

# Studi Numerik Sistem Dehumidifikasi dengan Cairan Pengering pada Pelat Vertikal Datar

Nico Ndaru Pratama<sup>1</sup>, Hifni Mukhtar Ariyadi<sup>1\*</sup>, Joko Waluyo<sup>1</sup>, Wahyu Hayatullah<sup>1</sup>, Abdur Raziq<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Gadjah Mada 1; [nicodarupratama@mail.ugm.ac.id](mailto:nicodarupratama@mail.ugm.ac.id)

<sup>1</sup>Universitas Gadjah Mada 1; [hifni.m.a@ugm.ac.id](mailto:hifni.m.a@ugm.ac.id)

<sup>1</sup>Universitas Gadjah Mada 1; [JokoWaluyo@ugm.ac.id](mailto:JokoWaluyo@ugm.ac.id)

<sup>1</sup>Universitas Gadjah Mada 1; [wahyuhayatullah@mail.ugm.ac.id](mailto:wahyuhayatullah@mail.ugm.ac.id)

<sup>1</sup>Universitas Gadjah Mada 1; [raziq480@gmail.com](mailto:raziq480@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.xxxxx/xxxxx>

\*Correspondensi: Hifni Mukhtar Ariyadi

Email: [hifni.m.a@ugm.ac.id](mailto:hifni.m.a@ugm.ac.id)

Published: Januari, 2024



**Copyright:** © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

**Abstrak:** Kelembapan udara merupakan faktor yang sangat penting dalam menciptakan suasana nyaman bagi tubuh manusia. Di negara tropis seperti Indonesia, tingkat kelembapan pada umumnya relatif tinggi, dengan suhu yang relatif konstan. Penjelasan tersebut menyatakan bahwa dalam sebuah ruangan, beban pengaturan kelembapan dan suhu udara agar terasa nyaman masih cukup besar. Guna mengatur jumlah uap air dapat dilakukan proses dehumidifikasi dengan menggunakan cairan pengering. Tujuan dari penelitian ini adalah menguji skema sistem yang digunakan untuk meningkatkan kualitas udara dengan cara menurunkan kelembapan udara, dengan menentukan distribusi temperatur dan nilai keluaran rasio kelembapan pada sistem dehumidifikasi dengan memvariasikan nilai kondisi awal dan jenis cairan pengering. Penelitian dilakukan secara komputasi numerik, dengan menggunakan metode beda hingga dengan cara eksplisit. Proses dehumidifikasi terjadi antara cairan pengering dengan udara. Nilai properties dari setiap cairan pengering dan udara pada kondisi berbeda di setiap volume kontrol memiliki nilai yang berbeda. Jenis cairan pengering yang digunakan adalah LiCl dan CaCl<sub>2</sub>. Penelitian dilakukan secara kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan karakteristik dan nilai sifat antara larutan LiCl dan larutan CaCl<sub>2</sub> mengakibatkan perbedaan proses reduksi kadar air. Kemudian pada proses penyerapan uap air dari udara, cairan pengering mengalami proses reaksi eksotermik, sehingga suhu cairan pengering meningkat. Pengembangan persamaan terjadi pada parameter difusivitas massa, sehingga mempengaruhi penurunan rasio kelembapan. Selain itu, nilai kondisi awal juga mempengaruhi proses penurunan kelembapan. Berdasarkan dari hasil penelitian diperoleh bahwa kinerja larutan LiCl dalam proses penyerapan uap air diudara lebih baik dibandingkan larutan CaCl<sub>2</sub>.

