



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <https://ojs2.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Penentuan ukuran pipa kapiler dengan program aplikasi CapSel Versi 1.0 pada AC trainer unit jenis ekspansi langsung dengan R-410A

I Dewa Made Susila^{1*}, I Wayan Adi Subagia¹ dan I Made Rasta²

¹ Program Studi Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia

² Program Studi Teknologi Rekayasa Utilitas MEP, Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Kuta Selatan, Badung, Bali 80364, Indonesia
*Email: dewamadesusila@pnb.ac.id

Abstrak

Penggunaan mesin pengkondisian udara saat ini paling banyak menggunakan siklus kompresi uap. Salah satu mesin pengkondisian udara tersebut adalah AC jenis ekspansi langsung. Pada AC jenis ini udara langsung didinginkan oleh refrigeran. Udara dingin dialirkan melalui saluran udara untuk dimasukkan ke dalam ruangan yang akan didinginkan. Refrigeran yang digunakan adalah R-410A yang tidak mengandung unsur khlor sehingga tidak menyebabkan penipisan lapisan ozon karena mempunyai ODP = 0. Trainer unit jenis ekspansi langsung ini menggunakan alat ekspansi berupa pipa kapiler dan TXV jenis external equalizer. Untuk menentukan ukuran pipa kapiler pada pada trainer unit jenis ekspansi langsung menggunakan program aplikasi CapSel versi 1.0. Dengan menggunakan data-data input jenis refrigeran R-134A, kapasitas refrigerasi 2.637,6 Watt (9000 BTU/jam), temperatur evaporasi 5 °C, temperatur kondensasi 47 °C, dan temperatur gas balik 12 °C, diperoleh data ukuran pipa kapiler yang disarankan yaitu panjang pipa kapiler 1,47 m dengan diameter dalam 2,50 mm. Pengujian dilakukan dengan memvariasi kecepatan udara yang keluar saluran udara pada posisi high speed (22,3 ft/s) dan pada low speed (7,9 ft/s). Data temperatur dan tekanan refrigeran diukur pada 4 titik pengukuran serta pengukuran arus listrik yang masuk ke sistem. Setelah dilakukan pengolahan data dan dimasukkan ke program aplikasi Coolpack, maka didapatkan COP dan EER rata-rata pada posisi low speed menghasilkan harga yang lebih besar dibandingkan pada posisi high speed.

Kata kunci: AC jenis ekspansi langsung, pipa kapiler, R410a, performansi, EER

Abstract: The use of air conditioning system currently mostly uses the vapor compression cycle. One such air conditioning machine is a direct expansion type AC. In this type of air conditioner, the air is directly cooled by the refrigerant. Cold air is flowed through the air duct to be entered into the room to be cooled. The refrigerant used is R-410A which does not contain chlorine so it does not cause depletion of the ozone layer because it has an ODP = 0. This direct expansion unit trainer uses an expansion device in the form of a capillary tube and an external equalizer type TXV. To determine the size of the capillary tube on the trainer unit, the direct expansion type uses the CapSel version 1.0 application program. By using the input data for refrigerant type R-134A, refrigeration capacity 2,637.6 Watt (9000 BTU/hour), evaporation temperature 5 °C condensation temperature 47 °C, and return gas temperature 12 °C, the recommended capillary pipe size data is obtained, namely the length of the pipe. capillary 1.47 m with an inner diameter of 2.50 mm. The test was carried out by varying the velocity of the air leaving the airways at high speed (22.3 ft/s) and at low speed (7.9 ft/s). The refrigerant temperature and pressure data are measured at 4 measurement points and the measurement of the electric current entering the system. After processing the data and entering it into the Coolpack application program, the average COP and EER in the low speed position produce a higher price than the high speed position.

