

Performansi Sistem Pendingin Dengan Penggunaan Staggered Solid Dry Pad Sebagai Pendingin Awal Udara Pada Evaporator Dan Kondensor

Gusti Ngurah Eka Suputra, Hendra Wijaksana, Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sistem pendingin udara telah banyak digunakan di berbagai banyak Negara yang beriklim Tropis. Penggunaan Air Conditioning (AC) berbasis kompresor sangat membutuhkan energi terbesar pada hotel, perumahan maupun industri – industri yang membutuhkan pendinginan sebagai kebutuhan untuk meningkatkan kualitas temperatur. Pada hal tersebut pada awal evaporator dan kondensor akan diletakkan sebuah solid dry pad (SDP) yang dimana pada komponen tersebut akan ditambahkan dry ice sebagai pendingin awal yang mudah didapatkan. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui performansi sistem pendingin dengan penggunaan SDP yang tersusun staggered sebagai pendingin awal udara masuk evaporator dan kondensor, penulis melakukan sebuah penelitian mengenai pengaruh SDP yang diletakkan pada awal udara masuk evaporator dan kondensor terhadap performansi sistem pendingin. Pada penelitian ini penulis memvariasikan kecepatan laju aliran massa udara dari parameter – parameter sistem AC dalam hal ini parameter yang diambil yaitu temperatur bola kering (Dry Bulb Temperature), temperatur bola basah (Wet Bulb Temperature), konsumsi daya kompresor (P), kapasitas pendinginan (q_s) dan Coefficient Of Performance (COP). Hasil penelitian menunjukkan kapasitas pendinginan, konsumsi daya kompresor, dan COP pada penggunaan SDP masing-masing kecepatan aliran udara yaitu : pada 2,2 m/s kapasitas pendinginan 1,780 kJ/s, daya kompresor 0,500 kW, dan COP 3,5. Pada 2,4 m/s dengan kapasitas pendinginan 2,200 kJ/s, daya kompresor 0,451 kW, dan COP 4,8, sedangkan pada 2,7 m/s dengan kapasitas pendinginan 2,625 kJ/s, daya kompresor 0,440 kW dan COP 5,9.

Kata Kunci: Sistem Pendingin, Solid Dry Pad, SDP, Es Kering

Abstract

The air conditioning system has been widely used in many many tropical countries. The use of compressor-based Air Conditioning (AC) is in dire need of the greatest energy in hotels, housing, and industries that require cooling as a need to improve the quality of temperature. In this case, at the beginning of the evaporator and condenser, a solid dry pad (SDP) will be placed, where dry ice will be added to the component as an initial coolant that is easily available. The purpose of this research is to determine the performanc of the cooling system with the use of SDP which is arranged staggered as the initial cooling of the air entering the evaporator and condenser, the author conducted a study on the effect of SDP placed at the beginning of the air entering the evaporator and condenser on the performance of the cooling system. In this study the authors vary the speed of air mass flow rate from AC system parameters in this case the parameters taken are dry ball temperature (Dry Bulb Temperature), wet ball temperature (Wet Bulb Temperature), compressor power consumption (P), cooling capacity (q_s) and Coefficient of Performance (COP). The results of the research showed cooling capacity, compressor power consumption, and COP on the use of SDP for each air flow velocity, namely at 2.2 m/s cooling capacity of 1.780 kJ/s, compressor power of 0.500 kW, and COP 3.5. At 2.4 m/s with a cooling capacity of 2,200 kJ/s, compressor power is 0.451 kW, and COP 4.8, while at 2.7 m/s with a cooling capacity of 2.625 kJ/s, compressor power is 0.440 kW and COP 5, 9.

Keywords: Cooling System, Solid Dry Pad, SDP, Dry Ice

1. Pendahuluan

Sistem pendingin udara telah banyak digunakan di berbagai banyak Negara yang beriklim Tropis. Tujuan dari sistem pendingin adalah menyediakan kenyamanan dan kualitas udara dalam ruangan yang dapat diterima *Indoor Air Quality* (IAQ) untuk manusia [1]. Dengan peningkatan standar hidup, manusia membutuhkan udara yang lebih nyaman dan sehat dalam lingkungannya. Orang-orang pada umumnya menghabiskan 80 - 90% waktu mereka di dalam ruangan. Faktor-faktor yang mempengaruhi lingkungan ruangan terutama mencakup suhu, kelembaban, nilai tukar udara, pergerakan udara, ventilasi, polutan partikel, polutan biologis, dan gas

yang mencemari lingkungan. Indonesia yang beriklim tropis memiliki temperatur udara berkisar 28°-35°C. Sedangkan kondisi nyaman udara pada suatu bangunan temperatur 22°C-25°C dengan kelembaban relatif udara (*Relative Humidity*) 40%-60% [2].

