

Pengaruh Karakteristik Dimensi Pipa Kapiler Terhadap *Coefficient of Performance (COP) Trainer Air Conditioner (AC) Split*I Wayan Sutarsa^{1,*}, A.A. Krisna Wira Putra¹, I Putu Agus Haryawan¹¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali,

*Corresponding author. E-mail: wayansutarsa@pnb.ac.id

Submisi: 21 Agustus 2023; Penerimaan: 8 Desember 2023

ABSTRAK

Trainer air conditioner (AC) split adalah salah satu perangkat praktik yang digunakan dalam praktikum yang mempelajari sistem pengkondisian udara dalam ruangan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengembangkan peralatan laboratorium guna mempermudah mahasiswa dalam memahami sistem pengkondisian udara ruangan selama praktikum. Peralatan uji ini mengoprasikan siklus kompresi uap yang terdiri dari empat komponen utama yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi, dan evaporator. Metode eksperimen digunakan dalam penelitian ini dengan membandingkan dimensi pipa kapiler yang meliputi diameter dalam (ID) dan panjang pipa kapiler (L) sebagai variabel bebas, sementara Coefficient of Performance (COP) dari sistem refrigerasi sebagai variabel terikat. Untuk perhitungan dimensi pipa kapiler, digunakan program aplikasi Cap Tube 1.0.8.0 dan hasil perhitungan kemudian disesuaikan dengan ukuran pipa kapiler yang tersedia di pasaran. Hasil dari perhitungan dimensi pipa kapiler adalah; untuk pertama kali ID= 0,054 inch dengan L= 0,0824 meter; untuk kedua kalinya ID= 0,064 inch dengan L= 2,583 meter; dan untuk ketiga kalinya ID= 0,070 inch dengan L= 4,748 meter. Pengujian dilakukan selama satu jam dengan interval waktu lima menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa COP dari pipa kapiler pertama adalah 3,57; kedua 3,70 dan ketiga 3,74. Oleh karena itu, dari ketiga dimensi pipa kapiler yang diuji yang paling baik adalah dengan nilai COP tertinggi, yaitu pipa kapiler ketiga dengan (ID = 0,070 inch, L = 4,748 meter) yaitu 3,74. Penggunaan pipa kapiler ini membuat trainer AC split bekerja paling optimal.

Kata kunci: trainer AC split; dimensi pipa kapiler

PENDAHULUAN

Kendala yang kerap dihadapi oleh Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) dan para Laboran di laboratorium adalah keterbatasan peralatan dan bahan yang diperlukan untuk mendukung kegiatan praktikum, dengan harga yang cenderung tinggi, situasi ini mendukung PLP dan laboran untuk mengembangkan ide-ide kreatif dalam memodifikasi alat-alat sederhana dengan biaya yang lebih terjangkau, tetapi tetap mempertahankan prinsip kerja yang efektif, sehingga dapat digunakan dalam pelaksanaan praktikum. Pembuatan *air conditioner (AC) Trainer Unit* ini diinisiasi dengan tujuan untuk membantu laboratorium dalam mengatasi keterbatasan peralatan

yang sering dihadapi selama praktikum berlangsung. Dengan adanya perangkat ini, diharapkan dapat memperbanyak pengalaman mahasiswa dan meningkatkan kualitas pembelajaran di laboratorium.

AC split menggunakan sistem siklus kompresi uap yang terdiri terdiri dari empat komponen utama, yaitu kompresor, kondensor, alat ekspansi dan evaporator (Sugita, 2016). AC split terdiri dari *indoor unit* dan *outdoor unit*, keduanya dihubungkan oleh dua buah pipa yang berbeda diameter dan terisolasi. Indoor unit dipasang didalam ruangan yang berisi evaporator dan blower yang berfungsi menyerap kalor udara dalam ruangan sehingga udara

menjadi lebih dingin. *Outdoor* unit dipasang diluar ruangan terdiri dari kompresor, kondensor, kipas kondensor, dan alat ekspansi (pipa kapiler) yang berfungsi membuang kalor yang tadi diserap dari dalam ruangan (Stoecker, 1996).