**Keywords:** dehumidifikasi 1; cairan pengering 2; studi numerik 3

## PENDAHULUAN

Udara berkualitas bukan sekedar bersih dan bersuhu nyaman. Tingkat kelembapan udara yang tepat juga penting bagi kenyamanan dan kesehatan. Tanpa terlihat secara kasat mata, udara mengandung uap air. Banyaknya uap air mempengaruhi tingkat kelembapan di udara. Di negara-negara tropis seperti di Indonesia, tingkat kelembapan pada umumnya relatif tinggi, dengan suhu yang relatif konstan, tingkat kelembapan tidak banyak mengalami perubahan sepanjang tahun. Perubahan drastis biasanya terjadi pada saat memasuki musim hujan dan musim kemarau. Menurut data dari Badan Pusat Statistika di Indonesia, nilai kelembapan di Indonesia rata – rata memiliki nilai 70% hingga 80 %. Dari data tersebut menjelaskan bahwa dalam suatu ruangan, pembebanan untuk mengatur kelembapan dan suhu udara supaya terasa nyaman masih tergolong besar. Hal ini sesuai dengan penjelasan yang dilakukan oleh (Maryadi, 2021) bahwa semakin banyak udara

segar yang dimasukkan ke dalam ruangan akan mengakibatkan kapasitas beban pendingin dan kelembaban udara di dalam ruangan semakin tinggi, dan aktifitas orang di dalam ruangan tersebut semakin berat akan mengakibatkan kapasitas beban pendingin dan kelembaban udara di dalam ruangan semakin tinggi juga dan begitu juga sebaliknya

Dari kondisi iklim tersebut masyarakat yang tinggal di negara – negara tropis berbondong – bondong menggunakan sistem pengkondisian udara (AC). Sistem pengkondisian udara (AC) menuntut porsi yang signifikan dari total energi yang dikonsumsi oleh sektor bangunan (Gurubalan dkk., 2019). Hal ini disebabkan karena metode kontrol kelembaban dan penggunaan refrigeran dilakukan pada satu sistem sekaligus dengan potensi pemanasan global, sehingga tidak hemat energi dan tidak ramah lingkungan. Dimana dijelaskan juga oleh (Astina and Nugraha, 2021) Konsumsi energi HVAC (pemanas, ventilasi, dan pendingin udara) sistem pada bangunan menyumbang 40% dari konsumsi energi global. Jumlah energi yang dibutuhkan tergantung pada beban dan sistem HVAC. Selain itu, penggunaan refrigeran pada sistem HVAC terkadang menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan, seperti penipisan lapisan ozon dan pemanasan global. Saat ini, banyak upaya telah dilakukan untuk mengembangkan sistem green HVAC. Upaya tersebut dapat berupa penambahan alat bantu atau penggantian sistem HVAC yang sudah ada.

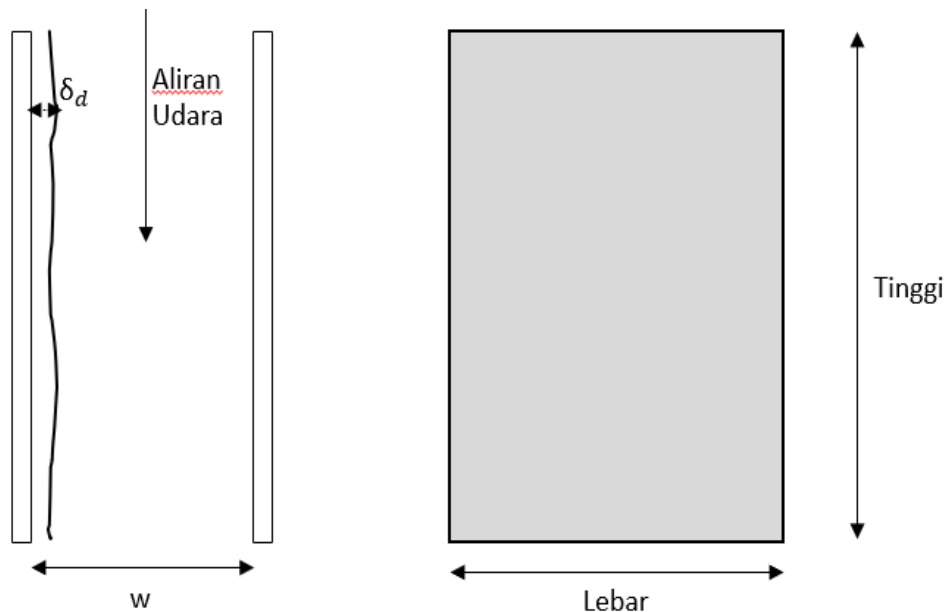
Dalam beberapa tahun terakhir telah tercipta inovasi baru dalam AC rumah tangga dengan konsep cairan pengering (Mesquita dkk., 2006). Alasan terciptanya inovasi tersebut menurut (Hueffed dkk., 2009) sama seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya yaitu karena biaya listrik, stabilitas jaringan, dan pemanasan global menjadi keprihatinan yang berkembang, yang mengarah ke alternatif sumber pembangkit energi dan fokus utamanya yaitu pada tingkat efisien penggunaan energi. Menurut (Medrano dkk., 2003) cairan pengering umumnya memiliki sistem pembersihan otomatis yang ditujukan menginduksi aliran uap yang kaya inert, yang mana air dalam udara dipisahkan dalam perangkat, sedangkan uapnya dikembalikan ke sistem. Pada penelitian selanjutnya yang dilakukan oleh (Varela dkk., 2019) membahas tentang model praktis untuk proses perpindahan panas dan massa secara simultan dalam dehumidifier berpendingin internal dipasangkan dengan pengering cairan ionik yang baru dikembangkan dari Evonik Industries dengan metode ekperimental dan pendekatan numerik. Perpindahan panas dan massa diperkirakan menggunakan analogi koefisien perpindahan panas dan massa dari literatur yang menggabungkan ketebalan film variabel dan model pembasahan parsial, sehingga perlu memperhitungkan perubahan ketebalan film dan area basah di masing-masing volume control. Dari hasil dua metode antara ekperimental dan pendekatan numerik kemudian dibandingkan.

