

Uji Performansi Kinerja Unit Pendingin Ruang Isolasi Tekanan Negatif Dengan Variasi Debit Exhaust

Ahmad Maulana K¹, Sunanto², Ade S. Margana³, Triaji Pangripto⁴

Jurusan Teknik Pendingin dan Tata Udara, Politeknik Negeri Indramayu^{1,2}

Jurusan Teknik Refrigerasi dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung^{3,4}

Jl. Raya Lohbener lama No.08 – Indramayu, Jawa Barat

ahmadmaulana@polindra.ac.id

Abstrak— Covid 19 adalah salah satu penyakit yang menyebar melalui aliran udara (*airbone*), oleh karena itu salah satu upaya pengendalian penyebaran virus ini dapat dengan menempatkan pasien Covid-19 pada ruang isolasi. Ruang isolasi dapat mencegah penyebaran virus atau penyakit infeksi lainnya karena memiliki tekanan negatif pada udara dalam ruangnya. Ruang isolasi dengan tekanan negatif, dapat mencegah virus yang berada di ruang isolasi keluar dari dalam ruangan sehingga virus tidak akan menyebar ke udara bebas. Dalam perancangan ruang isolasi dipengaruhi oleh debit aliran udara dimana *supply air* harus lebih rendah dari *exhaust* sehingga tercipta ruangan dengan tekanan negatif. Pada penelitian kali ini, akan diuji coba pengaruh variasi debit terhadap performansi sistem tata udara bertekanan negatif. Variasi debit exhaust yang akan digunakan adalah debit 50 cfm, 100 cfm, dan 150 cfm. Pengujian dilakukan dengan pengambilan ukuran tekanan, temperatur dan *relative humidity* selama dua jam di dalam kabin *prototipe* ruang isolasi bertekanan negatif dengan kapasitas *exhaust fan* yang berbeda (50 cfm, 100 cfm, dan 150 cfm). Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapat bahwa kapasitas *exhaust fan* 50 CFM memiliki hasil yang paling mendekati dengan standar ruang isolasi tekanan negatif. dimana temperatur mencapai 26,4°C, tekanan -16,4 Pa dan *relative humidity* 50,8%. Sedangkan untuk kinerja system pendinginnya, juga didapat kapasitas exhaust fan 50 CFM memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi yaitu sekitar 76,39%.

Kata kunci : Tekanan negatif, Kinerja unit pendingin, Debit exhaust

Abstract--- Covid 19 is a disease that spreads through the air (airborne), therefore one of the efforts to control the spread of this virus can be by placing Covid-19 patients in isolation rooms. Isolation rooms can prevent the spread of viruses or other infectious diseases because they have negative pressure on the air in the room. The isolation room with negative pressure can prevent the virus in the isolation room from getting out of the room so that the virus will not spread into the air. In the design of the isolation room, it is influenced by the flow of air where the water supply must be lower than the exhaust so that a room with negative pressure is created. In this study, we will try to test the effect of variations in discharge on the performance of a negative pressure air system. Variations of exhaust discharge to be used are 50 cfm, 100 cfm, and 150 cfm. The test was carried out by taking measurements of pressure, temperature and relative humidity for two hours in the prototype cabin of a negative pressure isolation room with different exhaust fan capacities (50 cfm, 100 cfm, and 150 cfm). From the results of the tests that have been carried out, it is found that the exhaust fan capacity of 50 CFM has the closest results to the standard negative pressure isolation room. where the temperature reaches 26.4°C, pressure -16.4 Pa and relative humidity 50.8%. As for the performance of the cooling system, it is also found that the 50 CFM exhaust fan capacity has the highest efficiency value, which is around 76.39%.

Keywords : negative pressure, performance air conditioning, exhaust flow

I. PENDAHULUAN

Ruang isolasi menjadi populer setelah kejadian pandemic global akibat penyakit corona virus 2019 atau Corona Virus Disease-19 (COVID-19) melanda di seluruh dunia. Penyakit covid-19 adalah merupakan penyakit infeksi saluran pernafasan yang disebabkan oleh jenis virus corona. Melihat virus ini adalah jenis virus yang menular, pasien yang terkena virus covid harus ditangani dengan tepat dan dirawat di ruang isolasi. Ruang isolasi adalah ruangan untuk penempatan bagi pasien dengan penyakit yang menular yang didesain khusus supaya tidak menular kepada pasien lain, petugas dan pengunjung [1]. Tujuan adanya ruang isolasi di rumah sakit adalah untuk mengendalikan penyebaran penyakit menular yang bisa mewabah.

