

PENGARUH PANJANG PIPA EVAPORATOR R-32 TERHADAP UNJUK KERJA UNIT PEMBUAT ES

Zulrizal Mulyadi¹, Cendy S.E Tupamahu² dan Benjamin G. Tentua³

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pattimura, Ambon 97234

E-mail: zulrizalmulyadi@gmail.com

²Jurusan Teknik Mesin Universitas Pattimura, Ambon 97234

Email : tupamahucendy@gmail.com

³ Jurusan Teknik Mesin Universitas Pattimura, Ambon 97234.

Email : tentuabenny@gmail.com

Abstrak Pada mesin refrigerasi siklus kompresi uap (SKU), pipa evaporator merupakan alat yang berfungsi menurunkan suhu udara atau cairan melalui proses penguapan refrigeran. Oleh sebab itu ukuran panjang pipa evaporator dapat mempengaruhi kinerja dari sebuah mesin pendingin. Penentuan panjang pipa evaporator yang paling optimal diperlukan untuk mencapai temperatur evaporasi yang lebih rendah, efek pendinginan, dan coefficient off performance (COP). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi panjang pipa evaporator terhadap unjuk kerja unit pembuat es menggunakan refrigerant R-32. Metode yang digunakan yaitu eksperimental dengan memvariasikan panjang pipa evaporator 12, 16 dan 20 meter yang di tempatkan didalam coolbox berkapasitas 100 Liter dan dicelupkan pada larutan brine 23% basis massa garam. Hasil perhitungan pengaruh panjang pipa evaporator terhadap unjuk kerja unit pembuatan es yaitu untuk panjang pipa evaporator 12 meter COP sebesar 3,412, panjang pipa evaporator 16 meter COP sebesar 3,401 dan untuk panjang pipa evaporator 20 meter COP sebesar 3,383. Dapat disimpulkan bahwa variasi panjang pipa evaporator dengan nilai COP optimal pada panjang pipa evaporator 12 meter dengan nilai COP sebesar 3,412 dengan nilai kerja kompresi (wk) sebesar 76,050 kJ/kg dan temperatur evaporasi sebesar 11,09°C dan semakin panjang pipa evaporator semakin menurun nilai COP.

Kata kunci: Panjang pipa, evaporator, unjuk kerja mesin pembuat es, R-32

Abstract In the vapor compression cycle (SKU) refrigeration machine, the evaporator pipe is a device that functions to reduce the temperature of air or liquid through the process of evaporation of refrigerant. therefore, the length of the evaporator pipe can affect the performance of a refrigeration machine. Determination of the most optimal evaporator pipe length is needed to achieve lower evaporation temperatures, cooling effects, and coefficient off performance (COP). This study aims to determine the effect of variations in evaporator pipe length on the performance of ice making units using R-32 refrigerant. The method used is experimental by varying the length of the evaporator pipe 12, 16 and 20 meters which are placed in a coolbox with a capacity of 100 liters and dipped in a brine solution of 23% salt mass base. The results of the calculation of the effect of the length of the evaporator pipe on the performance of the ice making unit, namely for the length of the evaporator pipe 12 meters COP of 3.412, the length of the evaporator pipe 16 meters COP of 3.401 and for the length of the evaporator pipe 20 meters COP of 3.383. It can be concluded that the variation in the length of the evaporator pipe with the optimal COP value at the length of the 12 meter evaporator pipe with a COP value of 3.412 with a compression work value (wk) of 76,050 kJ / kg and an evaporation temperature of 11.09 °C and the longer the evaporator pipe the COP value decreases.

