_4)$	272.23	279.05	292.03	Psia
Rasio Kompresi, $Cr = p_2/p_1$	4.265	4.463	4.695	5,243
Temperatur evaporasi,	-15.83	-16.97	-17.61	°C
Temperatur awal kompresi, T_1	-4.9	-5.1	-5.9	°C
$\Delta T_{SH} = (T_{evap} - T_1)$	-10.93	-11.87	-11.71	°C
Temperatur akhir kompresi, T_2	87.30	91.27	92.45	°C
Temperatur kondensasi, T_{kond}	39.56	40.02	41.31	°C
Temperatur akhir kondensasi, T_3	30.9	31.46	31.89	°C
$\Delta T_{SC} = (T_{kond} - T3)$	8.66	8.56	9.42	°C
Entalpi akhir evaporasi/awal kompresi, h_1	519.06	519.59	519.13	kJ/kg
Entalpi akhir kompresi, h_2	582.02	586.46	586.69	kJ/kg

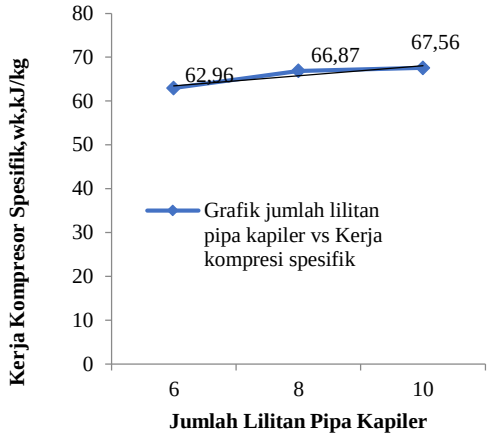
Entalpi akhir evaporasi/awal kompresi $h_3 = h_4$	256.81	257.91	258.73	kJ/kg
Entropi awal kompresi, $s_1=s_2s$	2.2161	2.223	2.2240	kJ/(kg.C)
Entropi akhir kompresi, s2	2.2177	2.2284	2.2248	kJ/(kg.C)
Produksi entropi, Δs	0.0016	0.0054	0.0008	kJ/(kg.C)
Dampak refrigerasi, qc = (h_1-h_2)	262.25	261.68	260.4	kJ/kg
Kalor spesifik yang dilepas kondensor, qk = (h_2-h_3)	325.21	328.55	327.96	kJ/kg
Kerja kompresi spesifik, wk= (h_2-h_1)	62.96	66.87	67.56	kJ/kg
Coefficient of Performance, COP = qc/wk	4.17	3.91	3.85	-

Pada Gambar 3, ditunjukkan pengaruh variasi jumlah lilitan pipa kapiler terhadap dampak regrigerasi (q_c), dimana terlihat bahwa dengan semakin banyak lilitan pipa kapiler terjadi sedikit penurunan dampak refrigerasi.



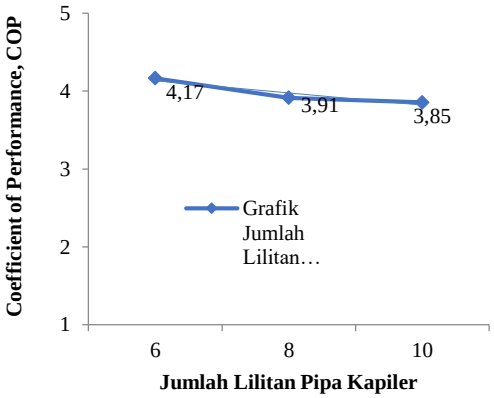
Gambar 3 Dampak refrigerasi (qc)

Pada Gambar 4, dengan semakin banyak lilitan pipa kapiler semakin meningkat kerja kompresi spesifik. Peningkatan kerja kompresi spesifik ini tampaknya diakibatkan oleh bergesernya tingkat keadaan akhir kompresi (titik 2) yang semakin ke kanan sehingga selisih entalpi antara akhir dan awal kompresi (h_2-h_1) yang menentukan kerja kompresi spesifik ini menjadi semakin besar.



