

Pengaruh Bentuk Permukaan Plat Terhadap *Wettability* Plat Vertikal

Wahyu Hayatullah¹, Hifni Mukhtar Ariyadi^{1*}, Joko Waluyo¹, Nico Ndaru Pratama¹, Muhammad Allam K¹

¹Universitas Gadjah Mada 1; wahyuhayatullah@mail.ugm.ac.id

¹Universitas Gadjah Mada 1; hifni.m.a@ugm.ac.id

¹Universitas Gadjah Mada 1; JokoWaluyo@ugm.ac.id,

¹Universitas Gadjah Mada 1; nicondarupratama@mail.ugm.ac.id

¹Universitas Gadjah Mada 1; kartiko.allam@gmail.com

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

*Correspondensi: Hifni Mukhtar Ariyadi

Email: 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: Kelembaban udara sangat penting terhadap kenyamanan dan kesehatan manusia. Untuk mencapai itu, salah satunya adalah dengan mengurangi kadar air menggunakan sistem dehumidifikasi. Dehumidifikasi menggunakan *desiccant* dilakukan untuk menangkap kandungan air pada udara. Proses penangkapan air ini mengakibatkan terjadinya proses eksoterm dimana suhu *desiccant* akan meningkat. Maka, perlu dilakukan pendinginan terhadap cairan *desiccant*. Proses ini akan mengakibatkan terjadinya perpindahan kalor dan massa. Laju perpindahan kalor dan massa ini dipengaruhi oleh *wettability* yang merepresentasikan luasan area. Sehingga pada penelitian ini akan berfokus untuk mempelajari keterbasahan. Metode yang digunakan adalah eksperimen. Komponen penyusun alat eksperimen terdiri dari reservoir air, distributor, pompa, flow meter, substrat, plat aluminium dan kerangka. Distributor memiliki dimensi 20 cm × 10 cm dengan dimensi lubang 2 mm × 0,5 mm dan jumlah lubang 57. Sedangkan plat yang digunakan yaitu plat datar dan plat bergelombang, dengan ketentuan distributor akan diuji pada plat datar dan bergelombang. Untuk mendapatkan persentase pembasahan pada pelat vertikal, pengambilan data dilakukan melalui metode *image processing*. Hasilnya rasio keterbasahan meningkat seiring dengan meningkatnya laju aliran massa, baik pada pelat datar maupun pelat bergelombang. Namun hasil rasio keterbasahan pada pelat datar memiliki nilai 40% lebih tinggi dibandingkan dengan rasio keterbasahan pada pelat bergelombang. Hal ini dikarenakan Re maksimal yang dapat diraih pada plat bergelombang hanya sebesar 1125 dengan ketebalan lapisan air sebesar 0,649 mm, dimana masih cukup jauh dari 2 mm yang ditetapkan sebagai kedalaman dari gelombang pada muka pelat. Oleh karena itu aliran air pada pelat bergelombang hanya terkonsentrasi pada lembah-lembah pada geometri gelombang.

Keywords: *wettability*, distributor, plat vertikal, *image processing*

PENDAHULUAN

Manusia membutuhkan udara yang sehat dan bersih. Udara yang baik tidak hanya bersih dan memiliki suhu yang nyaman. Udara yang baik juga harus punya kualitas yang sehat untuk dihirup. Salah satu faktor kualitas udara yang baik adalah kelembaban udaranya yang tepat. Kelembaban yang tidak tepat dapat menyebabkan masalah kesehatan. Di negara tropis seperti Indonesia, kelembaban umumnya relatif tinggi, suhu relatif konstan, dan kelembaban tidak bervariasi secara signifikan sepanjang tahun. Perubahan dramatis biasanya terjadi saat musim hujan dan kemarau dimulai. Menurut Badan Pusat Statistik Indonesia, tingkat kelembaban rata-rata di Indonesia adalah 80%. Itu artinya sebagai contoh dalam suatu ruangan, pembebanan untuk mengatur kelembaban dan suhu udara supaya terasa nyaman masih tergolong besar. 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 (Maryadi, 2021).