AC *Trainer Unit* merupakan perangkat pengkondisian udara yang digunakan sebagai alat praktikum di Laboratorium Tata Udara, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bali, menggunakan refrigeran R410A sebagai fluida kerjanya (*refrigeran*). Sistem kerja AC *Trainer Unit* didasarkan pada siklus kompresi uap, dimana menggunakan komponen utama salah satunya adalah alat ekspansi. Alat ekspansi yang digunakan adalah pipa kapiler. Fungsi dari pipa kapiler adalah menurunkan tekanan refrigeran dari sisi tekanan tinggi ke sisi tekanan rendah. Fungsi ini sangat vital yang menghubungkan dua sisi tekanan berbeda. Akibat dari penurunan tekanan ini temperatur refrigeran di indoor menjadi turun sehingga bisa menyerap panas di dalam ruangan (Khofifah dkk, 2023). Pada pipa kapiler penurunan tekanan refrigeran dipengaruhi dari dimensi pipa kapiler yaitu diameter dan panjangnya (Mastur dkk, 2020).

Adapun tujuan pengujian ini adalah untuk mengembangkan peralatan praktiuk untuk mempelajari sistem pengkondisian udara dalam ruangan

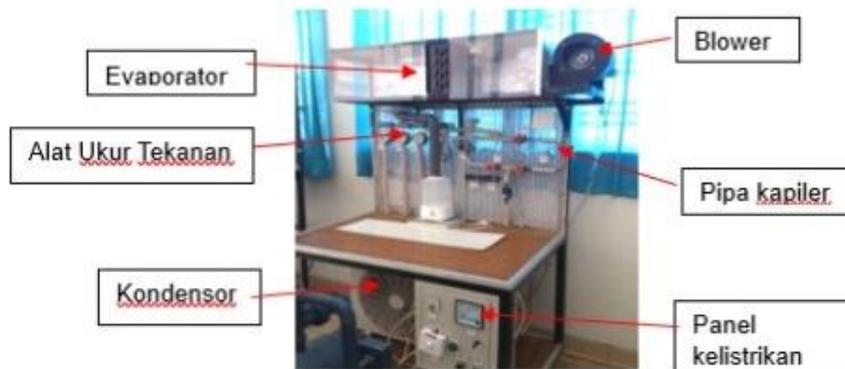
Mengetahui nilai *Coefficient of Performance (COP)* dan karakteristik dimensi pipa kapiler yang paling optimal digunakan pada AC *Trainer Unit* ini. Hal ini menjadi focus penting dalam upaya meningkatkan efisiensi dan kinerja dari peralatan praktikum yang ada.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Bahan penelitian yang digunakan adalah AC *Trainer unit* dengan kapasitas 1 PK, refrigeran yang dipakai R410A. Adapun sistem pengistalasian AC *Trainer Unit* seperti pada Gambar 1.

Alat ekspansi yang di gunakan dalam AC *Trainer unit* adalah Pipa kapiler, berperan penting dalam mengekspansikan cairan refrigeran dari tekanan tinggi di kondensor ke tekanan rendah di evaporator. Selain itu, alat ini juga bertugas mengatur aliran refrigeran ke evaporator dengan efisien tinggi, memungkinkan proses penguapan yang lebih cepat dan kemampuan untuk menyerap panas dari ruangan dengan efektif (Arora, 2000). Yang bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Sistem instalasi AC Trainer Unit



Gambar 2. Pipa Kapiler AC Trainer Unit

Didalam perhitungan pemilihan pipa kapiler, menggunakan aplikasi (*software*) *CapTube* 1.0.8.0, karena di dalam aplikasi ini mendukung untuk penggunaan *refrigeran* R410A yang dipakai pada AC Trainer Unit.

Proses perhitungan menggunakan aplikasi *CapTube* 1.0.8.0 adalah dengan memasukkan nilai temperatur kondensasi (*condensing temperature*), temperatur evaporasi (*evaporating temperature*), derajat *subcooling*, derajat *superheat*, dan *Circuit duty* (kapasitas refrigerasi) (Susila dkk.2022). Dimana desain perancangannya adalah :

- Temperatur evaporasi = 4°C
- Temperatur kondensasi = 45°C
- Derajat *superheat* = 7°C
- Derajat *subcooling* = 5°C

Setelah memasukkan masing-masing nilai tadi bisa di kalkulasi, sehingga mendapatkan hasil dimensi pipa kapiler yang disarankan. Dari dimensi pipa kapiler yang disarankan nanti dipilih 3 dimensi yang berbeda. 3 dimensi tadi disesuaikan dengan dimensi pipa kapiler yang tersedia di pasaran.