Penggunaan AC berbasis kompresor sangat membutuhkan energi terbesar pada hotel, perumahan maupun industri–industri yang membutuhkan pendinginan yang sebagai kebutuhan untuk meningkatkan kualitas temperatur. Pada hal tersebut pada awal evaporator dan kondensor akan diletakkan sebuah *solid dry pad* (SDP) yang dimana pada komponen tersebut akan ditambahkan *dry ice* sebagai

pendingin awal yang mudah didapatkan. Dimana fungsi *solid dry pad* untuk dapat mengurangi kerja kompresor dengan mendinginkan terlebih dahulu udara masuk pada evaporator dan pada kondensor sehingga kerja kompresor menjadi lebih ringan. SDP yang digunakan berupa susunan pipa yang secara *staggered*. Pada penampung atau *storage dry ice* akan disusun secara *staggered* atau bisa disebut dengan susunan zig-zag.

Dengan menggunakan SDP dimana dapat memperingan kerja pada compressor dengan melakukan pendinginan awal udara masuk evaporator dan pada awal kondensor yang pada *solid dry pad* tersebut terdapat material dari *dry ice* (Es Kering). sehingga diharapkan panas yang di simpan di refrigerasi dapat diserap di kondensor secara maksimal. Dengan proses pembuangan panas yang baik maka akan terjadi kondensasi (uap panas dari refrigerasi berubah menjadi cairan atau mengembun), dengan proses kondensasi yang baik, maka akan membentuk kerja komponen-komponen yang lainnya khususnya di evaporator akan terjadi proses penyerapan kalor (pengupan cairan refrigerasi) yang baik dari suatu ruang atau benda sehingga didapatkan harga COP yang tinggi [3].

2. Dasar Teori

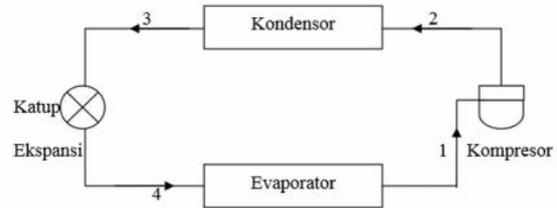
2.1 Dry ice (Es Kering)

Es kering adalah bentuk padat karbondioksida (CO_2) yang terdiri dari dua atom oksigen terikat pada atom karbon tunggal. Dry ice ini merupakan bahan yang tidak mempunyai warna, tidak memiliki bau yang tidak sedap, tidak mudah terbakar dan sedikit asam. Pada suhu diatas $-56,4^\circ\text{C}$ ($-69,5^\circ\text{F}$) dan tekanan dibawah 5,2 bar, perubahan pada karbon dioksida dari fase padat ke gas tanpa bentuk cair intervensi, melalui proses yang disebut dengan sublimasi. Proses yang berlawanan disebut deposisi, dimana perubahan pada karbon dioksida dari fase gas ke fase padat (Es Kering). Pada tekanan atmosfer, sublimasi/deposisi terjadi pada $-78,5^\circ\text{C}$ ($-109,3^\circ\text{F}$). Kepadatan es kering bervariasi, tetapi biasanya berkisar antara sekitar 1,4 dan 1,6 g/cm^3 (87–100 lb/ft^3). Suhu rendah sublimasi langsung ke gas membuat es kering merupakan pendingin yang efektif. Entalpi sublimasi pada dry ice adalah 571 kJ/kg (25,2 kJ/mol).

2.2 Prinsip Kerja AC (Air Conditioning)

Cara kerja AC dapat dilihat pada gambar 1. Pada mulanya terjadi perpindahan panas dari dalam ruangan ke luar ruangan. Kompresor yang berfungsi mengalirkan zat pendingin (*refrigerant*) ke dalam pipa tembaga yang berbentuk *coil*. Udara dihembuskan oleh kipas udara (*blower* atau *fan*) di sela-sela *coil* tadi, sehingga panas yang ada dalam udara diserap oleh pipa *refrigerant* untuk menguapkan *refrigerant* dalam *coil* (*Evaporator*) dan kemudian mengembun. Udara yang melalui *coil* dan telah diserap panasnya, masuk ke dalam

ruangan dalam keadaan sejuk/dingin. Selanjutnya udara dalam ruang dihisap dan selanjutnya proses penyerapan panas diulang kembali [4].