Disisi lain, laju perpindahan kalor dan massa dipengaruhi oleh *wettability* atau keterbasahan yang merepresentasikan luas area dari perpindahan kalor dan massa. Secara tidak langsung, *wettability* adalah kemampuan dasar suatu bahan atau material untuk menolak dan menarik air pada suatu permukaan. keterbasahan (*wettability*) dapat kita artikan sebagai gambaran preferensi suatu padatan untuk berada dalam kontak dengan satu cairan atau cairan lainnya. Dimana, sudut kontak sebagai sifat termodinamika yang menjadi cirinya adalah keterbasahan permukaan padat (Marmur dkk., 2017). Dalam penerapannya proses pembasahan mempengaruhi perilaku dalam banyak hal, termasuk saturasi, aliran multifase, dan parameter interpretasi tertentu. Karenanya proses *wettability* berpengaruh terhadap proses heat transfer antara bahan kerja sebelum dan sesudah dibasahi. Hal ini relevan bahwa kinerja perpindahan panas dalam proses penguapan, penyerapan, distilasi dan bahkan kondensasi dipengaruhi oleh perilaku pembasahan aliran film cair di permukaannya (Trinuruk dkk., 2018b). Namun, kontak sifat pembasahan yang buruk akan sangat membatasi aplikasinya (Qi dkk., 2021).

Dari uraian di atas, Beberapa penelitian hanya berfokus pada proses *falling film* tanpa memaksimalkan kondisi alat penelitian (Giannetti dkk., 2018). Dalam pengujian *wettability*, fluida yang telah melalui *test section* (pelat atau tube) akan dikumpulkan pada *reservoir* yang terletak di bawah. Kemudian, selain secara eksperimen juga dapat dilakukan dengan pemodelan (Giannetti dkk., 2016), dimana dalam pengujian lain, dilakukan pemodelan dan eksperimen karakteristik pemecahan film jatuh dengan mempertimbangkan perpindahan massa untuk dehumidifikasi pengering cair (Qi dkk., 2013). Sementara itu, pengujian pembasahan tidak hanya bisa dilakukan pada kondisi vertikal, namun juga dapat dilakukan pada kondisi miring (*inclined*). Penelitian yang dilakukan dapat mengkararakteristik gelombang *falling film* pada plat miring di bilangan Reynolds sedang (Lu dkk., 2016). Sehingga, penelitian ini melakukan desain alat baru untuk pengujian *wettability*. Alat yang digunakan dalam eksperimen ini memisahkan reservoir atas dan distributor air. Hal ini untuk memastikan laju aliran massa yang keluar dari reservoir atas dan distributor air adalah sama. Selain itu, plat yang digunakan yakni plat datar dan bergelombang. Kemudian, dapat dibandingkan dan melihat bagaimana pengaruh bentuk permukaan plat terhadap proses pembasahannya. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji secara eksperimen tentang pengaruh bentuk permukaan plat terhadap proses keterbasahannya (*wettability*) pada plat vertikal.

METODE

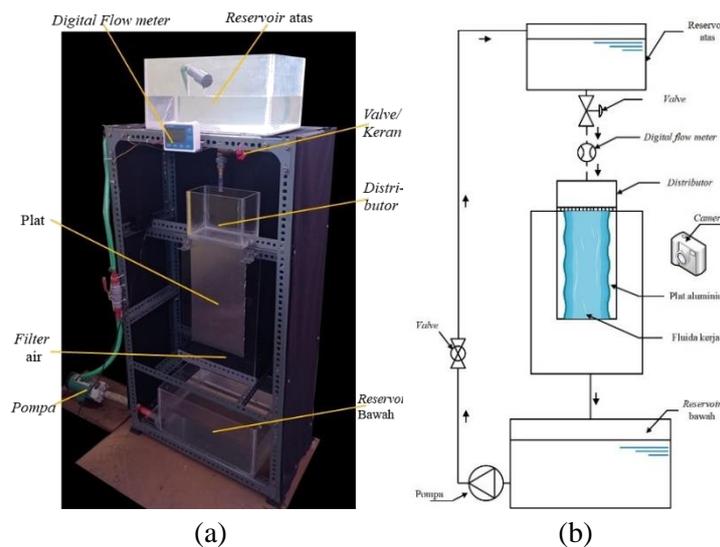
Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimen dan pengamatan langsung. Pada penelitian ini hanya menguji *wettability* pada pelat aluminium dengan permukaan datar terhadap beda bentuk permukaan plat serta menggunakan fluida air. Plat aluminium vertikal yang digunakan berukuran Panjang 20 cm × 40 cm. Muka plat memiliki dua variasi muka plat. Air akan dialirkan dengan berbagai variasi kemudian akan diamati laju aliran terhadap proses pembasahan. Kondisi eksperimen dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi Eksperimen

| | |
|---------------------------------|--|
| Jenis fluida | Air |
| Temperature, tekanan | Kondisi ruangan pengujian |
| Total luasan lubang distributor | 57 mm ² |
| Distributor | Dimensi lubang 2 mm × 0,5 mm dengan jumlah lubang 57 |

| | |
|--------------------|--|
| Permukaan plat |  |
| |  |
| Dimensi plat | 20 cm x 40 cm |
| Laju aliran fluida | 0-3 liter/menit |