Selain aplikasai *CapTube* 1.0.8.0, digunakan aplikasi *Coolpack* untuk mengGambarkan simulasi mesin pendingin dan tata udara. *Software* ini digunakan untuk menganalisis siklus dan perhitungan beban pendinginan

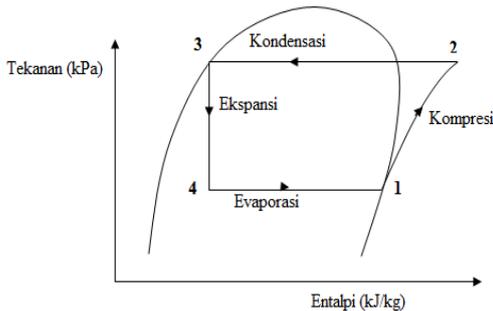
(Mustofa, dkk,2021). Didalam *software coolpack* terdapat beberapa jenis refrigeran yang dapat kita lakukan analisis. Berikut adalah tampilan dari *software coolpack*.

Tabel 1. Nilai ODP dan GWP Refrigeran

Refrigerant Type	Name	ODP	GWP (100-year horizons)
HCFC	R22	0,055	1700
HFC	R404A	0	3784
HFC	R410A	0	1975
HC	R290	0	20

Refrigeran yang di pakai dalam penelitian ini adalah R-410A, refrigeran ini aman bagi lingkungan dan tidak merusak Ozon karena tidak mengandung *chlorine* (salah satu unsur yang dapat merusak ozon) (Jadhav dkk 2015).

Coefficient of Performance (COP) yang merupakan perbandingan antara kapasitas pendinginan dengan daya kompresor menjadi salah satu indikator yang digunakan untuk menilai kinerja mesin pendingin (Moran, 2006). Nilai COP ini diukur untuk mengetahui seberapa besar penggunaan energi listrik yang dibutuhkan oleh kompresor untuk melakukan suatu proses pendinginan (Zhang dkk., 2017).



Gambar 5. P-h Diagram dengan Siklus Kompresi Uap

Perhitungan yang digunakan didalam menentukan COP AC Trainer Unit ini adalah:

Efek Refrigerasi (ER); merupakan jumlah yang diserap oleh refrigeran di dalam evaporator untuk setiap satu satuan massa refrigeran, terjadi pada proses 4 ke 1 seperti pada Gambar 5.

$$ER = h_1 - h_4 \text{ (kJ/kg)} \quad 2.1$$

Kerja Kompresi (w_k); proses kerja yang dibutuhkan pada proses kompresi refrigeran di dalam kompresor, besarnya sama dengan selisih entalpi pada proses 1 ke 2.

$$w_k = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)} \quad 2.2$$

Coefficient of Performance (COP); perbandingan antara efek refrigerasi (ER) sistem dengan kerja kompresi (w_k) (Oyedepo dkk, 2017).

$$COP = ER / w_k \quad 2.3$$

Pada penelitian ini digunakan dua variabel yaitu variabel bebas (dimensi pipa kapiler) dan variabel terikat *Coefficient of Performance* (COP), dan data yang di ambil langsung pada perangkat AC Trainer Unit. Alat ukur

yang digunakan untuk memperoleh data: *Charging manifold, Pressure gauge, Tang Amper, Avometer, Stopwatch, Display dan Thermocouple type K.*

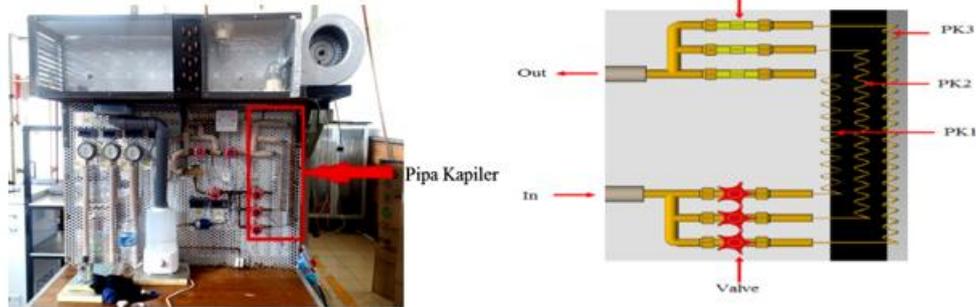
Data diambil dengan cara mengukur dan mencatat langsung variabel-variabel yang diperlukan yang meliputi : Temperatur (T), Tekanan (P), Arus (I), Tegangan (V). Pengambilan data dilakukan dalam 5 menit selama 2 jam dalam satu kali pengujian, pengujian dilakukan sebanyak 3 kali dan untuk analisisnya , data tersebut dirata – ratakan. Dari data yang di dapatkan digunakan untuk menghitung Efek Refrigerasi (ER) dan COP

