

DEHUMIDIFIKASI UDARA TERTUTUP MENGUNAKAN *DESICCANT* KARBON AKTIF

Josena Suranta Surbakti^{1*}, Bambang Yuniyanto², Muchammad²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: ssjosena@gmail.com

Abstrak

Alat pengering udara merupakan solusi yang efektif dalam menjaga kualitas udara di lingkungan sekitar. Alat ini dirancang untuk mengatasi permasalahan kelembaban udara yang menyebabkan dampak yang dapat memengaruhi kenyamanan, kesehatan, dan bahkan keberlanjutan lingkungan. Beberapa di antaranya adalah rasa panas yang lebih tinggi pada lingkungan sekitar, bertumbuhnya mikroorganisme, dan kerusakan material yang disebabkan oleh terjadinya korosi. Sistem *sorbent dehumidifier* tertutup merupakan salah satu jenis dari *desiccant dehumidifier*, di mana sistem ini bekerja dengan menggunakan material berupa *desiccant* dalam proses penyerapan uap air. Terdapat beberapa jenis *desiccant* yang umum digunakan dalam pengeringan udara, seperti *silica gel*, zeolit, dan karbon aktif. Metode yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah dengan menggunakan beragam variasi *setting* pada alat pengering udara sistem tertutup menggunakan *desiccant* karbon aktif untuk mengetahui tingkat penyerapan yang efektif pada sistem ini. Dari pengujian yang dilakukan, didapat hasil di mana suhu pemanasan berpengaruh pada kelembaban udara awal, di mana pada suhu 40°C kelembaban udara akan lebih rendah dibanding pada suhu 30°C. Kecepatan udara dan ketebalan material *desiccant* karbon aktif juga berpengaruh terhadap tingkat penyerapan air dalam udara.

Kata Kunci: dehumidifikasi; *desiccant*; karbon aktif; sistem tertutup; sorben

Abstract

An air dryer is an effective solution for maintaining air quality in the surrounding environment. This tool is designed to overcome the problem of air humidity which causes impacts that can affect comfort, health and even the existence of the environment. Some of these are a higher feeling of heat in the surrounding environment, the growth of microorganisms, and material damage caused by corrosion. The closed sorbent dehumidifier system is one type of desiccant dehumidifier, where this system works by using material in the form of desiccant in the process of absorbing water vapor. There are several types of desiccants that are commonly used in air drying, such as silica gel, zeolite, and activated carbon. The method used in this research is to use various variations of settings on a closed system air dryer using activated carbon desiccant to determine the effective absorption level in this system. From the tests carried out, results were obtained where the heating temperature had an effect on the initial air humidity, where at a temperature of 40°C the air humidity would be lower than at a temperature of 30°C. Air speed and thickness of activated carbon drying material also influence the level of air absorption in the air.

Keywords: *activated carbon; closed system; dehumidification; desiccant; sorbent*

1. PENDAHULUAN

Pengaruh kelembapan udara terhadap manusia telah menjadi topik penelitian yang signifikan dalam beberapa dekade terakhir. Berdasarkan tinjauan literatur yang ada, terdapat beberapa pengaruh penting dari kelembapan udara terhadap manusia yang diantaranya meliputi kesehatan mata, kesehatan saluran pernapasan, penularan virus, dan kualitas tidur. [1]

Oleh karena itu, dehumidifikasi udara menjadi penting untuk menjaga kelembapan udara dalam lingkungan. Terdapat tiga metode dehumidifikasi yang paling umum digunakan meliputi dehumidifikasi berbasis refrigerasi, dehumidifikasi berbasis ventilasi, dan dehumidifikasi dengan *desiccant*. Dalam dehumidifikasi berbasis refrigerasi, udara didinginkan untuk mengondensasi uap air, yang kemudian udara kering dihangatkan kembali dan dilepaskan kembali ke dalam ruangan [2]. Dalam dehumidifikasi berbasis ventilasi, ventilasi dalam suatu ruangan akan ditingkatkan untuk membawa udara segar dan lebih kering, yang bertujuan untuk menurunkan tingkat kelembapan di dalam ruangan, dan seringkali dikombinasikan dengan metode dehumidifikasi lainnya [3].