Keywords: direct expansion type AC, capillary tube, R410a, performance, EER

Penerbit @ P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Tujuan penggunaan AC (*Air Conditioner*) adalah untuk memperoleh udara nyaman dari suatu ruangan sesuai dengan yang dipersyaratkan. Faktor kenyamanan suatu ruangan sangat penting untuk meningkatkan produktifitas kerja dan juga untuk menjaga kesehatan ruangan. AC saat ini sudah menjadi kebutuhan untuk rumah tangga,

perkantoran, super market, hotel dll. Prinsip kerja AC secara konvensional menggunakan siklus refrigerasi kompresi uap dimana komponen utamanya adalah kompresor, kondenser, alat ekspansi dan evaporator. Fluida kerja yang digunakan pada siklus refrigerasi kompresi uap disebut bahan pendingin (refrigeran) yang berfungsi menyerap kalor pada temperatur rendah (di evaporator) dan melepaskan kalornya pada temperatur tinggi (di kondensor).

Penggunaan refrigeran R-22 pada AC selama ini tentu saja mendatangkan potensi penipisan lapisan ozon dan pemanasan global. Hal ini mendapat perhatian besar bagi kalangan peneliti internasional sehingga lahirlah perjanjian internasional yang disebut Protokol Montreal tahun 1987. Selanjutnya pada protokol Kyoto yang mengatur pembatasan dan pengurangan gas-gas penyebab rumah kaca (*green house effect*). Di Indonesia sendiri penggunaan R-22 dibatasi penggunaannya sampai tahun 2030.

Salah satu jenis refrigeran pengganti R-22 yang saat ini sudah digunakan pada sistem AC adalah R-410A. Refrigeran ini secara spesifik cenderung untuk penggunaan pada AC yang baru. Dibandingkan dengan R-22, R-410A mempunyai tekanan operasi yang lebih tinggi (kira-kira 50% lebih tinggi pada kedua sisi *discharge* dan sisi *suction*) [1]. R-410A adalah suatu campuran azeotropic dari HFC-32 dan HFC-125. Refrigeran R-410A dikembangkan sebagai pengganti jangka panjang untuk R-22 baik untuk peralatan pengkondisian udara maupun peralatan pendingin yang baru. R-22 adalah refrigeran dari kelompok hydrochlorofluorocarbon (HCFC) yang berarti masih mengandung chlorine yang dapat merusak lapisan ozon. Sedangkan R-410A termasuk golongan hydrofluorocarbon (HFC) yang tidak mengandung *chlorine* sehingga *ozone depletion potential* (ODP) nya adalah nol.

Pipa kapiler adalah salah satu jenis alat ekspansi pada siklus refrigerasi kompresi uap. Pipa kapiler berfungsi untuk menurunkan tekanan refrigeran dari sisi tekanan tinggi ke sisi tekanan rendah dan juga mengatur jumlah laju aliran refrigeran sesuai dengan perubahan beban di evaporator. Pipa kapiler dibuat dari pipa tembaga yang diameternya sangat kecil. Pipa kapiler digunakan pada sistem AC maupun sistem refrigerasi yang mempunyai kapasitas pendinginan relatif rendah. Ukuran pipa kapiler baik panjang maupun diameternya sangat berpengaruh terhadap tekanan operasi sistem. Oleh karena itu menentukan ukuran pipa kapiler haruslah tepat agar didapatkan kinerja sistem sesuai dengan yang diharapkan.

Geometrik pipa kapiler seperti panjang, diameter, *pith* koil berpengaruh terhadap penurunan tekanan, COP, dan laju aliran massa refrigeran [2]. Ada beberapa cara untuk menentukan ukuran pipa kapiler, salah satunya adalah menggunakan program aplikasi *CapSel Versi 1.0*, *Data base 22*, yang akan digunakan pada penelitian pada *AC Trainer Unit* jenis ekspansi langsung dengan refrigeran R-410A. Kemudian akan di analisis koefisien performansi dan konsumsi energinya.

Penelitian juga dilakukan untuk mengetahui perbandingan performansi antara R-410a dan R-32 pada AC split dengan kapasitas 1 PK. Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa COP Carnot dan COP aktual R-410a lebih tinggi dibandingkan dengan R-32 [3], [4]. Penggunaan refrigeran berbasis R-290 [5]-[7], refrigeran R-32 [8] dan R-410A [9] akhir-akhir ini mulai diperkenalkan sebagai fluida kerja pada instalasi pendingin. R-410A memiliki kapasitas perbandingan volumetrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan R-22 dan memiliki sifat pertukaran panas yang lebih baik. Hal ini menyebabkan peningkatan kinerja secara keseluruhan dalam hal efisiensi sistem [10].