Prosedur Pengujian

Mempersiapkan peralatan dan bahan yang diperlukan dalam pengumpulan data dan pengujian, Pada pemilihan pipa kapiler menggunakan *software CapTube 1.0.8.0* untuk AC Trainer Unit dipilih 3 dimensi pipa kapiler yang berbeda , dari hasil perhitungan akan disesuaikan dengan ukuran pipa kapiler yang ada di pasaran (Susila dkk 2022). Hasil dimensi pipa kapiler yang didapatkan yaitu pertama (ID) 0,054 inch dengan (L) 0,0824 meter; kedua (ID) 0,064 inch dengan (L) 2,583 meter; dan ketiga (ID) 0,070 inch dengan (L) 4,748 meter, selanjutnya dilakukan proses pemasangan ketiga dimensi pipa kapiler tersebut pada AC Trainer Unit. Pemasangan pipa kapiler dilakukan secara paralel dan aliran refrigerant nya di atur oleh katup refrigerant. Hasil dari pemasangan pipa kapiler tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 2. Data Pengujian dengan 3 Dimensi Pipa Kapiler

PK	Kondisi Refriegran								Kompresor			
	Tekanan (Psig)				Temperatur (°C)				Teganga n (Volt)	Arus (Ampere)	cos φ	I tot
	P1	P2	P3	P4	T1	T2	T3	T4				
1	99	391	389	103	9.4	84.9	40.1	2.5	229	3.6	0.94	4.2
2	103	390	388	108	10.0	83.4	40.0	4.6	229	3.5	0.94	4.1
3	105	390	389	110	9.9	82.8	40.0	4.5	229	3.5	0.94	4.1



Gambar 6. Pemasangan pipa kapiler pada AC Trainer Unit

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Pengujian

Berdasarkan pengujian yang dilakukan pada ketiga dimensi pipa kapiler (pk) pada AC Trainer Unit didapatkan data hasil pengukuran yang telah dirata-ratakan, selanjutnya digunakan untuk menghitung beberapa besaran yang diperlukan dalam proses analisa. Adapun hasilnya seperti Tabel 2.

Pembahasan

Dari data hasil pengujian yang telah dirata-ratakan dimasukkan ke *software coolpack* untuk mendapatkan nilai entalpi dari empat titik. Setelah mendapatkan nilai entalpi dari keempat titik tersebut selanjutnya dilakukan proses perhitungan untuk mendapatkan nilai COP. Berdasarkan data pada Tabel 2, kemudian diplot ke dalam diagram p-h refrigerant R-410A untuk menghitung entalpi (h) pada masing-masing *state*. Hasilnya digunakan untuk menghitung EER dan COP sistem.

Berikut adalah salah satu perhitungan menggunakan data pipa kapiler (ID = 0,054", L = 0,825m) untuk mendapatkan nilai COP. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengubah tekanan pada P2 dan P4 dari *psig* menjadi ke *bar abst* (bar a) untuk dapat di masukan ke dalam *software coolpack*. Perhitungannya sebagai berikut:

$$P2 = 390,58 \text{ Psig} : 14,5 = 26,9 \text{ bar g}$$

$$= 26,9 \text{ bar g} + 1 \text{ bar}$$

$$= 27,9 \text{ bar a}$$

$$P4 = 103 \text{ Psig} : 14,5 = 7,10 \text{ bar g}$$

$$= 7,10 \text{ bar g} + 1 \text{ bar}$$

$$= 8,10 \text{ bar a}$$

Selanjutnya membuka aplikasi *coolpack* kemudian klik *refrigerant utilities* lalu klik *Log P-h diagram*, muncul pilihan jenis refrigeran yang digunakan, pilih R410A. sehingga muncul P-h diagram untuk R410A.