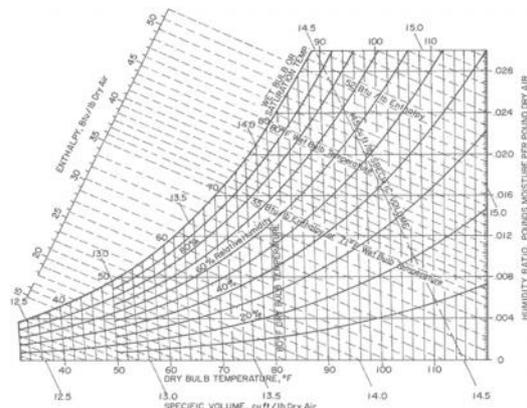
Gambar 1. Cara Kerja AC

2.3. Psychrometric Chart

Temperatur bola kering (T_{dB}) ditunjukkan oleh garis-garis vertikal yang ditarik dari sumbu horisontal diagram. Temperatur bola kering adalah ukuran dari panas *sensibel*, dan perubahan dari temperatur bola kering menyatakan perubahan dari panas *sensibel*. Temperatur bola basah (T_{wb}) ditunjukkan oleh garis-garis yang ditarik dari garis saturasi kemudian menurun ke arah kanan bawah sehingga membentuk gradien negatif.

Temperatur *dew-point* (DP) ditunjukkan dengan titik-titik yang ada di sepanjang garis saturasi. Kelembaban spesifik (w) dinyatakan dengan skala vertikal yang terletak pada batas kanan dari diagram.

Volume spesifik (v) adalah kebalikan dari massa jenis dan dinyatakan dalam volume campuran udara-uap air dalam setiap satu satuan udara kering. Volume spesifik dinyatakan dengan garis yang ditarik mulai dari sumbu dB kemudian miring tajam ke arah kiri atas, membentuk gradien negatif [5].



Gambar 2. Psychrometric chart.

2.4. Rumus Perhitungan Pengkondisian Udara

Menghitung laju aliran volume udara

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Menghitung konsumsi daya

$$P = V \cdot I \cdot t \text{ dan } P = V \cdot I \quad (2)$$

Menghitung kapasitas pendinginan

$$q_s = \dot{m} \cdot C_p (\Delta T) \quad (3)$$

$$\text{Menghitung COP} = \frac{Q_{\text{evap}}}{W_{\text{kompresor}}} \quad (4)$$

Dimana :

- Q = Debit ($\frac{m^3}{s}$)
 v = Kecepatan udara ($\frac{m}{s}$)
 ρ = massa jenis udara ($\frac{kg}{m^3}$)
 C_p = Panas spesifik ($\frac{kJ}{kgK}$)
 \dot{m} = Laju aliran massa udara ($\frac{kg}{s}$)
 q_s = Kapasitas Pendinginan (kW atau kJ/s)
 w_{komp} = Kerja Kompresor (kW)

3. Metode Penelitian

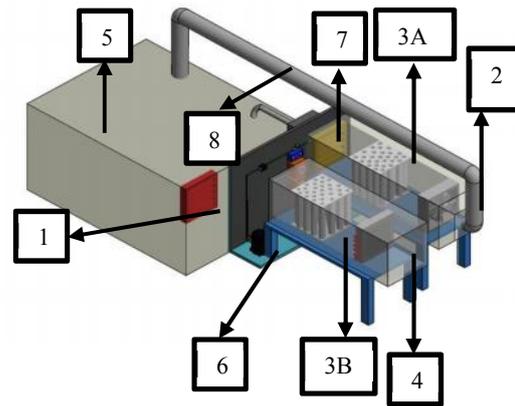
3.1. Persiapan Pengujian

Persiapan awal yang dilakukan sebelum melakukan penelitian adalah memeriksa kondisi alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengujian. Tujuan melakukan persiapan pengujian adalah untuk memperoleh data yang akurat pada hasil pengujian, adapun langkah persiapan alat meliputi:

1. Siapkan peralatan dan perlengkapan yang akan digunakan, pasang thermokopel di tempat yang sudah ditentukan .
2. Hidupkan heater dan panaskan kabin hingga 30 °C.
3. Catat temperatur awal pada kabin sampai mencapai 30 °C dan temperatur awal sebelum proses sistem dimulai.
4. Hidupkan AC tanpa SDP dan dengan SDP pada awal evaporator dan kondensor kemudian catat temperatur pada thermokopel yang sudah terpasang.
5. Atur kecepatan putaran fan pada 2,2 m/s.
6. Perhatikan dan catat data setiap 15 menit sebanyak 4 kali atau selama 60 menit.
7. Buka SDP mengeluarkan dry ice untuk mengembalikan ke kondisi awal suhu lingkungan dan matikan alat dan tunggu temperatur kabin mencapai 30 °C.
8. Ulangi langkah (1–7) untuk variasi kecepatan fan 2,4 m/s pada AC.
9. Ulangi langkah (1–7) untuk variasi kecepatan fan 2,7 m/s pada AC.

3.2. Metode Pengujian

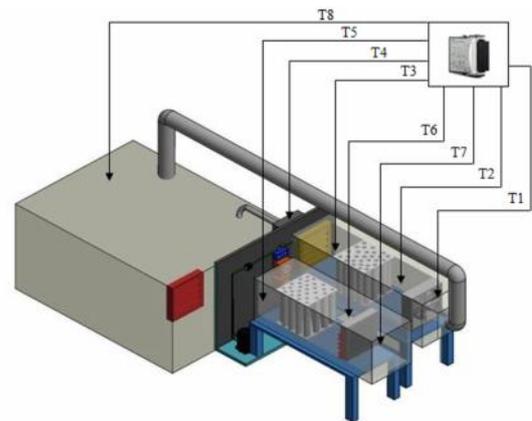
Sebelum melakukan pengujian kinerja mesin dan performan sistem pendingin dengan *solid dry pad* awal udara evaporator dan kondensor dengan dilakukan sebuah langkah pemeriksaan pada mesin tersebut dan melakukan kalibrasi pada alat ukur agar dapat memperoleh hasil yang akurat. Pemeriksaan kondisi alat dan bahan bertujuan untuk menjaga keselamatan kerja pada saat melakukan pengujian dan pengambilan data. Ukuran kabin panjang 200 cm, lebar 120 cm, dan tinggi 120 cm.



Gambar 3. Rancangan Sistem Pendingin Dengan menggunakan SDP

Keterangan gambar:

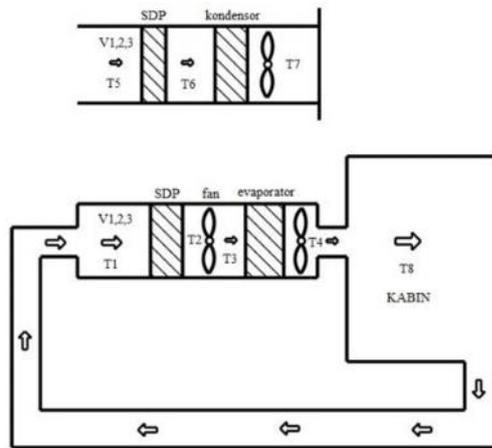
- | | |
|-----------------------------------|------------------------|
| 1. Heater | 5. Kabin |
| 2. Fan | 6. Kompresor |
| 3. (3A) SDP Evap
(3B) SDP Kond | 7. Evaporator |
| 4. Kondensor | 8. Saluran udara masuk |



Gambar 4. Skematik Pengujian Sistem Pendingin dengan SDP

Keterangan:

- T_1 = Temperatur udara masuk fan
 T_2 = Temperatur masuk SDP (Evaporator)
 T_3 = Temperatur masuk evaporator
 T_4 = Temperatur keluar evaporator
 T_5 = Temperatur masuk SDP (Kondensor)
 T_6 = Temperatur masuk kondensor
 T_7 = Temperatur keluar kondensor
 T_8 = Temperatur ruangan tercapai
 I_1 = Daya kompresor tanpa SDP
 I_2 = Daya kompresor dengan SDP