Dibutuhkan suatu penelitian yang bertujuan untuk menguji suatu sistem yang mampu menurunkan tingkat kelembaban di udara dengan menggunakan sistem cairan pengering sehingga meningkatkan kualitas udara dan menurunkan beban kinerja AC. Sistem dehumidifikasi dengan cairan pengering dirancang dan diuji dengan menggunakan pendekatan numerik. Pada penelitian sebelumnya berfokus pada sistem tanpa memperhitungkan perubahan propertie seperti yang dilakukan oleh (Hueffed dkk., 2009), sehingga pada penelitian ini sistem akan diuji dengan memvariasikan jenis cairan pengering dan memvariasikan kondisi awal dengan mempertimbangkan perubahan nilai propertiesnya. Perhitungan nilai properties dengan menggunakan persamaan pada (Conde, 2014; Song dkk., 2019).

## METODE

Sistem yang diusulkan pada penelitian ini adalah siklus cairan pengering yang berada pada dehumidifier, dimana siklus tersebut dapat mentransfer kelembaban dan panas antara aliran udara pasokan.

Sistem yang digunakan berupa pelat vertikal datar yang dilapisi cairan pengering. Aliran udara masuk pada bagian atas pelat kemudian keluar melalui bagian bawah pelat. Kemudian arah aliran *liquid desiccant* (cairan pengering) searah dengan aliran udara. Pada saat udara melewati sistem, terjadi penyerapan uap air yang dilakukan *liquid desiccant* yang diakibatkan perbedaan konsentrasi dan terjadi perpindahan kalor yang diakibatkan perbedaan temperature. Skema sistem akan ditunjukkan pada Gambar 1, dengan ukuran tinggi 1 meter lebar 0,5 meter.



Gambar 1. Skema sistem dehumidifikasi

#### Sistem Adiabatik

Asumsi-asumsi yang dibuat dalam perumusan persamaan yang berlaku untuk satu volume kendali mencakup hal-hal berikut: kesetimbangan termodinamika terjadi pada antarmuka udara-pengering, kondisi stabil, tidak ada panas atau massa yang dipindahkan ke atau dari lingkungan, tidak ada gaya geser antara udara dan larutan pengering, tidak ada efek panjang masuk, dan tidak ada gaya benda. Pembagian udara menjadi komponen udara kering dan uap air, kesetimbangan energi dan massa dapat dituliskan sebagai :

$$\dot{m}_{da,i}h_{da,i} + \dot{m}_{wv,i}h_{g,i} = \dot{m}_{da,e}h_{da,e} + \dot{m}_{wv,e}h_{g,e} + \dot{m}_w h_{f,e} + Qc \quad (1)$$