Keywords: Pipe length, evaporator, ice making machine performance, R-32

1. PENDAHULUAN

Proses pendinginan ikan hasil tangkapan pada kapal nelayan besar dilakukan dengan cara memasukan hasil tangkapan ke “Cold Storage” sedangkan untuk kapal nelayan kecil menggunakan “es batu” sebagai media pendingin [1], dengan tujuan untuk mengkondisikan ikan hasil tangkapan agar berada pada suhu rendah (di bawah 0°C) dimana bakteri tidak aktif dan tidak dapat berkembang biak, sehingga proses pembusukan ikan tidak dapat berlangsung [2]. Secara nyata proses pengawetan ikan hasil tangkapan dengan proses pendinginan tidak hanya dilakukan selama dalam perairan laut akan tetapi juga dilakukan selama di darat untuk menjaga kondisi ikan tetap segar sampai kepada konsumen. Kendala yang sering dialami adalah penyediaan media pendingin (es batu) untuk daerah-daerah terpencil sehingga diperlukan adanya pabrik es mini (unit pembuat es) yang dapat memenuhi kebutuhan para nelayan akan media pendingin (es batu). Salah satu terobosan yang dapat ditempuh untuk memenuhi kebutuhan ini yakni pembuatan unit pembuat es dengan memanfaatkan outdoor AC (Air Condition) sebagai condensing unit yang dirangkai dengan evaporator yang ditempatkan di dalam kotak pendingin (coolbox) guna proses pembuatan es [3-4]. Siklus kompresi uap terdiri dari empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator. Pada mesin refrigerasi siklus kompresi uap (SKU), pipa evaporator merupakan alat yang berfungsi menurunkan suhu udara atau cairan melalui proses penguapan refrigeran. Oleh sebab itu ukuran Panjang pipa evaporator juga mempengaruhi kinerja dari sebuah mesin pendingin, pentingnya menentukan panjang pipa evaporator yang paling optimal untuk mencapai temperatur evaporasi yang lebih rendah, efek pendinginan, dan coefficient of performance (COP) yang tinggi [5].

Beberapa peneliti telah melakukan eksperimen terkait pengaruh pipa evaporator terhadap kinerja mesin pendingin antara lain Pengaruh Variasi Evaporator Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigerant R134a. Penelitian ini menggunakan variasi panjang pipa evaporator dengan panjang 1 meter, 2 meter, dan 3 meter. Parameter lainnya adalah panjang pipa kondensor 10 meter, panjang pipa kapiler 1,6 meter, dan tekanan freon 10 Psi. Berdasarkan hasil penagukuran dan perhitungan dari 3 jenis variasi pipa evaporator, dapat disimpulkan bahwa variasi dengan panjang pipa evaporator 1 meter mendapatkan hasil terbaik yaitu dengan suhu rendah rata-rata $0,92^{\circ}\text{C}$, efek

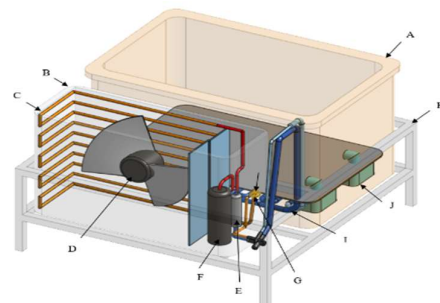
refrigerasi $113,53 \text{ kJ/kg}$, serta COP 2,62. Penelitian lainnya yaitu dengan perbandingan evaporator lemari pendingin yang menggunakan refrigerant R-22 dan R-134a. Penelitian berikutnya menyajikan metode perhitungan panjang pipa evaporator untuk mencapai temperatur kabin hingga -40°C dengan menggunakan refrigeran R404A. Kapasitas kompresor yang digunakan adalah 250 W, dan hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur tersebut dapat dicapai setelah 120 menit operasi. Perbedaan antara hasil perancangan dan pengujian tidak lebih dari 10% [6]. Selanjutnya menghitung panjang pipa evaporator pada chest freezer menggunakan refrigeran R290 agar temperatur kabin dapat mencapai di bawah -35°C . Hasil yang didapat Panjang pipa evaporator optimal adalah 3,57 meter, dengan diameter 9,52 mm. Dengan desain ini, freezer mencapai suhu -36°C dalam waktu 36 menit.

Mengacu pada penelitian yang telah diuraikan atas, maka penelitian ini dibuat untuk mendapatkan Pengaruh Variasi Panjang Pipa Evaporator Terhadap Unjuk Kerja Unit Pembuatan Es Menggunakan Refrigerant R-32. Penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan variasi panjang pipa evaporator dan efek pendinginan unit pembuatan es.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Pendingin dan Pengkondisian Udara Fakultas Teknik Universitas Pattimura. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi panjang pipa evaporator (12m, 16m, dan 20m). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kinerja unit pembekuan yang mencakup dampak refrigerasi (qc), kerja kompresi (wk) dan koefisien kinerja (COP).