1.2. Sifat-sifat Fisik R-410A

R-410A adalah campuran zeotrofik dari HFC-32 dan HFC-125 dengan rasio berat 50%/50%. Sebagai suatu refrigeran

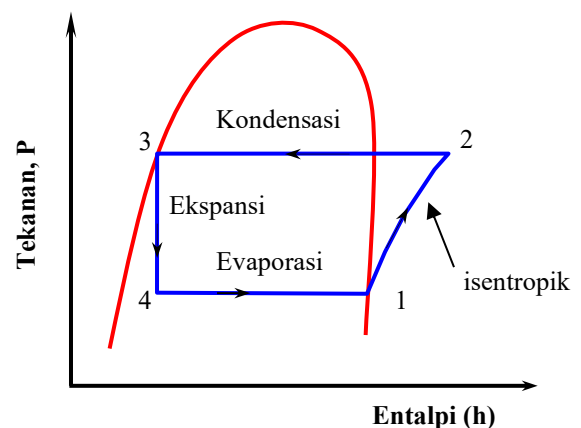
HFC, R-410A memerlukan penggunaan minyak pelumas polyester. R410A merupakan refrigeran yang mempunyai sifat tidak mudah terbakar (*non-flammable*) dan tidak beracun (*non-toxic*). Tetapi perbedaan yang paling besar dengan R-22 adalah batas tekanan yang dibangkitkan lebih dari 50% lebih tinggi [11]. Meskipun tekanan operasinya R-410A secara signifikan lebih tinggi dari R-22, sistem R-410A secara aktual berjalan dengan lebih dingin bila dibandingkan dengan sistem R-22. Hal ini terjadi karena kapasitas panas uap refrigeran R-410A lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas panas uap refrigeran R-22.

Tabel 1. Perbandingan sifat-sifat R22 dan R410A [11]

Sifat-sifat	Unit	R-22	R-410A
Komponen	-	CHClF ₂	R32/R125
Komposisi	%berat	-	50/50
Berat molekuler	g/mol	86,5	72,6
Temperatur gelembung (<i>bubble</i>) (pada 1,013 bar)	°C	-40,7	-52,2
Temperatur <i>glide</i> (pada 1,013 bar)	K	0	0,1
Kerapatan cairan (pada 25°C)	Kg/dm ³	1,194	1,0615
Kerapatan uap jenuh (pada titik didih)	Kg/m ³	4,70	4,12
Tekanan uap pada:			
25°C	bar	10,4	16,4
50°C	bar	19,4	30,5
Temperatur kritis	°C	96	72,2
Tekanan kritis	bar	49,8	49,5
Kerapatan kritis	Kg/dm ³	0,525	0,491
<i>Ozone Depleting Potential</i> (ODP)	-	0,055	0

1.3. Performansi Mesin Pengkondisian Udara

Parameter-parameter prestasi mesin pengkondisian udara dengan siklus refrigerasi kompresi uap, antara lain: kerja kompresi, laju pengeluaran kalor, efek refrigerasi dan koefisien performansi (*coefficient of performance*, COP).



Gambar 1 Diagram tekanan-entalpi siklus refrigerasi kompresi uap standar

1.3.1. Kerja Kompresi (W_k)

Kerja kompresi merupakan kerja yang dibutuhkan untuk mengkompresi refrigeran di kompresor. Dari Gambar 1 di atas, kerja kompresi dinyatakan pada proses 1-2. Jadi besarnya kerja kompresi secara matematis dapat dinyatakan dengan selisih entalpi refrigeran keluar kompresor dikurangi entalpi refrigeran masuk kompresor.

$$W_k = h_2 - h_1 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (1)$$

Dimana :

h_1 dan h_2 = masing-masing entalpi gas refrigeran yang masuk dan keluar dari kompresor (kJ/kg).