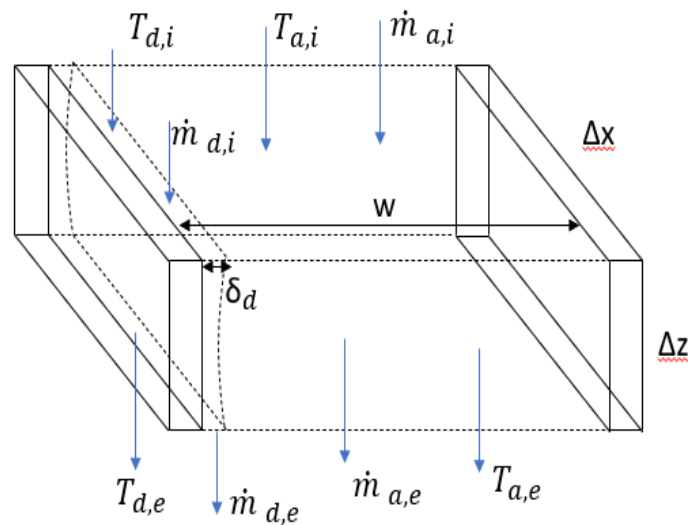
$$\dot{m}_{a,i}C_{a,i} - \dot{m}_{a,e}C_{a,e} = 2(\dot{m}_{d,e}C_{ad,e} - \dot{m}_{d,i}C_{ad,i}) \quad (2)$$

Nilai keluaran dari setiap volume kontrol dapat diperoleh dari persamaan kesetimbangan energi dan kesetimbangan massa. Volume kontrol relatif terhadap pelat diilustrasikan pada Gambar 2, aliran massa dan energi melintasi saluran masuk dan keluar dari cairan pengering dengan melalui volume kontrol udara.

#### Analisis Perhitungan Model Sistem

Pada bagian ini menyajikan persamaan yang digunakan untuk mengembangkan model. Pada sistem dehumidifikasi dibagi beberapa jumlah volume kontrol. Kondisi Volume kontrol akan ditunjukkan pada Gambar 2. Persamaan serapan adiabatik, yang digunakan untuk menentukan kondisi keluar dari satu volume

kendali juga disajikan pada bagian ini. Hal ini diikuti dengan prosedur untuk menentukan kondisi keluaranya penyerap dari volume kendali.



Gambar 2. Volume kontrol

Meskipun susunan aliran paralel digambarkan, arah aliran udara tidak mempengaruhi persamaan pengatur volume kontrol, melainkan mempengaruhi prosedur ketika menganalisis keseluruhan pelat. Setiap volume kontrol, laju aliran massa masuk, konsentrasi air masuk, dan entalpi masuk, ditentukan dari suhu masuk, diketahui. Konsentrasi air masuk dalam aliran udara,  $C_a$ , dihitung menggunakan berat molekul  $MW$  air dan udara kering serta tekanan parsial masing-masing berdasarkan :

$$C_a = \frac{MW_w \times P_w}{MW_{da} \times (P - P_w) + (MW_w \times P_w)} \quad (3)$$

Guna menentukan kondisi udara dan penguering yang keluar volume kontrol, laju air dan panas yang dipindahkan dari udara ke satu film penguering pertama kali ditentukan berdasarkan :

$$\dot{m}_w = h_m \rho A (C_a - C_{int}) \quad (4)$$

$$\dot{q} = h_h A (T_w - T_\infty) \quad (5)$$

Dimana  $h_m$  dan  $h_h$  masing-masing adalah koefisien perpindahan massa dan panas, dan  $C_{int}$ , konsentrasi air pada antarmuka udara-penguering, dihitung menggunakan Persamaan 3 namun dengan menggunakan tekanan uap larutan cairan penguering menurut (Conde, 2014). Prinsip konservasi diterapkan di seluruh volume kontrol. Konservasi massa akan menghasilkan laju aliran massa, konservasi air akan menghasilkan konsentrasi air yang ada, dan konservasi energi akan digunakan untuk menentukan suhu. Nilai properties diperoleh menggunakan korelasi yang dihasilkan dengan menggunakan prangkat lunak. Korelasi diperoleh melalui penelitian terdahulu. Kekekalan massa dan air untuk udara dan larutan penguering ditunjukkan pada persamaan :