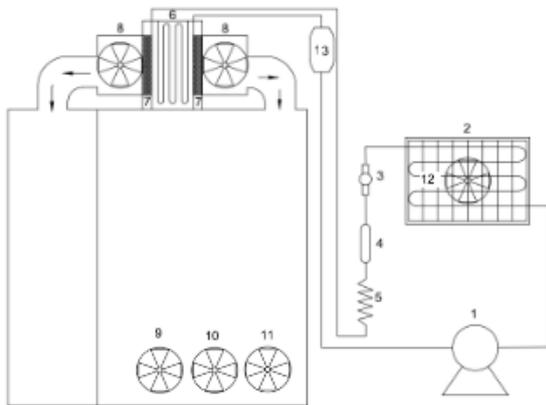
Secara umum, fungsi utama ruang isolasi adalah mencegah penularan penyakit ke orang lain. Ruang isolasi terbagi dalam 2 jenis, yaitu ruangan yang menggunakan tekanan udara negatif dan tekanan udara positif. Ruang isolasi yang menggunakan tekanan udara negatif digunakan untuk pasien infeksi yang penularannya bisa terjadi lewat udara. Dengan tekanan negatif ini, udara dari dalam ruang isolasi yang mungkin mengandung kuman penyebab infeksi tidak keluar dan mengontaminasi udara luar. Sebaliknya, ruangan isolasi yang menggunakan tekanan udara positif digunakan untuk pasien yang rentan mengalami infeksi. Tekanan udara positif didapatkan dari udara bersih yang telah disaring dan dibersihkan, kemudian dipompa ke dalam ruangan terus-menerus. Hal ini membuat udara yang masuk ke ruangan isolasi tetap steril [1]. Supaya tercapainya tekanan negatif pada ruangan maka peranan *exhaust* pada ruang negatif sangatlah penting. Bagian yang harus diperhatikan adalah kapasitas udara buangan dari blower (*exhaust fan*) harus lebih besar dari pada udara masuk ke ruangan (*supply fan*). Dengan demikian kapasitas *exhaust fan* akan mempengaruhi temperatur, RH dan tekanan di dalam ruangan tekanan negative tersebut.

Menurut Kementerian Kesehatan RI, standar suhu ruang isolasi tekanan negatif adalah $24 \pm 2^\circ\text{C}$ dan kelembaban relative ruang isolasi covid-19 adalah $55 \pm 5\%$, serta tekanan ruangnya sekitar -15 Pa [1]. Tekanan ruangan di sekitar ruang isolasi juga harus di kondisikan sekitar $+15$ Pa guna mencegah penularan virus dari ruang isolasi tersebut. Persyaratan lain yang harus terpenuhi dari aliran udara pada ruangan isolasi tekanan negative tersebut harus memiliki pertukaran aliran udara per jam (*Air change per Hour, ACH*) minimal 12 kali [2]. Untuk mengatur atau mengkondisikan tekanan ruang baik pada ruang isolasi maupun pada ruang di sekitarnya tersebut membutuhkan system tata udara khusus yang berbeda dengan system tata udara pada umumnya. Demikian juga dengan unit pendingin yang terpasang pada ruangan isolasi tersebut memiliki perbedaan kinerja dengan system pada umumnya mengingat beberapa persyaratan yang harus diterapkan pada ruangan isolasi tersebut cukup sulit untuk di terapkan. Untuk itu, perlu dilakukan pengujian terhadap kinerja unit pendingin yang diterapkan pada ruang isolasi tersebut agar dapat diketahui seberapa jauh perbedaan kinerja unit pendingin tersebut jika system aliran udaranya di buat menjadi tekanan negative dengan mengatur aliran udara exhaust-nya. Berdasarkan pada masalah tersebut diatas, maka pada penelitian ini akan dilakukan pengujian performansi unit pendingin udara pada ruang isolasi tekanan negatif dengan cara memvariasikan tekanan negatifnya melalui variasi debit aliran udara exhaust-nya.