Gambar 5. Skematik Diagram Pengujian

3.3. Cara Kerja Alat Pengujian

- A. Cara kerja AC tanpa menggunakan SDP
 Pada kabin udara akan dipanaskan oleh *heater*, fungsi *heater* tersebut bertujuan untuk memanaskan udara agar udara masuk ke sistem menjadi konstan, kemudian udara yang sudah dipanaskan dari reheater akan dialirkan ke fan yang kemudian pada evaporator AC bertujuan untuk mendinginkan udara yang tadinya dipanaskan dari *heater*. Setelah udara dingin, lalu udara tersebut akan masuk ke dalam ruangan kabin. Udara yang ada diruangan kabin akan keluar ke saluran ducting udara outlet, kemudian temperatur yang masuk ke dalam kompresor AC dialirkan ke kondensor dan dimampatkan di kondensor. Panas yang dilepaskan oleh kondensor adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi panas yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan.
- B. Cara kerja AC dengan menggunakan SDP pada awal udara evaporator dan kondensor. Pada kabin udara akan dipanaskan oleh *heater* untuk memanaskan udara masuk *fan*, kemudian udara yang sudah dipanaskan akan dihembuskan dengan *fan* dan masuk ke SDP, dimana SDP berfungsi untuk mendinginkan udara yang dipanaskan *heater* yang masuk dari kabin kemudian sisa panas didinginkan oleh evaporator. Setelah udara dingin, udara tersebut akan masuk ke ruangan kabin dan kemudian udara temperatur yang lebih tinggi atau panas akan bersirkulasi kembali yang diserap oleh *fan* inlet. Panas yang terdapat pada refrigerant akan keluar ke saluran outlet, panas tersebut akan keluar melalui SDP, dimana kerja kondensor akan didinginkan terlebih dahulu oleh SDP sehingga dapat membuat kerja kompresor menjadi lebih ringan.

4. Hasil Dan Pembahasan

Pengambilan data nilai hasil pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan aliran udara

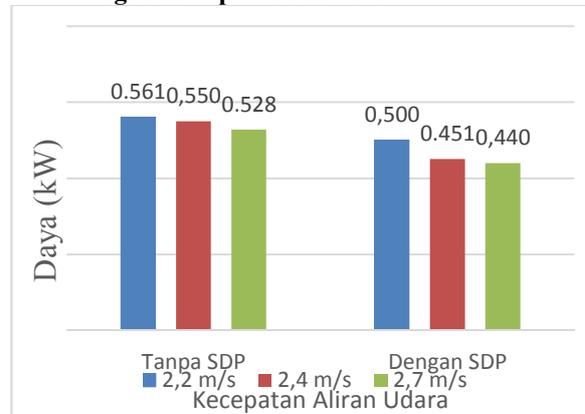
$v_1=2,2$ m/s, $v_2=2,4$ m/s, $v_3=2,7$ m/s, kemudian dilakukan pencatatan data dan perhitungan seperti menghitung debit dan laju aliran massa udara, menghitung daya kompresor, menghitung kapasitas pendinginan, dan menghitung COP.

4.1. Data Hasil Hubungan Debit dan Laju Aliran Massa Udara terhadap kecepatan

Tabel 1. Debit dan laju aliran massa udara

Kecepatan (m/s)	Debit (m ³ /s)	Laju Aliran Massa Udara (kg/s)
2,2	0,2442	0,293
2,4	0,2664	0,319
2,7	0,2997	0,359

4.2. Data Hasil Hubungan Daya Kompresor dengan Kecepatan Aliran Udara



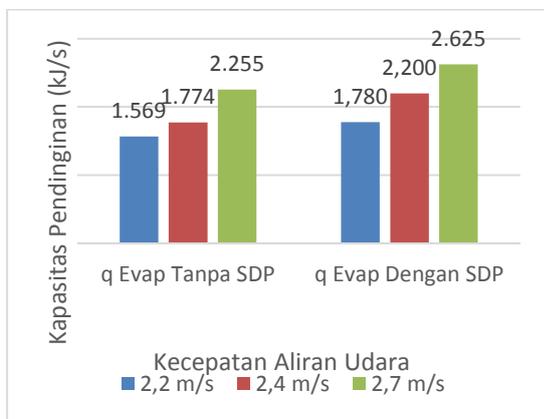
Gambar 6. Grafik batang konsumsi daya kompresor