1.3.2 Kalor yang dibuang di kondensor (Q_k)

Kalor yang dibuang oleh refrigeran melalui kondensor ke lingkungan yang lebih rendah temperaturnya terjadi pada proses 2-3, yaitu:

$$Q_k = h_2 - h_3 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2)$$

Dimana : h_2 dan h_3 masing-masing entalpi refrigeran masuk dan keluar kondenser (kJ/kg)

Pada proses 3-4 merupakan proses ekspansi refrigeran menuju tekanan evaporator. Pada proses ini biasanya dimodelkan dengan proses cekik tanpa adanya perpindahan kalor (adiabatik) dan proses berlangsung tak-reversibel, sehingga diperoleh hubungan: $h_3 = h_4$

1.3.3. Efek refrigerasi (ER)

Efek refrigerasi (ER) adalah kalor yang diserap oleh refrigeran dari lingkungan melalui evaporator per satuan massa refrigeran. Efek refrigerasi merupakan parameter penting, karena merupakan efek yang berguna dari suatu sistem refrigerasi. Secara matematis, efek refrigerasi dapat dinyatakan dengan:

$$ER = h_1 - h_4 \quad (\text{kJ/kg}) \quad (3)$$

Dimana : h_1 dan h_4 = masing-masing entalpi refrigeran keluar dan masuk evaporator (kJ/kg)

1.3.4. Koefisien Performansi (COP)

Koefisien performansi, COP adalah besarnya energi yang berguna, yaitu efek refrigerasi dibagi dengan kerja yang diperlukan sistem, yaitu kerja kompresi. Secara matematis, COP dinyatakan dengan rumusan:

$$COP = \frac{\text{efek refrigerasi}}{\text{kerja kompresi}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (4)$$

1.3.5 Energy Efficiency Ratio (EER)

Parameter yang juga penting pada sistim AC yang merupakan spesifikasi teknis dan dicantumkan pada *plat name* suatu produk AC adalah EER, yaitu merupakan perbandingan antara kapasitas refrigerasi (dalam BTU/jam) dengan daya masukan total (dalam Watt). Secara matematis ditulis:

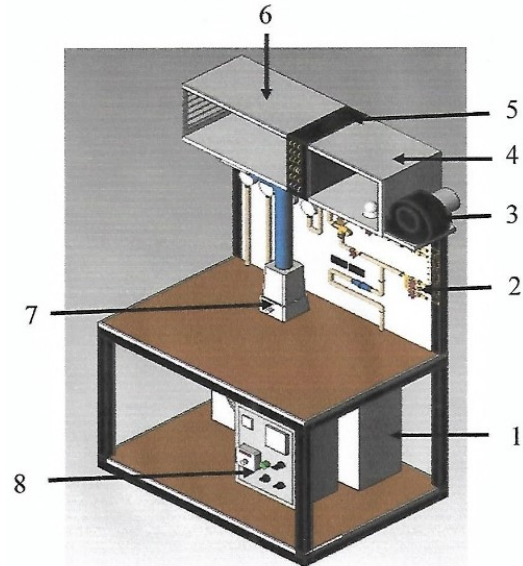
$$EER = \frac{\text{kapasitas refrigerasi (BTU/jam)}}{\text{daya masukan total (Watt)}} \quad (5)$$

Semakin tinggi nilai EER, maka semakin efisien penggunaan energi dari suatu sistem pengkondisian udara (AC).

2. Metode

Penelitian dilakukan dengan metode *Research and Developmnet* (R & D) yaitu dengan mengembangkan trainer unit AC jenis ekspansi langsung. Trainer unit dirancang dengan menggunakan indoor AC Split dengan kapasitas refrigerasi 900 BTU/Jam (Gambar 2).

Evaporator dan *ducting system* dihitung dengan pendekatan perpindahan panas. Sedangkan alat ekspansi berupa pipa kapiler dihitung dengan menggunakan program aplikasi CapSel versi 1.0.



Keterangan gambar:

- | | |
|--------------------|------------------|
| 1. Condensing unit | 5. Evaporator |
| 2. Pipa kapiler | 6. Supply duct |
| 3. Blower | 7. Dehumidifier |
| 4. Return duct | 8. Panel kontrol |

Gambar 2. Rancangan AC Trainer Unit jenis Ekspansi Langsung

Trainer unit ini juga dilengkapi dengan katup ekspansi jenis thermostatis dengan penyama tekanan dalam (*internal equalizer TXV*).