Gambar 4 Kerja kompresi spesifik (wk)

Pada Gambar 5, menunjukkan variasi jumlah lilitan pipa kapiler terhadap kerja unit pendingin atau *Coefficient of Performance* (COP). Gambar 4, menunjukkan adanya kecenderungan semakin banyak lilitan pipa kapiler yang digunakan maka nilai koefisien prestasi mesin pendingin yang terjadi semakin menurun. Penyebab terjadinya penurunan nilai COP yakni kenaikan kerja kompresor yang terjadi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian variasi jumlah lilitan pipa kapiler terhadap *Coefisien Of Performance* (COP) dari AC mobil [11] yaitu, semakin sedikit jumlah lilitan pada pipa kapiler maka semakin tinggi nilai COP yang di dapat.



Gambar 5 Coefisien *of Performance* (COP)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen pengaruh jumlah lilitan pipa kapiler terhadap kerja unit pembuat es, untuk pipa kapiler dengan 6 lilitan memiliki COP sebesar 4,17, pipa kapiler 8 lilitan, COP sebesar 3,91, pipa kapiler 10 lilitan COP sebesar 3,85. Hal ini menunjukan bahwa nilai

COP akan menurun seiring dengan penambahan jumlah lilitan pipa kapiler.

DAFTAR PUSTAKA

[1] F. A. Pratama, W. H. Mitrakusuma, Muhamad Anda Falahuddin, and W. S. Ayu, "Kajian kinerja sistem refrigerasi menggunakan refrigeran R32, R22 dan R1270 menggunakan REFPROP," *Pros. 12th Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 472–477, 2021.

[2] B. W. Ziliwu, "Perhitungan Beban Pendinginan Pada Sistem Refrigerasi Air Blast Freezer," *JTT (Jurnal Teknol. Ter.*, vol. 6, no. 2, p. 163, 2020, doi: 10.31884/jtt.v6i2.291.

[3] T. K. Salim, "The Effect of the Capillary Tube Coil Number on the Refrigeration System Performance," *Tikrit J. Eng. Sci.*, vol. 19, no. 2, pp. 18–29, 2012, doi: 10.25130/tjes.19.2.03.

[4] L. D. Yuono, E. Budiyanto, and A. Ansori, "Analisa kerja alat uji prestasi mesin pendingin udara dengan kapasitas daya kompresor 1 PK," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 1, pp. 143–152, 2022, doi: 10.24127/trb.v11i1.2118.

[5] Marsianus, "Pengaruh Penggunaan Pendingin Udara," *Pengaruh*, vol. 1, pp. 1–14, 2014.

[6] I. P. Y. Aryawan, H. Wijaksana, and I. Nengah, "Study eksperimental performa pendingin," vol. 5, no. 3, pp. 1–5, 2016.

[7] R. Ufie, C. S. . Tupamahu, and M. M. Tohepaly, "Uji Pengaruh Panjang Pipa Kapiler Terhadap Kerja Unit Pembuat Es Skala Kecil Menggunakan Outdoor Ac 2 Pk," *ALE Proceeding*, vol. 5, pp. 106–109, 2022, doi: 10.30598/ale.5.2022.106-109.

[8] M. Luay, T. P. Pramudantoro, and A. R. Lukitobudi, "Kaji Eksperimental Pengaruh Variasi Diameter Pipa Kapiler Terhadap Performansi Coolbox Menggunakan R-134a," *J. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 1, no. 2, pp. 96–102, 2023.

[9] A. S. Darmawan and A. B. K. Putra, "Studi Eksperimen Pengaruh Dimensi Pipa Kapiler Pada Sistem Air Conditioning Dengan Pre-Cooling," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.20263.

[10] N. G. Yoga and A. M. Putri, "Studi Eksperimen Variasi Panjang Dan Diameter Pipa Kapiler Terhadap Kinerja Ac," *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 5, no. 2, pp. 85–89, 2018, doi: 10.21009/jkem.5.2.5.

[11] rahayu deny danar dan alvi furwanti Alwie, A. B. Prasetio, R. Andespa, P. N. Lhokseumawe, and K. Pengantar, "Tugas Akhir Tugas Akhir," 2020.

[12] M. Cavin, R. Muliawan, and A. Setyawan, "Kaji Eksperimental Pengaruh Variasi Panjang Pipa Kapiler Terhadap Performansi Pada Sistem Mini Brine Cooling Dengan Lshx Untuk Pembuatan Es Balok," pp. 154–158, 2023.