Dalam dehumidifikasi dengan desiccant, bahan desiccant digunakan untuk menyerap kelembapan dari udara, yang kemudian diregenerasi melalui pemanasan atau paparan terhadap aliran udara kering [4].

Dalam dehumidifikasi dengan *desiccant*, *desiccant* akan menarik kelembapan dari udara dengan membuat area bertekanan uap rendah di sekitar permukaan *desiccant*. Dengan tekanan yang diberikan oleh air di udara yang lebih tinggi, menyebabkan air berpindah dari udara ke *desiccant* dan menurunkan kelembapan udara. *Desiccant* dapat berwujud padat maupun cairan, di mana dalam menyerap uap air, *desiccant* dapat diklasifikasikan sebagai adsorben dan adsorben. Adsorben yang umumnya bersifat padat, mengikat uap air pada permukaan material *desiccant*, sedangkan adsorben yang umumnya bersifat cair, mengikat uap air dengan mengubah struktur kimia pada material *desiccant* [5].

Dehumidifikasi dengan *desiccant* memiliki sejumlah keuntungan tertentu tergantung pada kondisi penggunaannya. Beberapa keuntungan ini di antaranya adalah kemampuannya untuk bekerja dengan efisien pada tingkat kelembapan yang sangat rendah [6], efisiensi energi yang baik [7], dapat digunakan untuk berbagai jenis aplikasi yang luas seperti industri makanan, farmasi dan laboratorium [8], serta memiliki kontrol yang akurat terhadap kelembapan [9]. Pada pengujian ini, digunakan *desiccant* karbon aktif, yang merupakan salah satu jenis *desiccant* berwujud padat yang memiliki permukaan berpori serta luas permukaan yang besar. *Desiccant* ini merupakan salah satu jenis bahan yang mudah ditemukan karena memiliki fungsi lain seperti sebagai media penyaring air, serta memiliki harga yang terjangkau.

Dalam artikel ini dilaporkan pengujian terhadap kelembapan udara dalam ruangan tertutup dengan menggunakan *desiccant* karbon aktif. Variabel yang digunakan dalam pengujian ini adalah variasi pada suhu, kecepatan angin, dan ketebalan *desiccant* karbon aktif pada ruang pengering udara. Dengan variabel berikut diharapkan dapat ditemukan pengaturan terbaik untuk dehumidifikasi menggunakan *desiccant* karbon aktif.

2. OBJEK PENELITIAN

2.1. Dehumidifikasi Sistem Tertutup

Pengeringan udara dengan sistem tertutup dilakukan untuk menguji tingkat penyerapan air pada udara di dalam sistem tertutup tanpa adanya udara luar yang masuk, sehingga, idealnya, kelembapan udara selalu turun hingga air dalam udara tidak dapat terserap lagi oleh material *desiccant*.

Dengan menggunakan karbon aktif sebagai *desiccant* dehumidifikasi sistem tertutup, kelembapan udara dicari dengan berbagai variasi, yaitu suhu pemanasan, kecepatan udara, dan ketebalan material *desiccant* dalam ruang pengering. Setelah kelembapan udara didapat hingga kelembapan tidak dapat berkurang lagi, data diolah menjadi rasio kelembapan, selisih rasio kelembapan, dan tingkat penyerapan air dari udara, dengan persamaan berikut:

$$W = 621,98 \times \frac{P_{gw} \times \phi}{P - (P_{gw} \times \phi)} ; \Delta W = W_1 - W_2 ; \%W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100\%$$

Di mana:

W	: Rasio Kelembapan (g/kg)	ΔW	: Selisih Rasio Kelembapan (g/kg)
P_{gw}	: Tekanan pada Uap Air (Pa)	$\%W$: Tingkat Penyerapan Air dari Udara
P	: Tekanan Atmosfir (Pa)		
ϕ	: <i>Relative humidity</i> (%)		