Pada gambar 6. pada grafik batang menjelaskan bahwa konsumsi daya kompresor dengan menggunakan SDP pada kecepatan aliran udara 2,7 m/s kinerja dari sistem AC lebih rendah 16% dibandingkan daya kompresor tanpa menggunakan SDP. Pada kecepatan aliran udara 2,2 m/s konsumsi daya yang dibutuhkan tanpa menggunakan SDP sebesar 0.561 kW, sedangkan dengan menggunakan SDP awal evaporator dan kondensor membutuhkan konsumsi daya 0,500 kW. Untuk kecepatan aliran udara 2,4 m/s dan 2,7 m/s tanpa menggunakan SDP dengan konsumsi daya 0,550 kW dan 0,528 kW. Untuk pemakaian SDP awal evaporator dan kondensor dengan konsumsi daya 0,451 kW dan 0,440 kW. Jadi penggunaan SDP dengan kecepatan aliran udara 2,7 m/s lebih efektif untuk mengurangi kerja evaporator dan kompresor AC dibandingkan tanpa menggunakan SDP.

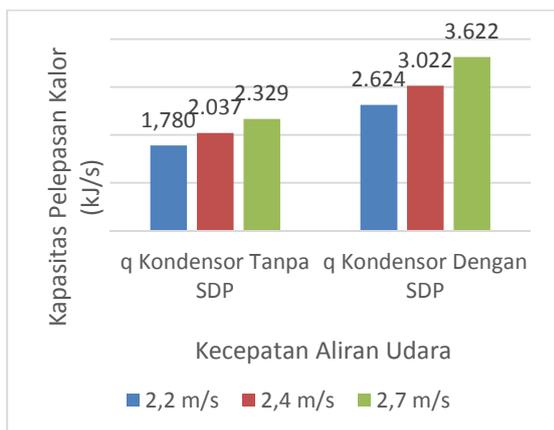
4.3 Data Hasil Hubungan Kapasitas Pendinginan dengan Kecepatan Aliran Udara

Pada gambar 7 merupakan grafik diagram batang kapasitas pendinginan evaporator tanpa SDP, SDP evaporator dan evaporator dengan SDP menjelaskan bahwa kapasitas pendinginan evaporator tanpa SDP dan dengan SDP pada kecepatan aliran udara 2,2 m/s dengan menggunakan SDP awal evaporator kapasitas

pendinginan lebih tinggi 11% dibandingkan kapasitas pendinginan tanpa menggunakan SDP. Pada kecepatan aliran udara 2,2 m/s kapasitas pendinginan tanpa menggunakan SDP sebesar 1,569 kJ/s, sedangkan dengan menggunakan SDP awal evaporator sebesar 1,780 kJ/s. Untuk kecepatan aliran udara 2,4 m/s dan 2,7 m/s tanpa menggunakan SDP dengan kapasitas pendinginan sebesar 1,774 kJ/s dan 2,255 kJ/s. Untuk pemakaian SDP awal evaporator kapasitas pendinginan yaitu 2,200 kJ/s dan 2,625 kJ/s. Jadi penggunaan SDP pada awal udara masuk pada evaporator lebih efektif untuk menambah kapasitas pendinginan evaporator AC sehingga kerja kompresor lebih berkurang dan temperatur kabin bisa lebih dingin dibandingkan penggunaan SDP pada awal udara masuk kondensor dan tanpa menggunakan SDP.



Gambar 7. Grafik batang kapasitas pendinginan evaporator

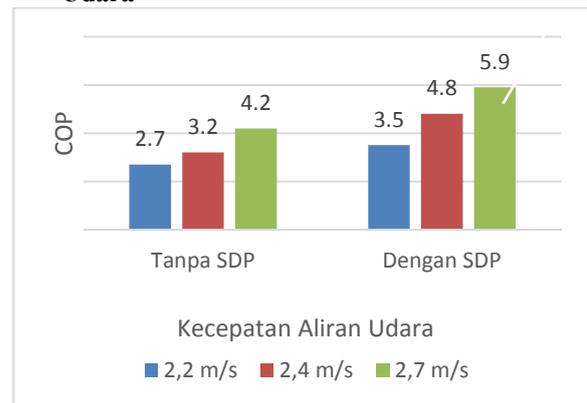


Gambar 8. Grafik batang kapasitas pelepasan kalor kondensor

Pada gambar 8 merupakan grafik diagram batang pelepasan kalor pada kondensor tanpa SDP, SDP kondensor dan kondensor dengan SDP, menjelaskan bahwa pelepasan kalor pada kondensor tanpa SDP dan dengan SDP pada kecepatan aliran udara 2,2 m/s dengan menggunakan SDP awal kondensor pelepasan kalor ke udara luar lebih tinggi 32% dibandingkan tanpa menggunakan SDP. Pada kecepatan aliran udara 2,2 m/s pelepasan kalor tanpa