Dari kondisi eksperimen diatas, akan dilakukan percobaan keterbasahan. Air yang tertampung pada bagian reservoir bawah akan dipompa menuju reservoir air di atas. Kemudian akan ada katup untuk mengatur aliran air ke bawah menuju distributor air. Laju aliran air ini akan dapat diamaati dengan menggunakan *flowmeter*. Air yang keluar dari lubang distributor akan membasahi plat vertikal datar dengan berbagai laju aliran. Kemudian akan ditangkap gambar menggunakan kamera. Gambar akan diolah dan diamati dengan *image processing*. Adapun skema penelitiannya dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Alat uji wettability (a) dan Skema uji eksperimen (b)

Dalam penelitian ini, hasilnya disajikan dalam bentuk luas basah dan rasio luas basah (WR) terhadap bilangan tak berdimensi, yaitu bilangan Reynolds Film dan bilangan Weber yang digunakan untuk mengkarakterisasi aliran film fluida. Bilangan Reynolds film didefinisikan sebagai pengaruh inersia cairan relatif terhadap viskositasnya, sedangkan bilangan Weber mengukur pentingnya inersia fluida dan tegangan

permukaannya. Dengan asumsi aliran laminar berdasarkan gaya gravitasi, distribusi suhu seragam pada permukaan pelat dan sifat cairan konstan, tegangan permukaan dapat disajikan pada Persamaan (1).

$$\delta = \left(\frac{3Re_f \mu^2}{\rho^2 g} \right)^{1/3}$$

Re_f mewakili bilangan Reynolds film, μ (kg/ms) dan ρ (kg/m³) adalah viskositas dinamis dan kepadatan cairan, dan g adalah percepatan gravitasi. Namun, ketika menggunakan model Nusselt untuk menghitung ketebalan film, δ (m) diasumsikan seragam sepanjang lebar bagian uji. Adapun persamaan untuk menganalisis Re dan We menggunakan Persamaan (2) dan (3).

$$Re_f = \frac{4\dot{m}}{b\mu} = \frac{4\Gamma}{\mu} \quad (2)$$

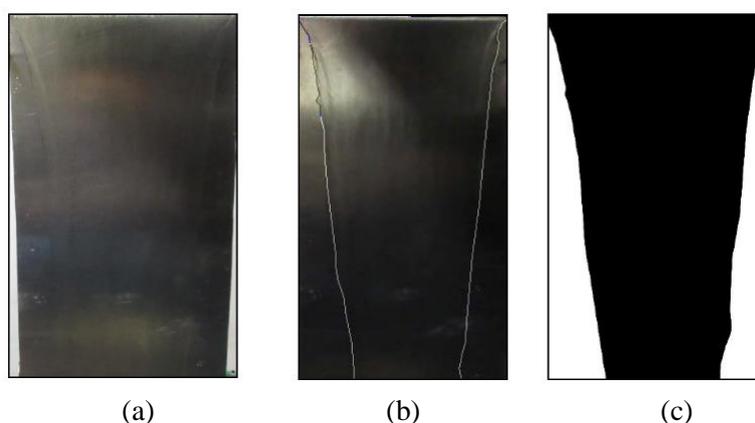
Dari persamaan tersebut, dimana Γ didefinisikan sebagai beban spesifik cairan yang mewakili rasio \dot{m} (kg/s) laju aliran massa cairan per satuan lebar dari b (m) distributor. Dalam penurunan rumusnya, \dot{m} merupakan penurunan untuk massa jenis ρ (kg/m³) dikali kecepatan v (m/s) dan luasan area distributor (m²).

$$We = \frac{\sigma}{\rho \bar{u}^2 \delta} \quad (3)$$

Dimana, \bar{u} (m/s) merupakan kecepatan rata-rata film Nusselt dan δ (m) merupakan ketebalan film. Ketika menggunakan model Nusselt untuk menghitung ketebalan film, δ diasumsikan seragam sepanjang lebar bagian uji.