Berikutnya klik *cycle* untuk memasukan data, dimana data yang dimasukan adalah tekanan P2 dan P4 yang sudah dikonversi ke bar a, kemudian masukan temperatur *superheat*, *subcooling*, *drop pressure* untuk evaporator yaitu P4 – P1, *drop pressure* kondensor yaitu P2 – P3. Data *drop pressure* juga dikonversi ke bar a seperti langkah mengkonversi P2 dan P4. Setelah memasukan data dapat di *draw cycle*.

Setelah memasukan data dan *men-draw cycle* muncul siklus kompresi uap sistem pada p-h diagram. Dari siklus p-h diagram tersebut kita dapat mengetahui nilai entalpi yang diperlukan untuk menghitung nilai COP. Dari p-h diagram didapatkan nilai entalpi, dimana nilai entalpi yang didapatkan adalah :

$$h_1 = 432,74 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 478,11 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 270,82 \text{ kJ/kg}$$

$$h_4 = 270,82 \text{ kJ/kg}$$

Dari data entalpi yang didapatkan selanjutnya dilakukan perhitungan untuk

mengetahui ER, w_k , q_k dan COP ditambah perhitungan daya yang dibutuhkan kompresor dimana perhitungannya sebagai berikut:

a $ER = h_1 - h_4$
 $= 432,74 - 270,82 \text{ kJ/kg}$
 $= 161,92 \text{ kJ/kg}$

b $w_k = h_2 - h_1$
 $= 478,11 - 432,74 \text{ kJ/kg}$
 $= 45,37 \text{ kJ/kg}$

c $q_k = h_2 - h_3$
 $= 478,11 - 270,82 \text{ kJ/kg}$
 $= 207,29 \text{ kJ/kg}$

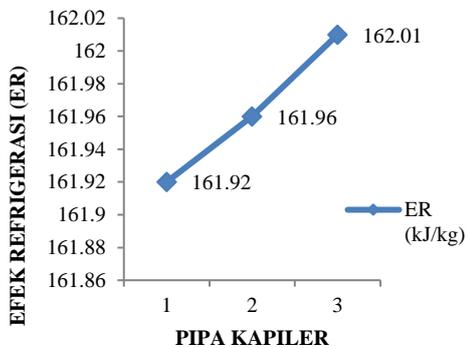
d $COP = ER/w_k$
 $= 161,92/45,37 \text{ kJ/kg}$
 $= 3,57 \text{ kJ/kg}$

e Daya kompresor
 $= V \cdot I \cdot \cos$
 $= 229.0 \text{ V} \cdot 3,6 \text{ A} \cdot 0,94$
 $= 774,93 \text{ Watt}$

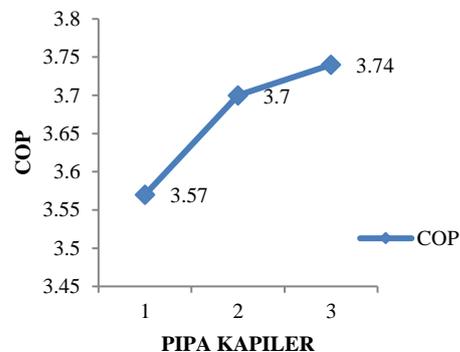
Pada pipa kapiler kedua dan ketiga dilakukan perhitungan sama seperti diatas. Data hasil perhitungan semua pipa kapiler dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan

Pipa Kapiler		Entalpi (kJ/kg)				ER (kJ/kg)	w_k (kJ/kg)	COP	Daya kompresor (Watt)
ID (inch)	Panjang (m)	h_1	h_2	h_3	h_4				
0,054	0,824	432.7	478.1	270.8	270.8	161.9	45.4	3.6	774.9
0,064	2,583	432.7	476.5	270.8	270.8	161.9	43.8	3.7	753.4
0,070	4,748	432.8	475.7	270.8	270.8	161.7	43.2	3.7	753.4



Gambar 9. Grafik vareasi pipa kapiler – Efek Refrigerasi



Gambar 10. Grafik vareasi pipa kapiler – COP

Dari grafik Gambar 9 dapat dilihat bahwa Efek Refrigerasi (ER) dari pipa kapiler no 3 mempunyai nilai terbesar yaitu 162,01, ini mengindikasikan pipa kapiler no 3 bisa menyerap kalor/panas paling banyak di evaporator.