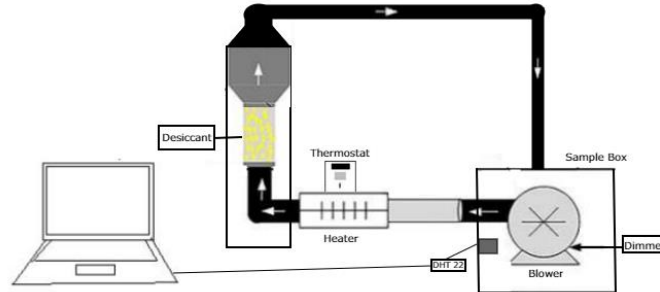
2.2. Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan salah satu jenis adsorben yang sering digunakan dalam proses dehumidifikasi. Karbon aktif adalah salah satu bentuk karbon yang telah diproses sehingga permukaannya menjadi sangat berpori dan memiliki luas permukaan sangat besar yang tersedia untuk adsorpsi kelembapan. Karena tingkat mikroporositasnya yang tinggi, 1 gram karbon aktif dapat mencapai luas permukaan lebih dari 500 m². Karbon aktif umum digunakan dalam berbagai macam aplikasi di tingkat komersial dan tingkat domestik. Dibandingkan dengan adsorben lain, karbon aktif tersedia dengan sangat berlimpah di banyak negara dan dapat diproduksi mudah dengan berbagai macam cara [10].

Pengujian yang dilakukan menggunakan *desiccant* karbon aktif yang dibuat dari batok kelapa dengan *moisture content* sebesar 8%.

2.3. Skema Alat

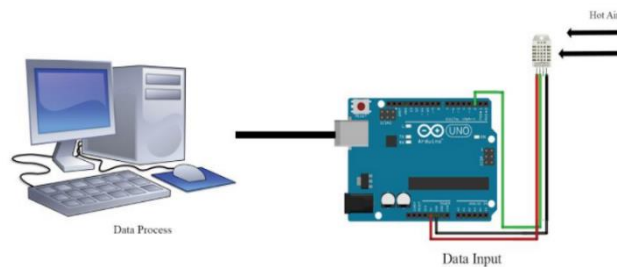
Pengujian *desiccant* karbon aktif pada sistem *dehumidifier* tertutup dilakukan pada Laboratorium Termofluida Teknik Mesin Universitas Diponegoro, dengan skema alat pengujian yang dapat ditunjukkan pada gambar 1. *Dehumidifier* yang digunakan terdiri dari beberapa komponen yang berfungsi sebagai sistem pengeringan untuk menguji kemampuan *desiccant* karbon aktif dalam menyerap air pada udara di ruangan tertutup.



Gambar 1. Skema Alat Pengujian Dehumidifier Tertutup

Program yang digunakan dalam akuisisi data pengujian dilakukan menggunakan arduino uno dengan bahasa C yang diprogram untuk mengambil sampel sensor setiap 2 detik hingga kelembapan yang terbaca tidak berubah lagi, di mana total sampel yang didapat untuk setiap pengujian rata-rata sejumlah 2700 sampel dari pengambilan data selama 90 menit. yang nantinya akan diproses menjadi grafik *relative humidity* dan temperatur terhadap waktu.

Sensor DHT22 sendiri merupakan sensor digital kelembapan dan suhu relatif. Sensor DHT22 menggunakan kapasitor dan termistor untuk mengukur udara disekitarnya dan keluar sinyal pada pin data. DHT22 diklaim memiliki kualitas pembacaan yang baik, dinilai dari respon proses akuisisi data yang cepat dan ukurannya yang minimalis. Skematik dari sensor DHT22 yang dihubungkan dengan komputer dapat dilihat pada gambar 2.