HASIL DAN PEMBAHASAN

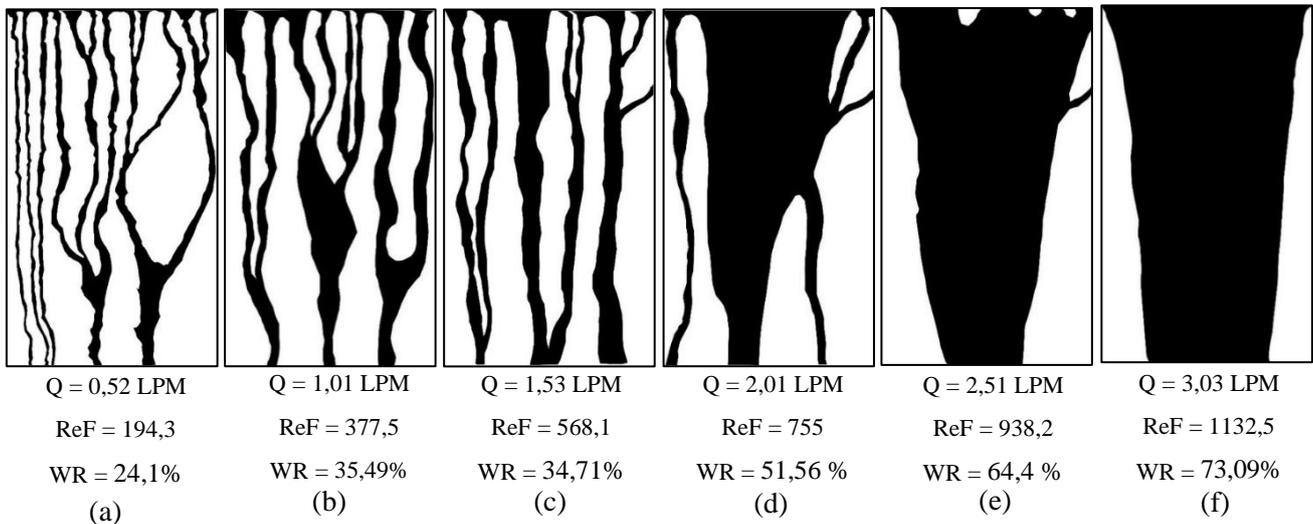
Dalam studi ini, yang menjadi fokus utama adalah proses pembasahannya. Pembasahan ini akan merepresentasikan luasan area yang terbasahi. Fluida air yang membasahi plat vertikal datar dan plat bergelombang yang melalui distributor. Perbedaan bentuk permukaan plat ini akan dipelajari efeknya terhadap proses pembasahan. Metode image processing dilakukan untuk menganalisis area yang basah, dengan cara mengetahui perbandingan piksel hitam pada permukaan yang dialiri oleh air dibandingkan dengan area yang tidak terbasahi oleh air yang melewati distributor pada area permukaan pelat aluminium. Contoh proses *image processing* terdapat pada Gambar 3.



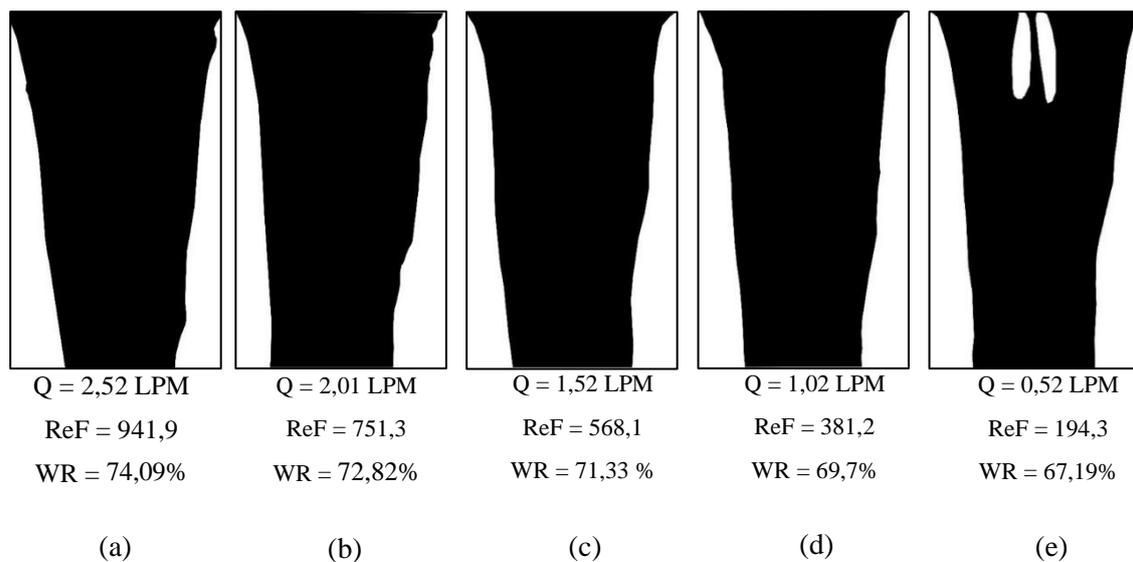
Gambar 3. Image processing: (a) pemotongan gambar asli, (b) pemotongan area yang basah, (c) gambar akhir yang sudah dijadikan biner