Gambar 1. Skema alat uji

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 pipa evaporator dengan pipa kapiler.
2. Persiapkan pipa evaporator yang akan digunakan pada percobaan dalam hal ini pipa evaporator dengan panjang 12m, 16, dan 20m.
3. Sambungkan pipa evaporator dengan pipa kapiler.
4. Lakukan proses *charging* atau pengisian kembali refrigerant pada sistem pendingin unit pembuat es.
5. Lakukan pengukuran tekanan dengan menggunakan manifold gauge pada tekanan suction/tekanan rendah dan tekanan discharge/tekanan tinggi pada sistem pendingin unit pembuatan es.
6. 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).
7. Lakukan pencatatan data pada tiap panjang pipa evaporator yang digunakan pada sistem pendingin unit pembuatan es dengan selang waktu 10 menit.

Perhitungan Besaran Kerja Unit Pendingin

➤ Dampak Refrigerasi

Dampak refrigerasi dihitung sebagai selisih entalpi pada titik 1 dengan titik 4, yaitu:

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

➤ Kerja kompresi

Kerja kompresi aktual dihitung dengan rumus:

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

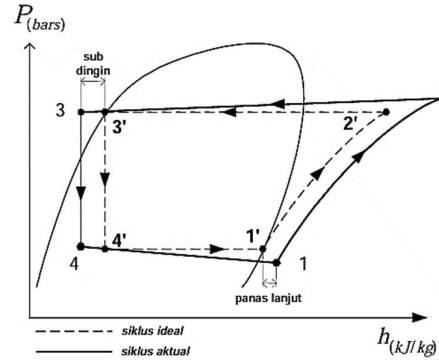
➤ Kalor yang dilepas oleh kondensor

Kalor yang dilepaskan oleh kondensor dihitung dengan dengan persamaan [9]:

$$q_k = (h_2 - h_3) \quad (3)$$

➤ Koefisien performansi (COP)

$$COP = \frac{q_c}{W_k} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$



Gambar 2. Diagram P-h siklus kompresi uap [7]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Penelitian

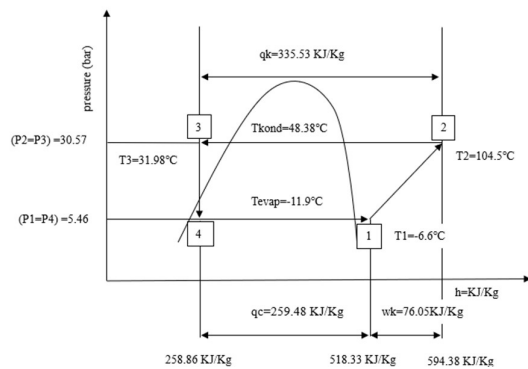
Tabel 1. Hasil penelitian

Variabel kerja mesin pendingin	Panjang pipa evaporator			satuan	keterangan
	12 m	16 m	20 m		
Tekanan kondensasi, $p_2=p_3$	443.43	431.92	426.34	Psia	sesuai hasil pengukuran
Tekanan evaporasi, $p_1=p_4$	79.20	77.16	75.54	Psia	sesuai hasil pengukuran
Penurunan tekanan ekspansi, $\Delta P = (P_3 - P_4)$	364.23	354.76	350.80	Psia	dihitung
Rasio Kompresi, $Cr = p_2/p_1$	5.60	5.60	5.64		dihitung
Temperatur evaporasi, T_{evap}	-11.9	-12.6	-13.6	°C	sesuai sifat refrigeran
Temperatur awal kompresi, T_1	-6.6	-5.7	-5.1	°C	sesuai hasil pengukuran
$\Delta T_{SH} = (T_{evap} - T_1)$	-5.25	-6.89	-8.50	°C	dihitung
Temperatur akhir kompresi, T_2	104.50	105.59	107.34	°C	sesuai hasil pengukuran
Temperatur kondensasi, T_{kond}	48.83	47.80	47.15	°C	sesuai hasil pengukuran
Temperatur akhir kondensasi, T_3	31.98	31.58	31.63	°C	sesuai hasil pengukuran
$\Delta T_{SC} = (T_{kond} - T_3)$	16.85	16.22	15.52	°C	dihitung
Entalpi akhir evaporasi/awal kompresi, h_1	518.33	519.85	521.74	kJ/Kg	sesuai sifat refrigeran
Entalpi akhir kompresi, h_2	594.38	596.87	599.7	KJ/Kg	sesuai sifat refrigeran
Entalpi akhir evaporasi/awal kompresi $h_3 = h_4$	258.85	257.88	257.99	KJ/Kg	sesuai sifat refrigeran
Entropi awal kompresi, $s_1=s_2s$	2.2207	2.2301	2.2402	KJ/(K g.C)	sesuai sifat refrigeran
Entropi akhir kompresi, s_2	2.2218	2.2319	2.2411	KJ/(K g.C)	sesuai sifat refrigeran
Produksi entropi, Δs	0.0011	0.0018	0.0009	KJ/(K g.C)	dihitung
Dampak refrigerasi, $q_c = (h_1 - h_4)$	259.5	262.0	263.8	KJ/Kg	dihitung