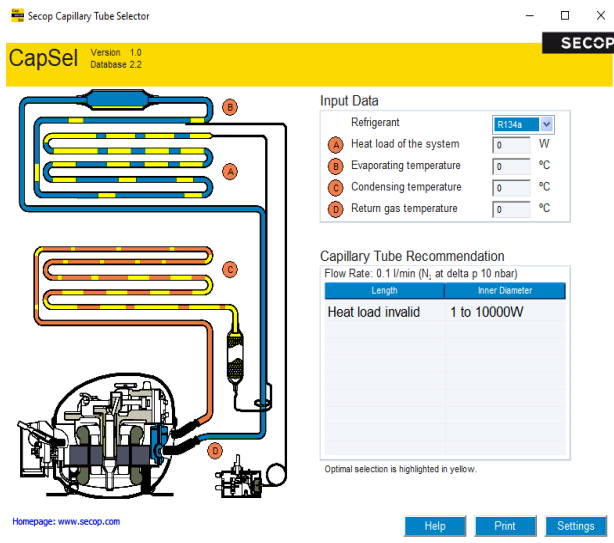
Untuk pengambilan data, *trainer unit* ini dilengkapi *pressure gauge* dan *temperature display* pada 4 titik pengukuran untuk refrigeran dan 2 *temperatur display* pada sisi *return* dan *supply ducts*. Pada panel kontrol dilengkapi tombol ON-OFF, lampu kontrol, Volt meter, dan Amper meter.

2.1. Program Aplikasi CapSel Versi 1.0

Untuk menentukan ukuran pipa kapiler yang akan digunakan pada AC *trainer unit* jenis ekspansi langsung, digunakan program aplikasi CapSel 1.0 dengan data-data input meliputi jenis refrigeran, kapasitas refrigerasi, temperatur evaporasi, temperatur kondensasi dan temperatur gas balik (*return gas temperature*) (Gambar 3).

Penggunaan program aplikasi CapSel versi 1.0 sangat sederhana. Dengan meng-inputkan data-data seperti tersebut di atas, maka akan ditampilkan ukuran-ukuran pipa kapiler yang direkomendasikan. Ukuran pipa kapiler yang direkomendasikan yang ditandai warna kuning merupakan pilihan optimal dari ukuran pipa kapiler. Apabila ukuran

pipa kapiler yang ditandai berwarna kuning tidak tersedia dipasaran, maka dapat memilih salah satu ukuran pipa kapiler yang direkomendasikan tadi.



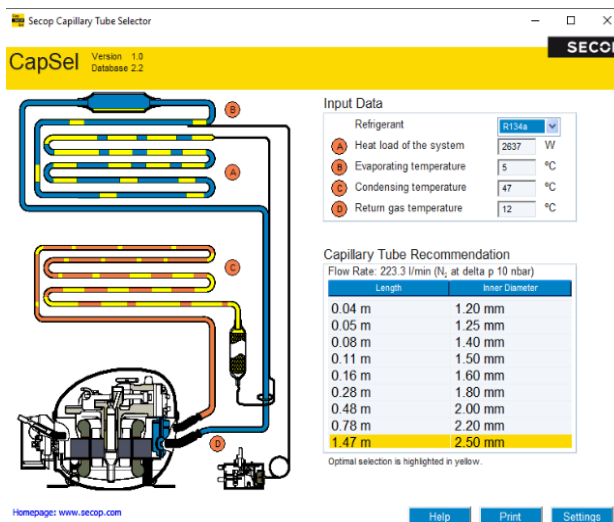
Gambar 3. Program aplikasi CapSel versi 1.0

3. Hasil dan Pembahasan

Data rancangan yang akan di-input-kan pada program aplikasi CapSel versi 1.0 adalah sebagai berikut:

- a. Jenis refrigeran : R-134A
- b. Kapasitas refrigerasi : 2.637,6W
- c. Temperatur evaporasi : 5 °C
- d. Temperatur kondensasi : 47 °C
- e. Temperatur gas balik : 12 °C

Selanjutnya dengan meng-input-kan data-data tersebut di atas, maka didapatkan ukuran pipa kapiler yang direkomendasikan yang ditandai warna kuning adalah panjang 1,47 meter dengan diameter dalam (*inside diameter*, ID) 2,50 mm.