Kondisi *wetting* yaitu kondisi laju aliran perlahan dinaikan dan keterbasahan akan terjadi. Kemudian kondisi *dewetting* yang merupakan kondisi ketika mencapai maksimal keterbasahan, laju aliran air akan

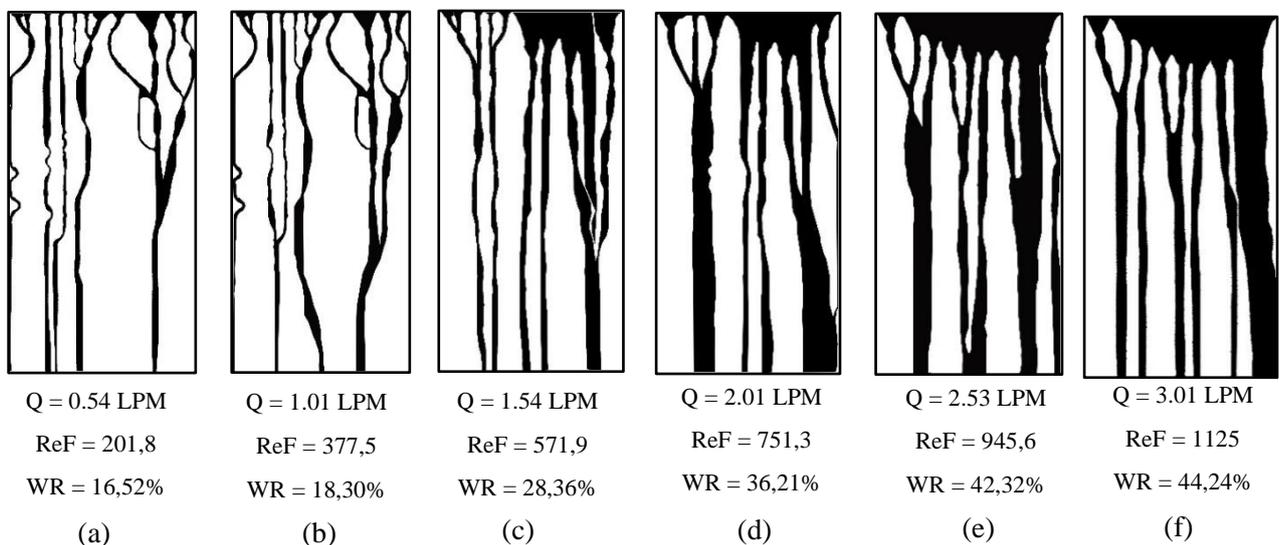
diturunkan perlahan kembali ke kondisi semula sebelum dilakukan pembasahaan. Pada eksperimen ini terdapat dua kondisi, yaitu pada plat datar dan plat bergelombang.