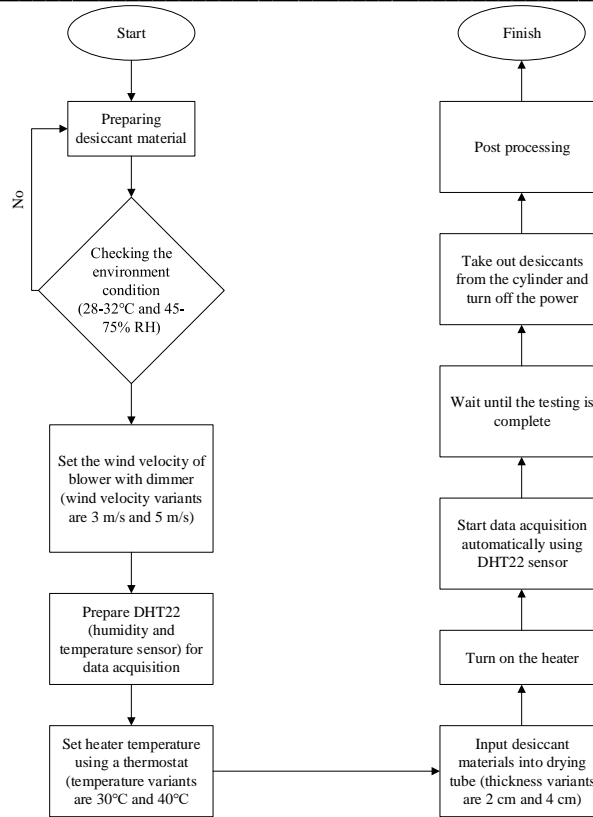
Gambar 2. Skematik Sensor DHT 22

2.4. Prosedur Pengujian

Pada *heater* terdapat *thermostat* yang merupakan salah satu sensor suhu yang berfungsi untuk mengatur suhu *heater* yang akan dialiri oleh udara dari *blower* sehingga udara tersebut memiliki suhu yang diinginkan ketika melewati *desiccant* yang akan diuji. Berikut merupakan prosedur untuk setup sensor *thermostat* sebelum dilakukan pengujian:

- Sambungkan kabel listrik pada thermostat,
- Setelah *thermostat* menyala, atur suhu sesuai kebutuhan,
- Tekan dan tahan tombol up pada thermostat hingga layar berkedip.
- Atur suhu mati sesuai kebutuhan (30°C)
- Atur suhu nyala dengan menekan dan tahan tombol down hingga berkedip,
- Atur suhu nyala sesuai kebutuhan (29,5°C)
- Lakukan pengambilan data,
- Ulangi prosedur b hingga g dengan aturan suhu 40°C.

Selanjutnya dilakukan pengujian pengambilan data untuk *desiccant* karbon aktif dengan tahap-tahap yang sudah disediakan seperti yang dapat dilihat pada gambar 3, hal ini bertujuan untuk mengurangi kesalahan yang dipengaruhi oleh lingkungan sekitar serta kondisi alat yang tidak dalam kondisi optimal.