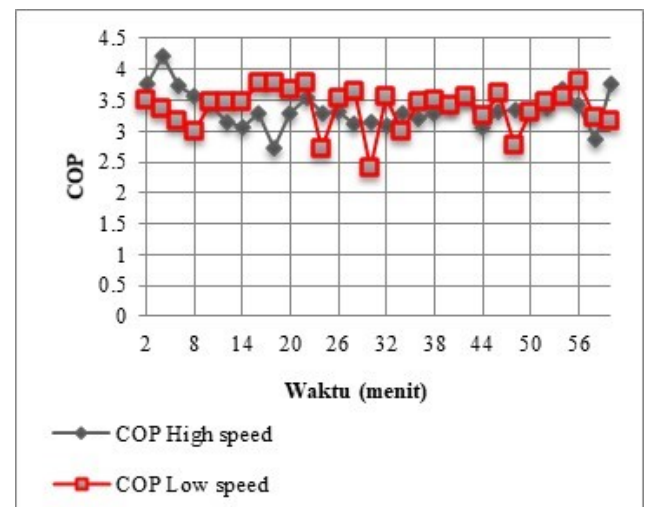
Gambar 4. Ukuran pipa kapiler pada CapSel versi 1.0

Setelah pipa kapiler dipasang pada *trainer unit* dengan menggunakan sistem sambungan nipel dan dilengkapi dengan stop valve, maka dilakukan pengetesan kebocoran, memvacum dan mengisi refrigeran sistem sesuai dengan tekanan kerjanya. Pengujian dilakukan pada kondisi tanpa

beban dengan variasi kecepatan blower pada posisi *High Speed* (22,3ft/s) dan posisi *Low Speed* (7,9 ft/s). Dari data-data tekanan dan temperatur refrigeran hasil pengujian pada *trainer unit*, maka setelah dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan data rata-rata hasil pengujian yang akan dimasukkan ke program aplikasi *Coolpack* untuk mendapatkan performansi dari AC *trainer unit* tersebut.

3.1. Grafik Waktu Terhadap COP

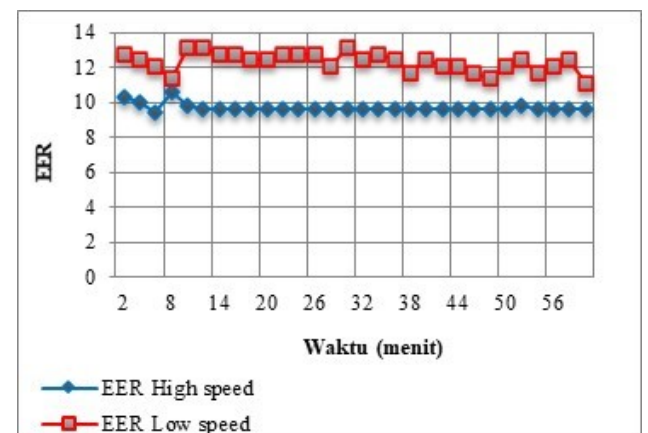
Dari grafik Gambar 5 di bawah dapat dijelaskan bahwa kecepatan blower pada *high speed* mempunyai COP yang lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan blower pada posisi *low speed*. Pada posisi kecepatan *blower high speed*, rata-rata COP-nya adalah 3,35 sedangkan pada posisi kecepatan blower *low speed*, rata-rata COP-nya 3,38.



Gambar 5. Grafik hubungan waktu dengan COP

3.2. Grafik Waktu Terhadap Energy Efficiency Ratio (EER)

Dari grafik pada Gambar 6 dapat dijelaskan bahwa pada kecepatan blower diset pada *low speed* (7,9 ft/s) menghasilkan *EER* lebih besar yaitu 12,3, sedangkan pada posisi kecepatan *high speed* (22,3 ft/s) menghasilkan *EER* = 9,7. Hal ini disebabkan karena pada putaran blower yang lebih tinggi akan menghasilkan kecepatan aliran udara dingin yang lebih tinggi. Putaran blower yang lebih tinggi akan membutuhkan daya listrik yang juga lebih tinggi, sehingga secara keseluruhan daya masukan total (*total input power*) akan lebih besar.