3.2 Pembahasan

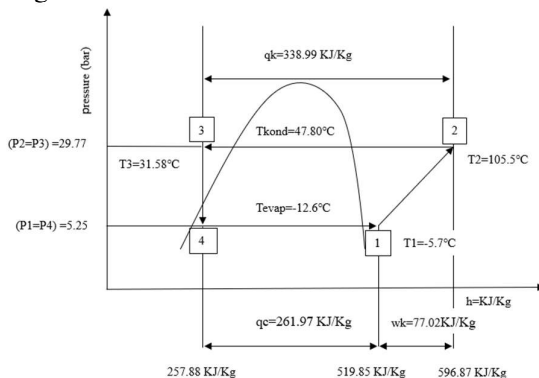
A. Pengaruh Panjang Pipa Evaporator Terhadap Kondisi Kerja Unit Pendingin

Pengaruh panjang pipa evaporator terhadap kondisi kerja unit pendingin siklus kompresi uap yang di teliti, secara keseluruhan dapat di telusuri sesuai perubahan sifat-sifat termodinamika refrigerant R-32 yang di gunakan pada tingkat keadaan 1 (akhir evaporasi/awal kompresi), tingkat keadaan 2 (akhir kompresi/awal kondensasi), tingkat keadaan 3 (akhir kondensasi/awal ekspansi) dan tingkat keadaan 4 (akhir ekspansi/awal evaporasi). untuk penelitian dengan panjang pipa evaporator 12m, 16m, dan 20m yang diteliti, masing-masing ditunjukkan pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.



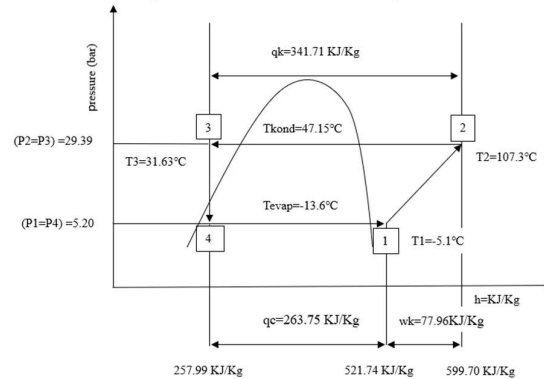
Gambar 3. Diagram P-h untuk panjang pipa evaporator 12 m

Berdasarkan Gambar 3 diatas, menunjukkan nilai tekanan $P_1 = 5,46$ bar dan $P_2 = 30,57$ bar, dengan suhu $T_1 = -6,6^\circ\text{C}$, $T_2 = 104,5^\circ\text{C}$, $T_3 = 31,98^\circ\text{C}$, $T_{\text{kond}} = 48,38^\circ\text{C}$ dan $T_{\text{evap}} = -11,9^\circ\text{C}$. Nilai entalpi $h_1 = 518,33$ kJ/kg, $h_2 = 594,38$ kJ/kg dan $h_3 = 258,86$ kJ/kg sehingga di dapatkan nilai $q_k = 335,53$ kJ/kg, $q_c = 259,48$ kJ/kg dan $w_k = 76,05$ kJ/kg.



Gambar 4. Diagram P-h untuk panjang pipa evaporator 16 m

Gambar 4, menunjukan data penggunaan pipa evaporator dengan panjang 16 m, nilai tekanan $P_1 = 5,25$ bar dan $P_2 = 29,77$ bar, dengan suhu $T_1 = -5,7^\circ\text{C}$, $T_2 = 105,5^\circ\text{C}$, $T_3 = 31,58^\circ\text{C}$, $T_{\text{kond}} = 47,80^\circ\text{C}$ dan $T_{\text{evap}} = -12,6^\circ\text{C}$ dari data tersebut, diperoleh nilai entalpi $h_1 = 519,85$ kJ/kg, $h_2 = 596,87$ kJ/kg dan $h_3 = 257,88$ kJ/kg sehingga nilai $q_k = 338,99$ kJ/kg, $q_c = 261,97$ kJ/kg dan $w_k = 77,02$ kJ/kg.