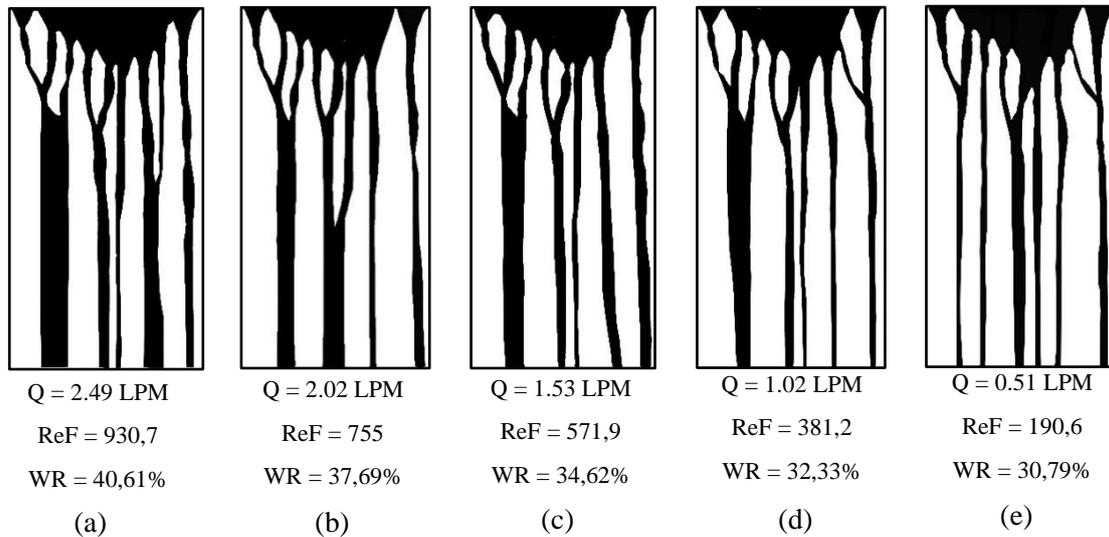
Gambar 4. Hasil *Image Processing* distributor pada Pelat Datar Kondisi *Wetting*



Gambar 5. Hasil *Image Processing* distributor pada Pelat Datar Kondisi *Dewetting*

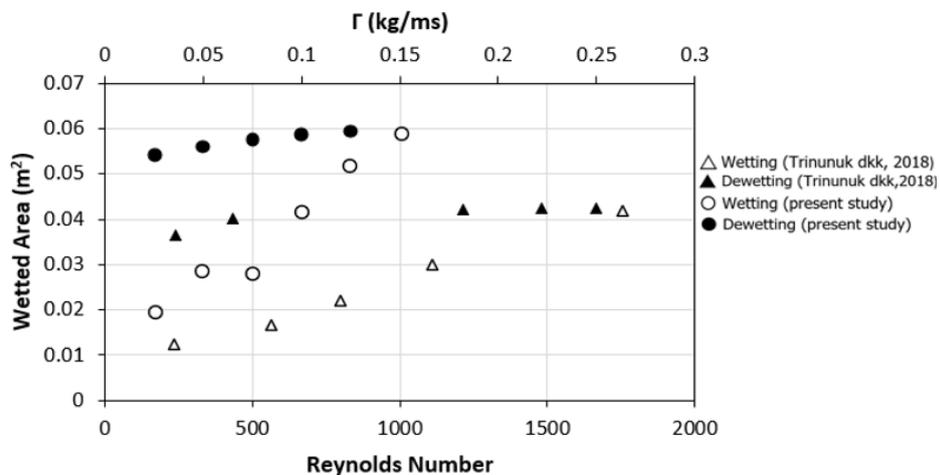


Gambar 6. Hasil *Image Processing* distributor pada Pelat Bergelombang Kondisi *Wetting*



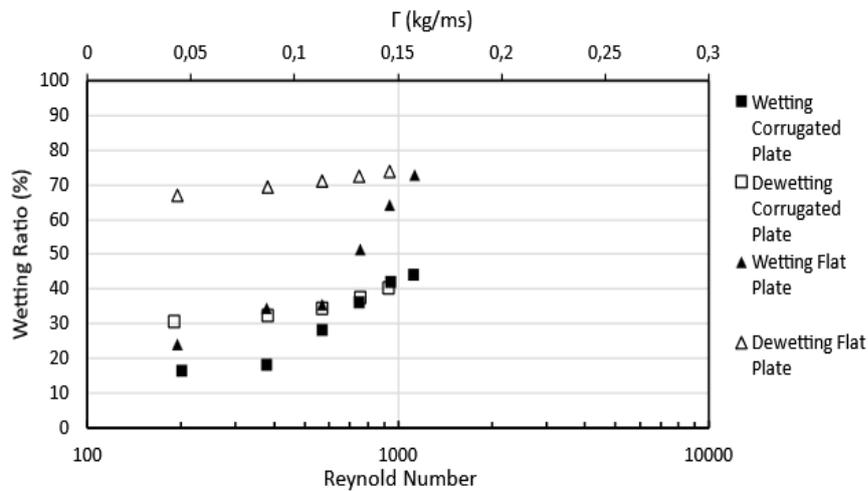
Gambar 7. Hasil *Image Processing* distributor pada Pelat Bergelombang Kondisi *Dewetting*