Dari grafik Gambar 10 untuk COP sistem dari ketiga pipa kapiler yang mempunyai nilai paling tinggi yaitu pipa kapiler no 3 yaitu 3,74, hal ini berarti sistem dengan diameter dalam (ID = 0,070 inch), panjang (L = 4,748 meter) bisa bekerja paling optimum.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian Pengaruh Karakteristik Dimensi Pipa Kapiler Terhadap *Coefficient of Performance* Trainer AC Split di Laboratorium Tata Udara yaitu :

1. AC Trainer Unit terbukti dapat beroperasi secara optimal ,dan siap untuk digunakan sebagai alat praktikum dalam mata kuliah Tata Udara Terapan di Laboratorium Tata

- Udara Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bali.
2. Berdasarkan hasil pengujian, nilai *Coefficien of Performance* (COP) dari tiga jenis pipa kapiler yang diujikan menunjukkan vareasi, dimana nilai COP dari pipa kapiler pertama adalah 3,57; pipa kapiler kedua adalah 3,70 dan pipa kapiler ketiga adalah 3,74. Dari ketiga dimensi pipa kapiler yang digunakan pada AC *trainer unit* yang memberikan kinerja terbaik adalah dengan nilai COP tertinggi, yaitu pipa kapiler ketiga dengan (ID = 0,070 inch, L = 4,748 meter) yang mencapai COP sebesar 3,74.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Arora, C. P. 2000. Refrigeration and Air Conditioning. Second Edition. Tata McGraw-Hill Publishing Ltd.: New York.
- Jadhav, S. S.; K. V. Mali. 2015. "Evaluation of a Refrigerant R410A as Substitute for R22 in Window Air-conditioner". IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), 23–32.
- Khofifah, A. A., Windy Hermawan Mitrakusuma, Annisa Syafitri Kurniasetiawati. 2023. "Penentuan Panjang Pipa Kapiler Menggunakan Metode Analisis Komputasi Drop Tekanan". Prosiding The 14th Industrial Research Workshop and Nasional Seminar, Bandung, Juli 2023.
- Mastur, Nana Supriyana, Sutarno. 2020. "Studi Eksperimen Pengaruh Beban Dan Diameter Pipa Kapiler Terhadap Coefficien Of Performance (COP) Pada Mesin Pendingin". Jurnal Intuisi Teknologi dan Seni (ITEKS), Edisi 12 No.1.
- Moran, Michael J., Shapiro, Howard N. 2006. "Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 5th Edition". John & Wiley Inc.: US.
- Mustofa, K., Yohanes Primadiyono. 2021. "Pengaruh Perubahan Dimensi Filter-Drier Dan Pipa Kapiler Terhadap Coefficient Of Performance (COP) Mesin Pendingin Kulkas 2 Pintu". Jurnal Teknologi Terapan (JTT), Volume 7, Nomor 1, Maret 2021.
- Oyedepo, S. O., Fagbenle, R. O., Babarinde, T. O., Odunfa, K. M., Leramo, R. O., Hunakin, O. S., Ajayi, O. O., Babalola, P. O., Kilanko, O., Oyegbile, A. D., & Lawson-Jack, D. 2017. "A Comparative Study on The Performance R600A and LPG With varying Refrigerant Charge and Capillary Tube Length". International Journal of Energy for a Clean Environment, 18(4), 287–302.
- Stoecker, W. F. 1996. Refrigerasi dan Pengkondisian Udara Edisi Kedua. Erlangga: Jakarta.
- Sugita, I Wayan. 2016. "Studi Eksperimental Kinerja Pipa Kalor Fleksibel". Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ, Edisi terbit III, Oktober 2016, 142-148.
- Susila, I. D. M., Daud Simon Anakottapary, I Wayan Adi Subagia, Putu Wijaya Sunu, dan I Nengah Ardita. 2022. "Penggunaan refrigeran hidrokarbon MC-134 pada mesin freezer untuk pedagang es krim keliling". Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology, 3, 48-52.
- Susila, I. D. M., I Nengah Ardita, I. M. Rasta, Wijaya Sunu. 2020. "Uji Eksperimental Performansi AC jenis Ekspansi Langsung Dengan Memvariasikan Ukuran Pipa Kapiler". Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) ke-6 No.1. ISAS Publishing.
- Zhang, W., Wang, Y., Lang, X., & Fan, S. 2017. "Performance analysis of hydrate-based refrigeration system". Energy Conversion and Management, 146, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.091>