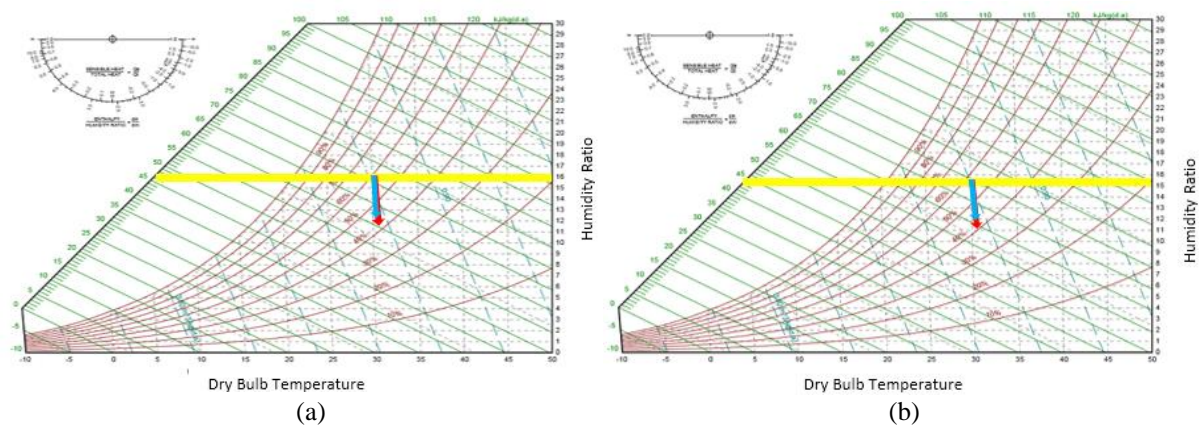


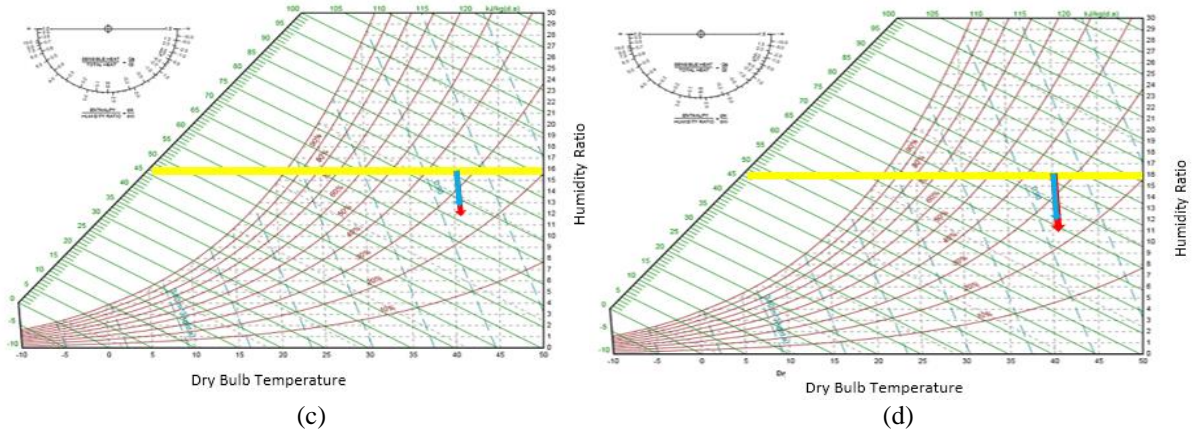
Gambar 3. Diagram Alir Prosedur Pengujian *Desiccant* Karbon Aktif

2.5. Pengolahan Data

Setelah dilakukan pengujian, untuk mendapatkan hasil yang diinginkan diperlukan melakukan *post processing*. Pada tahap ini dilakukan pemrosesan data, di mana data mentah yang diambil dengan sensor diolah menjadi diagram psikometrik dan grafik agar mudah dipahami.

Diagram psikometrik adalah alat untuk memahami hubungan dari berbagai parameter udara dan *relative humidity*. Diagram ini memungkinkan desainer atau operator mengondisikan udara sesuai yang dibutuhkan atau diinginkan [11]. Dengan menggunakan diagram psikometrik ini, *humidity ratio* dapat ditentukan dengan data *relative humidity* dan suhu udara yang telah didapatkan melalui sensor yang digunakan selama pengujian.





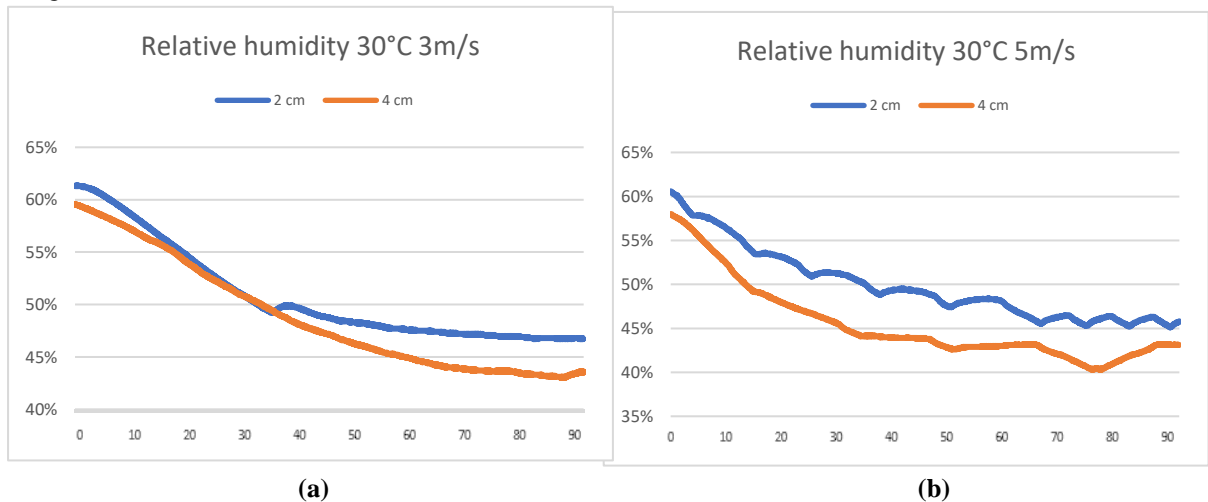
Gambar 4. Perbandingan *moisture ratio* variasi ketebalan 2 cm (biru) dan 4 cm (merah) dengan kondisi awal lingkungan (kuning), pada variasi (a) suhu 30°C kecepatan 3 m/s, (b) suhu 30°C kecepatan 5 m/s, (c) suhu 40°C kecepatan 3 m/s, (d) suhu 40°C kecepatan 5 m/s

Untuk mempermudah proses kalkulasi *humidity ratio*, digunakan *Add-In Excel PSYCH.XLA*. *Add-In Excel* ini merupakan plugin atau fungsi yang dapat menghitung kandungan pada udara lembab di aplikasi. Dengan fungsi ini, *humidity ratio* dapat mudah dihitung dari *relative humidity*, suhu, dan tekanan atmosfer.