II. METODE PENELITIAN

Tahapan awal yang dilakukan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah terlebih dahulu membuat desain (rancangan) dari *prototipe ruang isolasi tekanan negatif*. Sistem rancang bangun pada *ruang tekanan negatif* ini menggunakan sistem kompresi uap dengan kompresor sebagai jantung sistem yang akan mengalirkan *refrigerant*. Evaporator pada sistem yang digunakan untuk mendinginkan

ruangan, dan *magnehelic* digunakan untuk melihat tekanan di dalam ruangan. Ukuran total ruang isolasi tekanan negative tersebut adalah 100 x 100 x 100 cm. Terdiri dari anteroom dan ruang isolasi, dengan ukuran anteroomnya adalah 30 x 100 x 100 cm dan ruang isolasi bertekanan negatifnya adalah 70 x 100 x 100 cm. Kabin ditempatkan di atas meja *trainer* dengan ukuran 150 x 100 x 50 cm, tiga unit *exhaust fan* terpasang pada *ruang isolasi* bertujuan untuk menghisap udara dari dalam ruangan sehingga dapat mencapai tekanan negatif.



Gambar 1. Skema Sistem Pendingin Ruang Tekanan Negatif

Keterangan :

- | | |
|-----------------|-------------------|
| 1. Kompresor | 7. Filter Udara |
| 2. Kondensor | 8. Blower |
| 3. Sight glass | 9. Exhaust Fan 1 |
| 4. Filter dryer | 10. Exhaust Fan 2 |
| 5. Pipa kapiler | 11. Exhaust Fan 3 |
| 6. Evaporator | 12. Fan kondensor |

Gambar berikut ini merupakan gambar skema sistem dan diagram pemipan *system pendingin ruangan tekanan negative* tersebut. Dinding kabin terbuat dari bahan *acrylic* dan *styrofoam*. *Styrofoam* memiliki tebal 2cm sedangkan *acrylic* memiliki tebal 0,5 cm. Target temperatur adalah 24 sampai 25 derajat *celcius*. *Ducting* dibuat dari plat galvanis dengan tambahan *Armaflex* ketebalan 2 mm.

Dalam proses pengambilan data dilakukan dengan mengukur parameter seperti tekanan ruang, RH, temperatur, dan arus pada system menggunakan data akuisisi ARDUINO UNO. Pengambilan data dilakukan menggunakan variasi exhaust yang berbeda yaitu 50 CFM, 100 CFM, dan 150 CFM. Untuk mengetahui

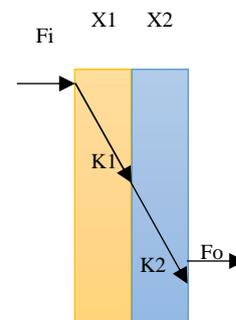
tekanan negatif yang dicapai dilakukan pengukuran tekanan pada komponen *magnehelic* setiap lima menitnya selama dua jam serta RH dan temperatur di dalam ruangan. Gambar lengkap dari prototipe alat uji system pendingin dengan tekanan negative yang telah dibuat tersebut dapat dilihat pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Unit Pendingin Ruang Tekanan Negative Yang Telah Dibuat Tampak Depan Dan Belakang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Beban pendinginan dari *prototipe negatif pressure room* memiliki beberapa sumber.. Diantaranya adalah beban pendingin dari dinding ruangan, penghuni dan lampu. Analisa perhitungan beban konduksi kabin dilakukan dengan menggunakan analisa satu dimensi. Berikut Analisa dan perhitungan beban konduksi tersebut :



Gambar 3. Skema Perpindahan Panas Konduksi Pada Dinding Kabin

Untuk menghitung beban konduksi pada dinding kabin tersebut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [3] :

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

dimana :

- Q :beban kalor dinding (Watt)
- U :Koefisien perpindahan panas pada dinding
- ΔT :Perbedaan temperature lingkungan dengan ruangan

Mengingat konstruksi dinding pada miniature ruang tersebut terbuat dari stirofoam dan akrilik, maka untuk mencari koefisien perpindahan panas konduksi dari dinding kabin dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{F_i} + \frac{x_1}{k_1} + \dots + \frac{x_n}{k_n} + \frac{1}{F_o}} \quad (2)$$

dimana :

- U : Koefisiensi perpindahan panas pada dinding
- X1 :ketebalan material sterofoam
- K1 :Konduktivitas thermal sterofoam
- X2 :ketebalan material akrilik
- K2 :Konduktivitas thermal akrilik

Rumus beban pendinginan konduksi pada persamaan (1) dan rumus koefisien perpindahan panas persamaan (2) diatas berlaku secara umum dan dapat ditambahkan dengan resistansi material lain sesuai dengan jumlah material dindingnya.