$$\dot{m}_{a,e} = \dot{m}_{a,i} - \dot{m}_w \quad (6)$$

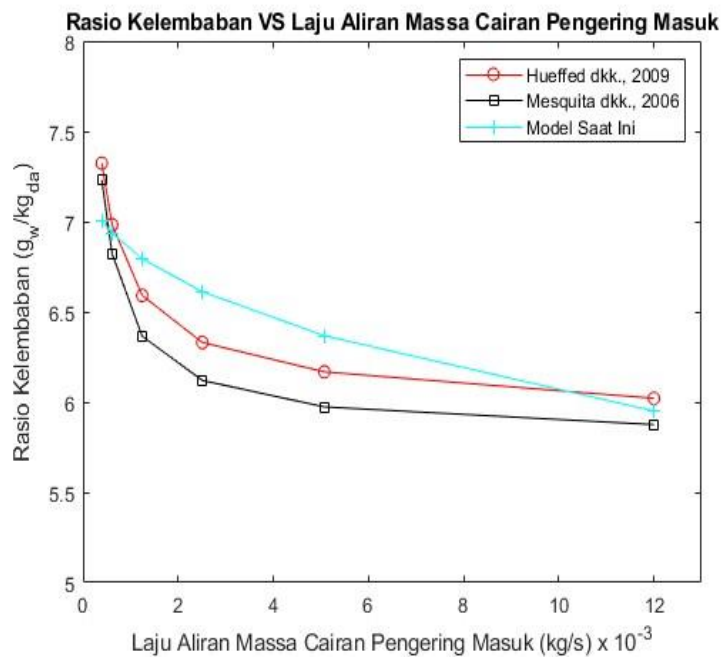
$$C_{a,e} = \frac{C_{a,i} \times \dot{m}_{a,i} - \dot{m}_w}{\dot{m}_{a,e}} \quad (7)$$

$$\dot{m}_{d,e} = \dot{m}_{d,i} + \dot{m}_w \tag{8}$$

$$C_{ad,e} = \frac{C_{ad,i} \times \dot{m}_{d,i} + \dot{m}_w}{\dot{m}_{d,e}} \tag{9}$$

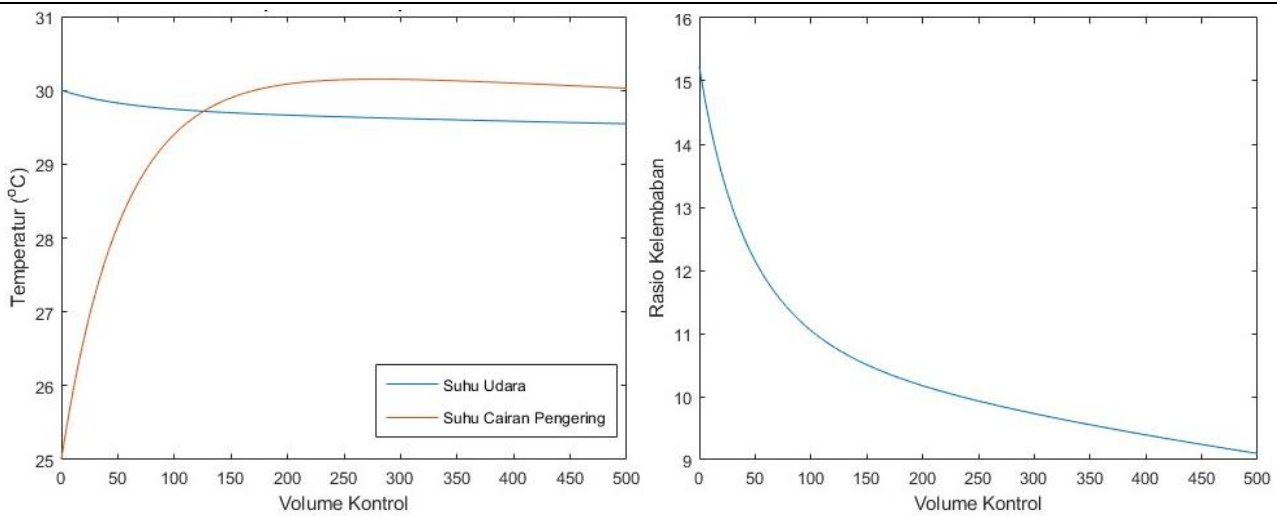
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian berbasis simulasi numerik perlu dilakukan proses validasi. Pada penelitian ini dilakukan *improvement* dengan mempertimbangkan pengembangan persamaan korelasi dimana setiap properties dapat berubah berdasarkan fungsi temperatur, tekanan, dan konsentrasi larutan mengacu pada (Conde, 2014; Song dkk., 2019). Seluruh perhitungan sistem dan nilai properties menggunakan perangkat lunak matlab 2022. Namun, dalam proses validasi menggunakan model yang sama dengan penelitian sebelumnya yaitu dengan properties konstan dan *isothermal* (tidak ada peningkatan temperatur pada cairan pengering) dengan menggunakan parameter properties berdasarkan penelitian (Hueffed dkk., 2009; Mesquita dkk., 2006) guna memastikan perhitungan yang digunakan benar.