menggunakan SDP sebesar 1,780 kJ/s, sedangkan dengan menggunakan SDP awal kondensor sebesar 2,264 kJ/s. Untuk kecepatan aliran udara 2,4 m/s dan 2,7 m/s tanpa menggunakan SDP dengan pelepasan kalor sebesar 2,037 kJ/s dan 2,329 kJ/s. Untuk pemakaian SDP awal kondensor pelepasan kalor menjadi 3,022 kJ/s dan 3,622 kJ/s. Jadi penggunaan SDP pada awal udara masuk pada kondensor lebih efektif agar dapat membantu pelepasan kalor yang lebih banyak ke udara luar dari kondensor AC sehingga kerja kompresor lebih berkurang dan temperatur kabin menjadi lebih dingin dibandingkan tanpa menggunakan SDP.

4.4 Data Hasil COP terhadap Kecepatan Aliran Udara



Gambar 9. Grafik batang COP

Pada gambar 9 grafik diagram batang menjelaskan bahwa COP dengan menggunakan SDP pada kecepatan aliran udara 2,7 m/s dari sistem AC lebih rendah 28% dibandingkan COP tanpa menggunakan SDP. Pada kecepatan aliran udara 2,2 m/s COP tanpa menggunakan SDP sebesar 2,7, sedangkan dengan menggunakan SDP awal evaporator dan kondensor yaitu 3,5. Untuk kecepatan aliran udara 2,4 dan 2,7 m/s tanpa menggunakan SDP dengan COP 3,2 dan 4,2. Untuk pemakaian SDP awal evaporator dan kondensor dengan COP yaitu 4,8 dan 5,9. Jadi penggunaan SDP dengan kecepatan aliran udara 2,7 m/s lebih efektif untuk meningkatkan COP dari sistem AC dibandingkan tanpa SDP karena udara kabin lebih cepat terdistribusi oleh fan evaporator dan didinginkan lagi oleh SDP evaporator.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut: kinerja *air conditioning* dengan penggunaan SDP awal udara masuk evaporator dan kondensor pada kecepatan aliran udara 2,7 m/s lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan SDP pada kecepatan aliran udara 2,4 m/s dan 2,2 m/s, dimana kapasitas pendinginan, konsumsi daya kompresor, dan COP pada penggunaan SDP masing-masing kecepatan aliran udara yaitu : pada 2,2 m/s kapasitas pendinginan 1,780 kJ/s, daya kompresor 0,500 kW, dan COP 3,5. Pada 2,4 m/s dengan kapasitas pendinginan 2,200 kJ/s, daya kompresor 0,451 kW,

dan COP 4,8, sedangkan pada 2,7 m/s dengan kapasitas pendinginan 2,625 kJ/s, daya kompresor 0,440 kW dan COP 5,9.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih terutama kepada Teknisi Laboratorium Konversi Energi, Teknik Mesin Universitas Udayana yang telah memberikan tempat untuk pengambilan data dalam penelitian ini. Penulis juga berterimakasih kepada kedua orang tua yang telah banyak mendukung baik doa dan dukungan biaya hingga selesainya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Arora C.P., 1981, *Refrigeration and Air Conditioning*, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi.
- [2] ASHRAE, 1989, *ASHRAE Standart 62-ASHRAE*. Washington DC.
- [3] Bay Lau, Emanuel, 2018, *Pengaruh Kecepatan Fan Evaporator Terhadap Kinerja AC*, Univesitas Nusantara PGRI Kediri.
- [4] Stoecker W.F., Jones J.W., 1982, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Airlangga, Jakarta.
- [5] Sungadiyanto, 2006, *Studi Eksperimental Performa Mesin Pengkondisian Udara (AC) MC Quay Dengan Refrigerant R-22*, Universitas Semarang.



Gusti Ngurah Eka Suputra telah menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2015 sampai 2019. Dengan judul penelitian Performansi Sistem Pendingin Dengan Penggunaan Staggered Solid Dry Pad Sebagai Pendingin Awal Udara Pada Evaporator Dan Kondensor.