Terdapat juga beban penghuni dari ruangan isolasi tekanan negatif tersebut mengingat Manusia menghasilkan kalor latent dan sensible sehingga dalam menghitung beban pendinginnya menggunakan persamaan berikut [3] :

$$Q_s = q_s \times n \times CLF \quad (3)$$

$$Q_l = q_l \times n \quad (4)$$

dimana,

- Q_s, Q_l :kalor panas sensible dan latent
- q_s, q_l :kalor sensible dan latent perorang
- n :jumlah orang
- CLF :faktor beban pendingin untuk orang

Terdapat juga beban lampu yang ada pada ruang isolasi tekanan negative tersebut dengan perhitungannya dapat menggunakan persamaan berikut [3] :

$$Q = 3.4 \times W \times BF \times CLF \quad (5)$$

dimana,

- Q :beban pendingin lampu
- W :watt
- BF :ballast factor
- CLF :cooling load factor for lighting

Untuk mendapatkan nilai beban ventilasi maka menggunakan persamaan berikut [3] :

$$CFM = ACH \times v/60 \quad (6)$$

$$Q_l = 0.68 \times CFM \times (W_i - W_o) \quad (7)$$

$$Q_s = 1,1 \times CFM \times TC \quad (8)$$

dimana,

- Q_l :kalor latent dari infiltrasi atau ventilasi
- CFM :laju aliran udara infiltrasi atau ventilasi
- W_i, W_o :kelembaban yang lebih tinggi dikurangi kelembaban yang lebih rendah
- TC :perubahan temperatur udara diluar dan didalam ruangan
- ACH :air change per hour

Berdasarkan nilai ACH yang ditetapkan sebanyak 12 kali pada ruang isolasi tekanan negative tersebut, maka untuk menentukan nilai kapasitas debit blower dapat menggunakan persamaan berikut [3] :

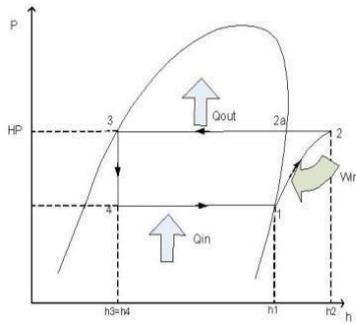
$$CFM = \frac{ACH \times P \times L \times T}{60} \quad (9)$$

dimana,

- ACH :air change per hour
- CFM :laju aliran udara
- P :panjang
- l :lebar
- t :tinggi

Selain Analisa dari beban pendinginan dan debit udara pada ruangan isolasi, parameter kinerja mesin pendingin juga perlu diketahui dengan terlebih dahulu memplot kan karakter temperature dan tekanannya pada diagram Mollier (diagram tekanan – entalphi / Ph diagram). Setelah plot takan dan entalphi

didapat, maka kinerja mesin pendingin ruang isolasi tersebut dapat ditentukan. Kinerja yang ada pada mesin pendingin umumnya berupa daya kompresor (Q_w), kerja kompresi (q_w), kalor pembuangan di kondensor (Q_c), efek refrigerasi (q_e), kalor penyerapan di evaporator (Q_e), COP actual, COP carnot dan Efisiensi. Gambar 4 berikut ini merupakan hasil plot dari data pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 4. Siklus Kompresi Uap Pada Diagram P-h [4].