Gambar 3. Keluaran nilai rasio kelembaban dengan variasi laju aliran massa cairan pengering masuk

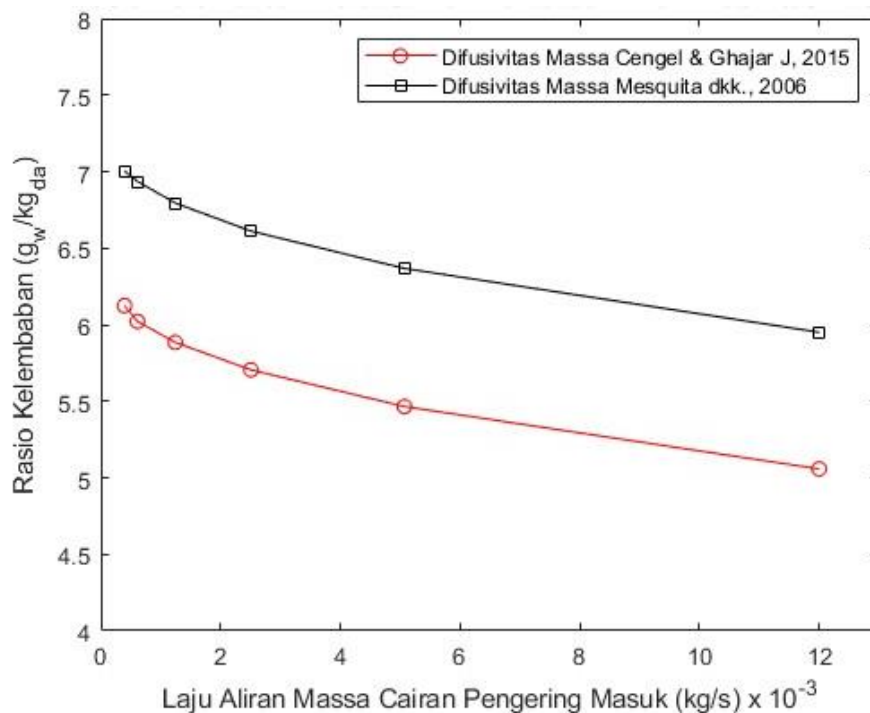
Dari hasil yang diperoleh yang ditunjukkan pada Gambar 3 menunjukkan bahwa model saat ini bisa dikatakan valid karena nilai simpangan dibawah dari 5% jika dibandingkan dengan penelitian (Hueffed dkk., 2009) dan dibawah 8% jika dibandingkan dengan penelitian (Mesquita dkk., 2006). Seiring dengan perkembangan zaman, persamaan yang digunakan dalam penelitian terdahulu mengalami perubahan.