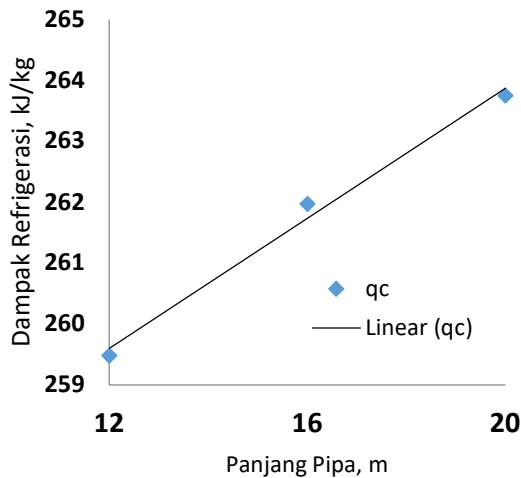


Gambar 5. Diagram P-h untuk panjang pipa evaporator 20 m

Gambar 5. Menunjukkan perolehan data variasi panjang pipa evaporator 20 m. Tekanan $P_1 = 5,20$ bar dan $P_2 = 29,39$ bar, dengan suhu $T_1 = -5,1^\circ\text{C}$, $T_2 = 106,1^\circ\text{C}$, $T_3 = 31,63^\circ\text{C}$, $T_{\text{kond}} = 47,15^\circ\text{C}$ dan $T_{\text{evap}} = -13,6^\circ\text{C}$. berdasarkan data tersebut, diperoleh nilai entalpi $h_1 = 521,75$ kJ/kg, $h_2 = 599,70$ kJ/kg dan $h_3 = 257,99$ kJ/kg sehingga nilai $q_k = 341,71$ kJ/kg, $q_c = 263,75$ kJ/kg dan $w_k = 77,96$ kJ/kg.

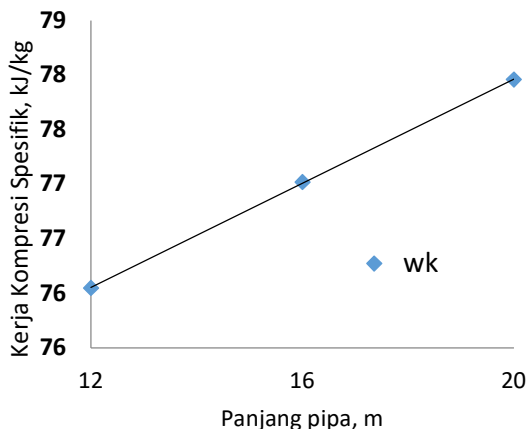
➤ Pengaruh Terhadap Variabel Kerja Siklus

Gambar 6, menunjukkan pengaruh panjang pipa evaporator terhadap efek refrigerasi (q_c). Nampak bahwa semakin panjang pipa evaporator, efek refrigerasi sedikit meningkat. Meskipun peningkatan ini bervariasi, terlihat bahwa panjang pipa evaporator mempengaruhi proses evaporasi, yang mengakibatkan peningkatan temperatur evaporasi dan berdampak pada efek refrigerasi.



Gambar 6. Grafik pengaruh panjang pipa evaporator terhadap dampak refrigerasi, q_c

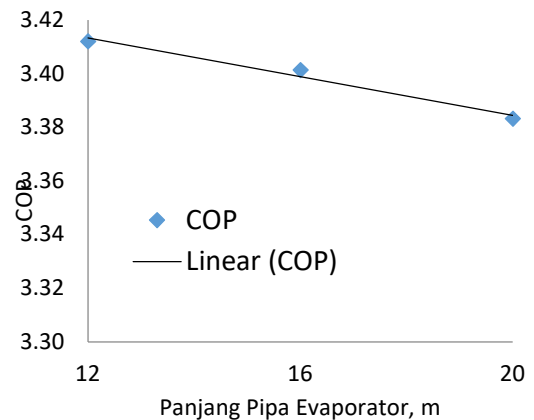
Gambar 7, menunjukkan pengaruh panjang pipa evaporator terhadap kerja kompresi spesifik (w_k). Terlihat bahwa dengan bertambahnya panjang pipa evaporator, kerja kompresi spesifik juga meningkat. Rata-rata peningkatan ini sebesar 76,99 %. Hal ini terjadi oleh pergeseran titik akhir kompresi (titik 2) ke arah kanan, sehingga selisih entalpi antara awal dan akhir kompresi (h_2-h_1), yang menentukan kerja kompresi spesifik, menjadi lebih besar..