Besarnya kerja kompresi per satuan massa refrigeran bisa dihitung dengan rumus dibawah ini [5]:

$$q_w = h_2 - h_1 \quad (10)$$

Untuk menghitung besarnya daya kompresi yang dilakukan kompresor adalah [5]:

$$Q_w = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (11)$$

dimana,

- Q_w : Daya atau kerja kompresor yang dilakukan (kW)
- \dot{m} :Laju aliran refrigeran pada sistem (kg/s)
- h_1 :Enthalpy refrigeran saat masuk kompresor (kJ/kg)
- h_2 :Enthalpy refrigeran saat keluar kompresor (kJ/kg)

Untuk menghitung kalor yang dibuang kondensor dapat dihitung melalui persamaan [5]:

$$Q_c = \dot{m} (h_2 - h_1) \quad (12)$$

Dimana,

- Q_c :besar kalor yang diserap di kondensor (kW)
- \dot{m} : Laju aliran refrigeran pada sistem (kg/s)
- h_2 : Enthalpy refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg)

h_1 : Enthalpy refrigeran saat masuk kondensor (kJ/kg)

Untuk menghitung besarnya kalor yang diserap oleh refrigeran di evaporator dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut [5]:

$$Q_e = m (h_1 - h_4) \quad (13)$$

Selain itu efek refrigerasi dapat dihitung dengan cara berikut [5]:

$$q_e = h_1 - h_4 \quad (14)$$

dimana,

- Q_e :Besar kalor yang diserap di evaporator (kJ/kg)
- h_1 :Enthalpy refrigeran saat keluar evaporator (kJ/kg)
- h_4 :Enthalpy refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg)
- m :Laju massa aliran refrigerant (kg/s)
- q_e :Efek refrigerasi (kJ/kg)

COP carnot dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut [5]:

$$COP_{carnot} = \frac{T_{evaporasi}}{T_{kondensansi} - T_{evaporasi}} \quad (15)$$

COP actual dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut [5]:

$$COP_{actual} = \frac{q_e}{q_w} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (16)$$

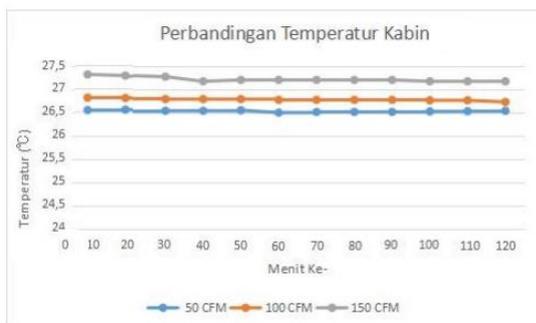
Pebandingan antara nilai COP actual dan COP carnot akan menghasilkan nilai efesiensi, sehingga persamaan untuk nilai efesiensi adalah sebagai berikut [5]:

$$Efisiensi = \frac{COP_{actual}}{COP_{carnot}} \times 100\% \quad (17)$$

Gambar 5 dan gambar 6 berikut ini merupakan grafik data tekanan pada ruangan selama dua jam dengan perbedaan *exhaust fan* pada putaran 50 CFM, 100 CFM dan 150 CFM.



Gambar 5 Grafik Perbandingan Tekanan Negative Ruang Pada Berbagai Debit Exhaust



Gambar 6 Grafik Perbandingan Temperatur Ruang Pada Berbagai Debit Exhaust

Terlihat pada gambar grafik di atas, tekanan ruangan dalam kabin pada grafik menunjukkan bahwa variasi exhaust fan 50 CFM, 100 CFM, dan 150 CFM, tekanan yang didapat setiap 10 menit sekali dalam 2 jam pengujian dapat dikatakan stabil, hanya mengalami sedikit kenaikan dan penurunan.

Selain dalam bentuk grafik, Analisa juga dibuat dalam bentuk table, dimana tabel 1 berikut merupakan resume hasil pengambilan data dan hasil pengolahannya. Berdasarkan Tabel 1, kondisi ruangan dengan debit exhaust sebesar 50 CFM memiliki temperatur 26,4 oC, RH 50,8 % dan tekanan -16,4 Pa. Kabin dengan kapasitas 100 CFM memiliki temperatur 26,9 oC, RH 56,5 % dan tekanan -17,6 Pa. Sedangkan kabin dengan kapasitas 150 CFM memiliki temperatur 26,5 oC, RH 64,4 % dan tekanan -21,9 Pa. Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan yakni kondisi unit pendingin ruang dengan kapasitas exhaust fan 50 CFM mendapat nilai temperature dan tekanan udara serta nilai RH yang mendekati standar sistem ruang negatif pressure yaitu temperatur ruang isolasi tekanan negatif adalah $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relative ruang isolasi covid-19

adalah $55\pm 5\%$, serta tekanan ruangnya sekitar -15 Pa.