Gambar 6. Grafik hubungan waktu dengan EER

4. Kesimpulan

Refrigeran R-410A merupakan salah satu refrigeran yang digunakan sebagai pengganti dari R-22. Meskipun tekanan kerjanya lebih tinggi dari R-22, akan tetapi R-410A mempunyai kelebihan yaitu lebih ramah lingkungan. Saat ini sudah banyak merk AC khususnya *AC Split* yang menggunakan R-410A. Dari penelitian yang dilakukan pada trainer unit jenis ekspansi langsung didapatkan COP dan EER rata-rata mempunyai harga yang lebih tinggi pada kecepatan udara yang keluar saluran udara di-set pada posisi *low speed* dibandingkan pada posisi *high speed*.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan banyak terima kasih atas bantuan dan dukungan dari teman-teman peneliti, serta unit publikasi P3M Politeknik Negeri Bali yang telah membantu penyelesaian dan publikasi paper ini.

Daftar Pustaka

- [1] F. Prah, "Refrigerant 410A", Refrigeration Service Engineers Society, RSES, 1666 Rand Road Des Plaines, Illinois 60016.
- [2] S.S. Pathak, P. Shukla, S. Chauhan, A.K. Srivastava, "An Experimental Study of the Effect of Capillary Tube Diameter and Configuration on the Performance of a Simple Vapour Compression Refrigeration System", IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) 11, 2014, pp. 101-113.
- [3] Kusnandar, Y. Kurniawan, B. Khoerun, Y.M. Rohmat, "Perbandingan COP AC Split Kapasitas 1 PK Menggunakan R-410a dan R-32 Dengan Variasi Kecepatan Fan Evaporator", Turbulen: Jurnal Teknik Mesin, Universitas Tridinianti Palembang, 2, 2019, pp. 50-55.
- [4] T. Priangkoso, N.E. Santosa, T. Apriyanto, M. Dzulfikar, "Pengaruh Jenis Refrigeran dan Diameter Pipa Kapiler Terhadap Kinerja AC Split", Momentum, 14, 2018, pp. 39-45.
- [5] E. Taqwali; Hasan, Syamsuri, "Analisis Performa Refrigeran R-290 Pada Sistem AC Yang Menggunakan Accumulator Heat Exchanger", Jurnal Energi Dan Manufaktur, 8, 2015.
- [6] T.P. Pramudantoro, "Pengaruh Variasi Massa Pengisian R-290 Sebagai Refrigeran Pengganti R-22 Pada Kinerja Freezer", ReTII, 2018.
- [7] S. Parashurama, C.A. Saleel, M.S. Govindgowda, and S.A. Khan, "Hydrocarbons as Alternative Refrigerants in Domestic Refrigerators", International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 8, 2019, pp. 496-501.
- [8] Kusnandar, Y. Kurniawan, N.Y. Rohmat, "Analisa Performansi Mesin Pengkondisi Udara Menggunakan Refrigerant R-32", Seminar Nasional Penelitian Pengabdian Masyarakat, Universitas Bangka Belitung, 2018, pp. 194-196.
- [9] Amrullah, Z. Djafar, W.H. Piarah, "Analisa Kinerja Mesin Refrigerasi Rumah Tangga Dengan Variasi Refrigeran", Jurnal Teknologi Terapan, 3, 2017.
- [10] A. Adityawarman, H. Ananta, D.A. Widodo, "Trainer Pendingin Ruangan Menggunakan AC Split R32 Ramah Lingkungan Sebagai Media Pembelajaran Mata Kuliah Teknik Refrigerasi Dan Tata Udara Di Universitas Negeri Semarang", Edu ElektriKA Journal, 2018.
- [11] S.S. Jadhav and K.V. Mali, "Evaluation of a Refrigerant R-410A as Substitute for R-22 in Window Air Conditioner", IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, pp. 23-32.