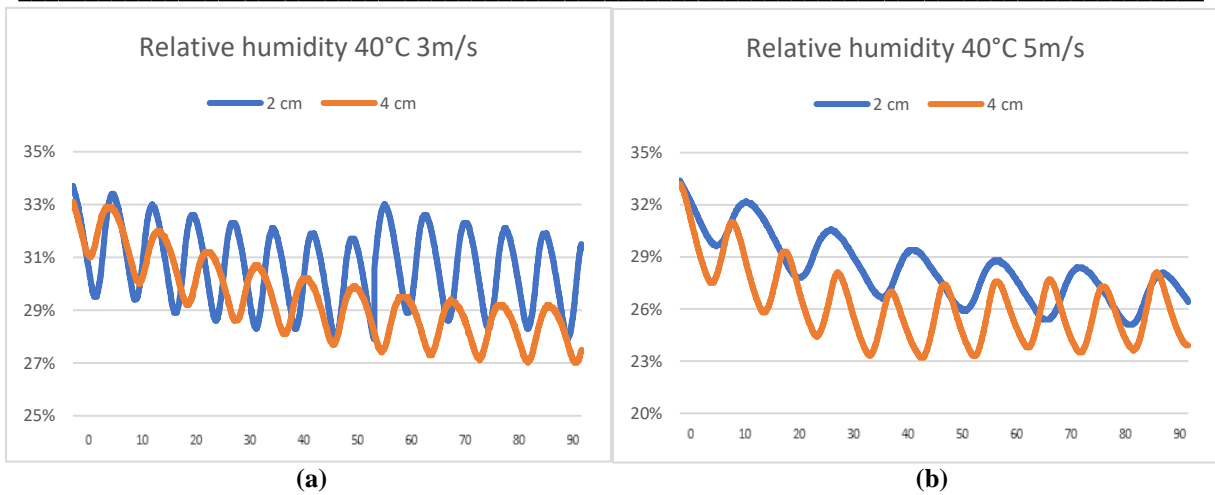
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian

Berikut adalah hasil dari data perbandingan *relative humidity* terhadap waktu pada *desiccant* karbon aktif dengan suhu 30°C dan 40°C.