Gambar 4. Distribusi temperatur dan rasio kelembaban disetiap volume kontrol

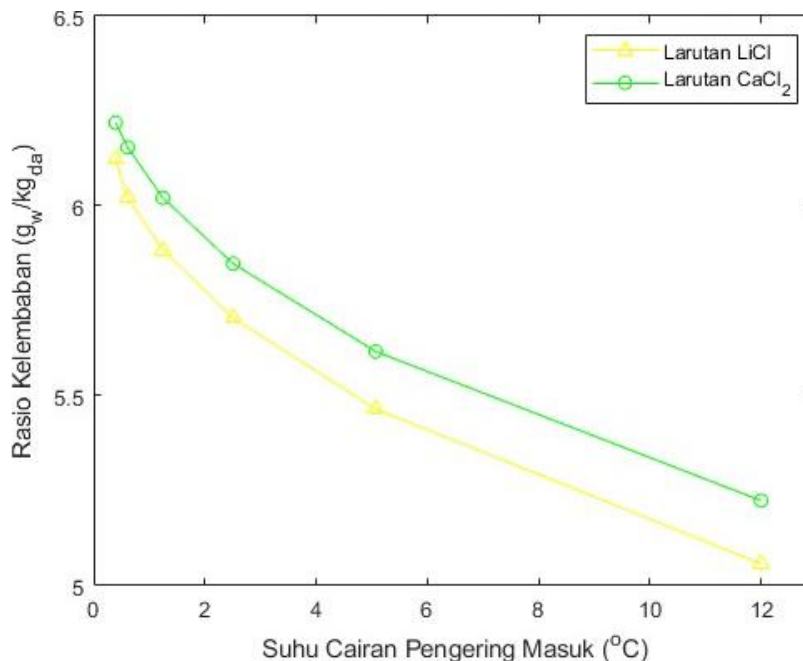
Pada penelitian yang dilakukan dengan mempertimbangkan perubahan nilai properties dan perubahan temperatur cairan pengering yang diakibatkan proses eksotermik diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Gambar 4. Suhu udara mengalami penurunan ketika suhu cairan pengering dibawah suhu udara, sehingga terjadi perpindahan kalor daru udara ke cairan pengering. Pada saat suhu cairan pengering meningkat, kemampuan cairan pengering menurun dibuktikan dengan penurunan rasio kelembaban ketika suhu cairan pengering naik, grafik penurunan kelembaban menjadi landai. Menggunakan persamaan dari (Conde, 2014; Song dkk., 2019) diperoleh perubahan nilai properties disetiap kondisi yang berbeda. Gambar 4 juga menampilkan penurunan nilai rasio kelembaban di setiap volume kontrolnya. Panjang Volume kontrol diperoleh dari pembagian antara panjang total  $L$  dengan jumlah total volume kontrol ( panjang 1 volume

$$\text{kontrol} = \frac{L \text{ (panjang total)}}{N_y \text{ (jumlah total volume kontrol)}}$$



Gambar 5. Keluaran nilai rasio kelembaban berdasarkan perbedaan nilai difusivitas massa udara

Perbedaan perhitungan nilai difusivitas massa udara terjadi antara penelitian yang dilakukan (Hueffed dkk., 2009) dengan perhitungan berdasarkan (Cengel and Ghajar J, 2015). Menggunakan model saat ini perbedaan perhitungan menggunakan kedua persamaan akan ditunjukkan pada Gambar 5. Perbedaan nilai difusivitas massa mempengaruhi keluaran dari nilai rasio kelembaban. Ditunjukkan pada Gambar 5 difusivitas massa menggunakan persamaan (Cengel and Ghajar J, 2015) memiliki penurunan nilai rasio kelembaban lebih tinggi karena memiliki nilai difusivitas massa yang lebih besar dibandingkan persamaan yang digunakan (Mesquita dkk., 2006). Semakin tinggi nilai defusivitas massa maka akan membuat nilai koefisien perpindahan massa semakin besar, sehingga penyerapan uap air dari udara semakin tinggi.