Gambar 7. Grafik pengaruh panjang pipa evaporator terhadap kerja kompresi, w_k

Gambar 8, menunjukkan pengaruh panjang pipa evaporator terhadap *Coefficient Of Performance* (COP). Tampak semakin panjang pipa evaporator, COP semakin menurun, dengan rata-rata penurunan sekitar 3,40%. Sesuai dengan rumus COP, penurunan ini disebabkan oleh menurunnya efek

refrigerasi dan meningkatnya kerja kompresi spesifik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 8. Grafik pengaruh panjang pipa evaporator terhadap COP

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian pengaruh variasi panjang pipa evaporator terhadap karakteristik siklus kompresi uap yang dikaji dapat disimpulkan sebagai berikut: Pengujian panjang pipa evaporator terhadap nilai COP dengan panjang pipa evaporator yang digunakan 12 meter mendapatkan nilai COP sebesar 3,412 dengan nilai kerja kompresi (w_k) sebesar 76,050 kJ/kg, sedangkan panjang pipa evaporator 16 meter mendapatkan nilai COP sebesar 3,401 dengan nilai kerja kompresi (w_k) sebesar 77,020 kJ/kg, dan untuk panjang pipa evaporator 20 meter mendapatkan nilai COP sebesar 3,383 dengan nilai kerja kompresi sebesar 77,960 kJ/kg. Dapat disimpulkan bahwa nilai COP akan semakin menurun seiring dengan penambahan panjang pipa evaporator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wibowo Kusbandono, PK Purwadi. “COP Mesin Pendingin Refrigeran Sekunder”. Jurnal Penelitian. Vol. 19, No. 1, pp. 79-86, 2015.
- [2] R. Ufie. Cendy S.E Tupamahu Dan Muhammad Mas’ud Tohepaly, “Uji Pengaruh Panjang Pipa Kapiler Terhadap Kerja Unit Pembuat Es Skala Kecil Menggunakan Outdoor Ac 2 Pk. Seminar Nasional“, Archipelago Engineering, 2022

- [3] Cendy S.E Tupamahu., B.G. Tentua., “Variasi Lilitan Pipa Kapiler Terhadap Kerja Unit Pembuat Es Menggunakan Outdoor AC 1 PK”. Teknobiz Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin 14 (3), 202-206, 2024
- [4] Suyanto, Ari Setiawan, “Pengaruh Variasi Evaporator Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pendingin Menggunakan Refrigerant R134a”, Marine Science and Technology Journal
- [5] Sumeru, K., Markus, M., Pratama, N. F., Muliawan, R., & Hikmat, Y. P. (2023). Metode Praktis Perancangan Panjang Pipa Evaporator pada Mini Freezer Bertemperatur Rendah Menggunakan Refrigeran R404A. Jurnal Rekayasa Mesin, 18(1), 9–18.
- [6] Sumeru, K., Nugraha, R., Badarudin, A., Simbolon, L. M., Sukri, M. F. bin, & Yuningsih, N. (2023). *Designing of Evaporator Length in Very Low Temperature Chest Freezer by using Environmentally Friendly Refrigerant R290*. Jurnal Polimesin, 21(5)
- [7] Ufie, R., Tupamahu, C., Sarwuna, S., & Frans, J. (2021). Kaji Performansi Refrigeran R-290, R-32, Dan R-410a Sebagai Alternatif Pengganti R-22. ALE Proceeding, 4, 133-139. <https://doi.org/10.30598/ale.4.2021.133-139>
- [8] Cendy S.E Tupamahu, R.Ufie.,Ajit Tuasikal., “Kaji teoritik Kebutuhan Es Bagi Kebutuhan Pendinginan Ikan Cakalang Segar Sesuai Massa, Suhu Dan Lama Waktun Penyimpanan”. Jurnal ,Tek Mesin, Elektro, Informatika, Kelautan dan Sains, 3 (1), 17-27, 2023
- [9] Faozan Imam, “Analisi Perbandingan Evaporator Kulkas (Lemari Es) Dengan Menggunakan Refrigerant R-22 Dan R-134a“, Jurnal Teknik Meisn, Vol. 04, No. 3, Pp. 99-103, 2015