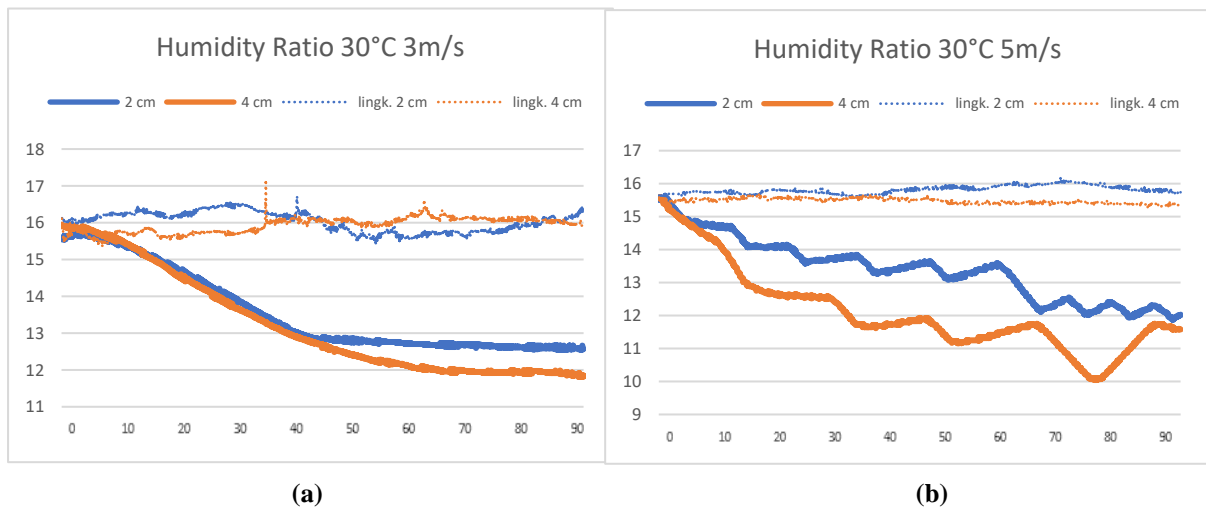


Gambar 5. *Relative humidity* pada Variasi Suhu 30°C dengan kecepatan (a) 3 m/s dan (b) 5 m/s.

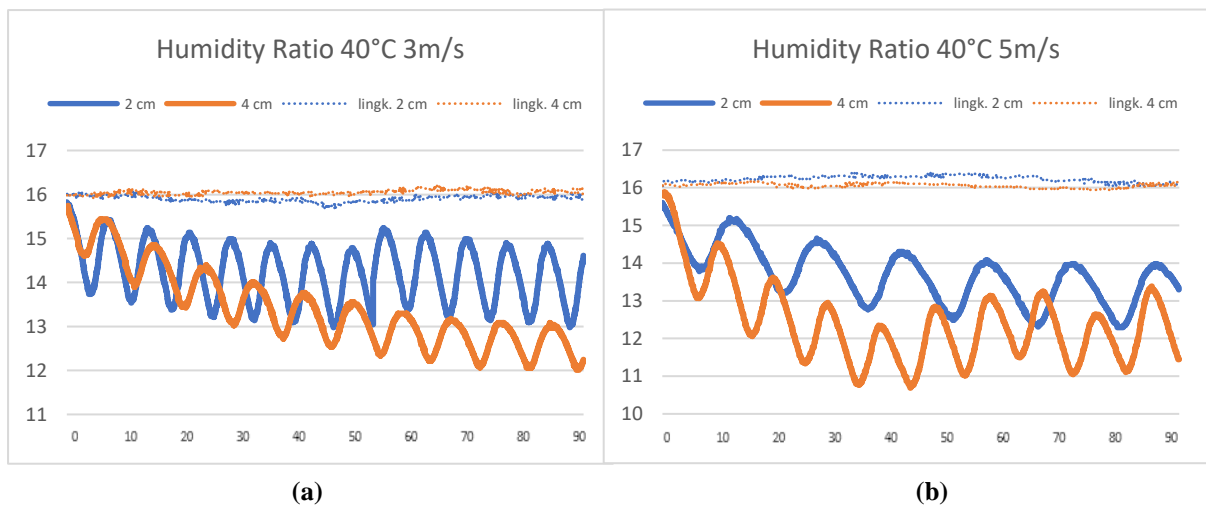


Gambar 6. *Relative humidity* pada Variasi Suhu 40°C dengan kecepatan (a) 3 m/s dan (b) 5 m/s.

Berikut adalah adalah hasil dari data perbandingan *humidity ratio* terhadap waktu pada *desiccant* karbon aktif dengan suhu 30°C, 40°C.



Gambar 7. *Humidity Ratio* pada Variasi Suhu 30°C dengan kecepatan (a) 3 m/s dan (b) 5 m/s.



Gambar 8. *Humidity Ratio* pada Variasi Suhu 40°C dengan kecepatan (a) 3 m/s dan (b) 5 m/s.

Dari data yang diperoleh, dapat dilihat variasi suhu menentukan *relative humidity* awal, di mana pada suhu 40°C, *relative humidity* lebih rendah daripada pada suhu 30°C. Hal ini disebabkan oleh perbedaan suhu yang dapat

mempengaruhi kelembapan udara, di mana semakin tinggi suhu, maka semakin rendah juga kelembapan udara di sekitar [12].

Dari grafik yang ditunjukkan di atas, dapat terlihat tingkat penyerapan *moisture* menggunakan *desiccant* karbon aktif yang paling baik terjadi pada variasi ketebalan *desiccant* 4 cm dan kecepatan 5 m/s sedangkan, tingkat penyerapan *moisture* menggunakan *desiccant* karbon aktif yang paling buruk terjadi pada variasi ketebalan *desiccant* 2 cm dan kecepatan 3 m/s. Hal ini disebabkan oleh perbedaan variasi ketebalan *desiccant* dan kecepatan udara yang diberikan mempengaruhi besarnya luas permukaan *desiccant* yang dilewati oleh udara.