Untuk analisa performansi dari unit pendinginnya, terlihat pada tabel diatas juga perbedaan nilai – nilai performansi unit pendingin dengan berbagai variasi debit exhaustnya. Daya kompresor dan kerja kompresi cenderung mengalami kenaikan seiring dengan semakin bertambahnya debit exhaust pada ruangnya, sedangkan pada kalor di evaporator, COP dan efisiensi cenderung mengalami penurunan nilai seiring dengan bertambahnya debit pada exhaust ruangnya

Tabel 1 Resume Data Analisa Untuk Unit Pendingin Pada Ruang Tekanan Negatif

Variabel	Variasi debit exhaust		
	50 CFM	100 CFM	150 CFM
Tekanan ruang negatif (Pa)	-16,4	-17,6	-21,9
Temperatur ruangan (°C)	26,4	26,5	26,9
RH ruangan (%)	50,8	56,5	64,4
Temperatur evaporator (°C)	15,7	16,1	16,4
Temperatur kondensor (°C)	48,2	49,1	49,7
Arus listrik (A)	1,95	2,02	2,05
Daya kompresor, Qw (kW)	0,43	0,44	0,45
Kerja kompresi, qw (kJ/kg)	28	29	31
Efek refrigerasi, qe (kJ/kg)	190	188	186
kalor evaporator, Qe (kW)	2,47	2,44	2,42
COP camot	8,88	8,76	8,69
COP actual	6,79	6,48	6,00
Effisiensi Refrigerasi (%)	76,39	74,00	69,04

Hal ini kemungkinan dikarenakan jika semakin besar debit exhaustnya maka akan mengakibatkan debit udara yang melewati evaporator jadi semakin kecil sehingga berakibat juga nilai penyerapan kalor pada evaporator juga mengalami penurunan. Hal ini juga yang mengakibatkan nilai COP dan efisiensi refrigerasinya menjadi semakin kecil.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pada perancangan, proses instalasi sistem, proses pengujian dan proses pengambilan data. Maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin besar debit exhaust pada ruangan tekanan negative maka akan semakin meningkatkan temperature ruangan dan kerja kompresinya.
2. Selain itu semakin besar debit exhaust pada ruangan tekanan negative, maka akan mengakibatkan semakin kecil juga nilai COP dan kalor pada evaporatornya.

3. Kondisi unit pendingin ruang dengan kapasitas exhaust fan 50 CFM mendapat nilai temperature dan tekanan udara serta nilai RH yang mendekati standar sistem ruang negatif pressure yaitu temperatur ruang isolasi tekanan negatif adalah $24\pm 2^{\circ}\text{C}$ dan kelembaban relative ruang isolasi covid-19 adalah $55\pm 5\%$, serta tekanan ruangnya sekitar $-16,4 \text{ Pa}$...

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sadek, Ir. Sodikin, M.Kes., Dkk. Pedoman Teknis Ruang Isolasi. Direktorat Jenderal Bina Upaya Kesehatan. Kementerian Kesehatan Ri. Jakarta. 2015.
- [2] Sarbani, Manajemen Tata Udara Di Ruang Isolasi. 2020. Available Online At : <https://Rspmanguharjo.Jatimprov.Go.Id/Wp-Content/Uploads/2020/09/Tata-Udara-Pandemi-Kirim.Pdf>
- [3] Pita, E. G. Air Conditioning Principles And Sistem 4th Ed. Upper Saddle River : Pearson Education, Inc. 2002
- [4] Tri Ayodha Ajiwiguna, 2010. Siklus Kompresi Uap Ideal Pada Diagram P-H.
- [5] Mitrakusuma, Windy H. Buku 1 Bahan Ajar Panduan Mata Kuliah Dasar Refrigerasi. Program Studi Teknik Refrigerasi Dan Tata Udara, Politeknik Negeri Bandung. Bandung. 2009.