Gambar 6. Distribusi suhu disetiap voleme kontrol

Salah satu pembaruan dengan penelitian sebelumnya yaitu dengan dengan membandingkan larutan LiCl dengan larutan CaCl<sub>2</sub> sebagai cairan pengering. Berdasarkan Gambar 6 menunjukkan bahwa kemampuan larutan LiCl lebih baik dibandingkan larutan CaCl<sub>2</sub> dalam proses penyerapan uap air di udara. Perbedaan kemampuan penyerapan uap air diudara ini dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik dari masing-masing cairan. Karakteristik yang dimaksud seperti entalpi dan entropi, dari kedua larutan dapat mempengaruhi efisiensi proses penyerapan uap air.

## SIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa adanya perubahan – perubahan parameter akibat dari pengembangan persamaan mempengaruhi penurunan dari nilai rasio kelembaban. Pengembangan persamaan bertujuan agar data yang dihasilkan semakin mendekati dengan keadaan sesungguhnya. Pada penelitian juga membuktikan bahwa adanya peningkatan temperatur pada cairan pengering yang diakibatkan reaksi eksotermik cairan pengering dengan uap air. Seluruh perhitungan dilakukan menggunakan perangkat lunak. Seiring dengan berkembangnya persamaan dan perangkat lunak, maka pada penelitian ini (selain dengan proses validasi) seluruh nilai properties diperoleh menggunakan korelasi. Sifat higroskopik dari larutan pengering dapat membuat larutan menyerap uap air di udara. Kemampuan penyerapan dipengaruhi oleh sifat dan nilai properties dari cairan pengering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan

karakteristik dan sifat antara kedua larutan tersebut menghasilkan perbedaan ketika cairan penering menyerap uap air dari udara. Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa model baru memiliki kemampuan penyerapan sedikit dibawah model terdahulu. Hal ini dipengaruhi oleh perubahan nilai properties. Perubahan nilai properties membuat kemampuan cairan penering dalam proses penyerapan uap air diudara sedikit menurun. Berdasarkan hasil penelitian, kinerja larutan LiCl dalam menyerap uap air di udara lebih baik daripada larutan CaCl<sub>2</sub>. Nilai kondisi masukan seperti laju aliran massa cairan penering masuk juga mempengaruhi proses dehumidifikasi. Semakin besar nilai laju aliran massa cairan penering maka penurunan nilai rasio kelembaban cenderung semakin meningkat.

### DAFTAR PUSTAKA

- Astina, I. M., and Nugraha, M. Y. (2021). Numerical simulation of earth-air heat exchanger application for Indonesian simple house air conditioning system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101371>
- Cengel, and Ghajar J, A. (2015). *Heat And Mass Transfer, Fifth Edition* (Fifth). Mc Graw Hil.
- Conde, M. (2014). Aqueous Solutions Of Lithium And Calcium Chlorides: Property Formulations For Use In Air Conditioning Equipment DESIGN. *ENGINEERING*.
- Gurubalan, A., Maiya, M. P., and Geoghegan, P. J. (2019). A comprehensive review of liquid desiccant air conditioning system. Dalam *Applied Energy* (Vol. 254). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113673>
- Hueffed, A. K., Chamra, L. M., and Mago, P. J. (2009). A simplified model of heat and mass transfer between air and falling-film desiccant in a parallel-plate dehumidifier. *Journal of Heat Transfer*, 131(5), 1–7. <https://doi.org/10.1115/1.3082420>
- Maryadi. (2021). *Pengaruh Aktifitas Orang dan Jumlah Udara Segar Terhadap Beban Pendinginan dan Kelembaban Udara Ruangan*.
- Mesquita, L. C. S., Harrison, S. J., and Thomey, D. (2006). Modeling of heat and mass transfer in parallel plate liquid-desiccant dehumidifiers. *Solar Energy*, 80(11), 1475–1482. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.03.003>
- Song, R., Zou, T., Chen, J., Hou, X., and Han, X. (2019). Study on the Physical Properties of LiCl Solution. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 562(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/562/1/012102>
- Varela, R. J., Giannetti, N., Ariyadi, H., Yamaguchi, S., Saito, K., Wang, X. M., and Nakayama, H. (2019). A practical heat and mass transfer model between air and ionic liquid solution in an internally cooled dehumidifier with partial wetting. *Refrigeration Science and Technology, 2019-August*, 1685–1692. <https://doi.org/10.18462/iir.icr.2019.1433>