Berikut ini adalah tabel tingkat penyerapan air pada *desiccant* karbon aktif dilihat dari variasi antara suhu, kecepatan udara, dan ketebalan *desiccant* sehingga dapat diperoleh hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Selisih *Humidity Ratio* Antara Lingkungan dengan Hasil Pengujian (g air/kg udara)

Selisih <i>Humidity Ratio</i>	3 m/s		5 m/s	
	2 cm	4 cm	2 cm	4 cm
30°C	3,78657409	4,100237793	3,86653282	5,276954321
40°C	2,910141262	4,093159933	3,787590168	5,387840311

Tabel 2. Tingkat Penyerapan Air dari Udara

Tingkat Penyerapan Air	3 m/s		5 m/s	
	2 cm	4 cm	2 cm	4 cm
30°C	23,2%	25,8%	24,6%	34,4%
40°C	18,3%	25,4%	23,5%	32,5%

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, beberapa kesimpulan dapat dirangkum sebagai berikut:

- Variasi ketebalan *desiccant* dan kecepatan udara mempengaruhi tingkat penyerapan *moisture* dari udara, di mana semakin banyak *desiccant* yang diberikan dan semakin cepat udara yang dialirkan, maka semakin tinggi juga penurunan *moisture ratio* pada udara. Sedangkan, variasi suhu udara mempengaruhi kondisi awal udara saat hendak dikeringkan.
- Setting* variasi yang paling besar mengalami penurunan *humidity ratio*-nya terjadi pada variasi ketebalan *desiccant* 4 cm, kecepatan udara 5 m/s, dan pada suhu 30°C, dengan tingkat penurunan *moisture ratio* di udara sebesar 34,4% dibandingkan dengan *humidity ratio* pada udara awal sebelum pengujian.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Wolkoff, P. (2018). Indoor air humidity, air quality, and health – An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(3), 376–390. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.015>
- Stanfield, C., & Skaves, D. (2016). *Fundamentals of HVACR*.
- Heinsohn, R. J., & Cimbala, J. M. (2003). *Indoor Air Quality Engineering: Environmental health and control of indoor pollutants*. Retrieved from <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA62623287>
- Wang, S. K. (1994). Handbook of air conditioning and refrigeration. *Choice Reviews Online*, 32(02), 32–0959. <https://doi.org/10.5860/choice.32-0959>
- Harriman, L. G. (2019). *The Dehumidification Handbook*.
- Brundrett, G. W. (2013). *Handbook of Dehumidification Technology*. Butterworth-Heinemann.
- Sonntag, R. E., & Borgnakke, C. (2006). *Introduction to Engineering Thermodynamics*. Wiley.
- Ghosh, T. K., & Hines, A. L. (1999). Solid desiccant dehumidification systems. In *Studies in Surface Science and Catalysis* (pp. 879–916). [https://doi.org/10.1016/s0167-2991\(99\)80575-8](https://doi.org/10.1016/s0167-2991(99)80575-8)
- Olivieri, J. B., Singh, T., & Lovodocky, S. (1996). *Psychrometrics: Theory and Practice*. Amer Society of Heating.

-
- [10] Senanayake, N. S. (2011). Activated carbon for drying compressed air for low pressure applications. *ResearchGate*. Diambil dari https://www.researchgate.net/publication/281782871_Activated_Carbon_for_Drying_Compressed_Air_for_Low_Pressure_Applications
- [11] Dyro, J. F. (2020). *Clinical Engineering handbook*. Elsevier eBooks. <https://doi.org/10.1016/c2016-0-04298-5>
- [12] Biki, R., Baderan, D. W. K., & Hamidun, M. S. (2021). Pengaruh Suhu dan Kelembaban Terhadap Rasio Kelembaban dan Entalpi (Studi Kasus: Gedung UNIFA Makassar). *Losari : Jurnal Arsitektur Dan Pemukiman*, 102–114. <https://doi.org/10.33096/losari.v6i2.311>