Ekspirimen untuk menginvestigasi wettability air pada permukaan pelat vertikal ini, sebelumnya telah dilakukan. Namun dengan set-up yang berbeda dan variasi yang berbeda juga. Untuk memvalidasi alat eksperimen dapat melakukan pengambilan data yang sesuai, maka dibandingkan salah satu data yang didapat dari masing- masing eksperimen sebagai berikut ditampilkan Gambar 8.

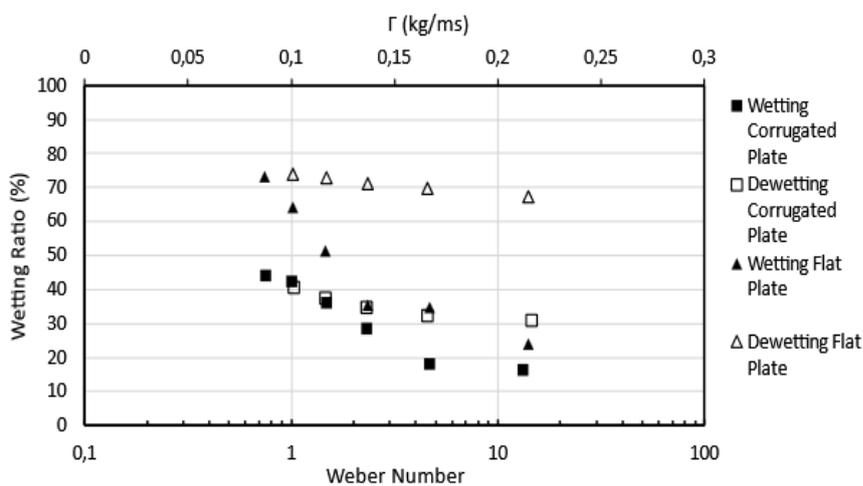


Gambar 8. Perbandingan data fluid Reynolds Number dan Wetted Area dari pelat vertikal terbaru dan pada eksperimen (Trinuruk dkk., 2018)

Hasil eksperimen pada pelat vertikal dengan permukaan datar yang dilakukan pada penelitian ini secara umum memiliki *trendline* yang sama dengan penelitian (Trinuruk dkk, 2018). Artinya bahwa penelitian yang dilakukan sudah sesuai dengan teori dan penelitian terdahulu. Adapun yang membedakan Rasio keterbasahan pada penelitian ini lebih tinggi 28% dari penelitian yang dilakukan oleh Trinuruk dkk. (2018). Hal ini dapat disebabkan oleh perbedaan pada kekasaran permukaan dan juga perbedaan laju aliran massa saat pengambilan data. Selanjutnya, yaitu menampilkan perbandingan *Reynolds Number* dan *Webber Number* terhadap rasio keterbasahan dari distributor 1 dan 2 serta pengaruh plat datar dan plat bergelombang. Grafik hasil yang didapatkan adalah sebagai berikut.



Gambar 9. Grafik Rasio Keterbasahan dengan Bilangan Reynold pada Pelat Datar dan Bergelombang



Gambar 10. Grafik Rasio Keterbasahan dengan Bilangan Weber pada Pelat Datar dan Bergelombang

Nilai bilangan Reynolds dan bilangan Weber pada kedua jenis pelat tidak jauh berbeda. Bilangan Reynolds pada awal kondisi *wetting* lebih rendah dari bilangan Reynolds pada awal kondisi *dewetting*. Hal ini menandakan bahwa semakin besar laju aliran maka semakin besar nilai bilangan Reynolds serta semakin besar persentase rasio keterbasahan fluida terhadap permukaan pelat. Bilangan Weber pada awal kondisi *wetting* lebih besar dari awal kondisi *dewetting*. Hal ini berarti gaya tegangan permukaan lebih mendominasi dari gaya inersia pada laju aliran massa yang rendah, sehingga memunculkan aliran yang bercabang atau *rivulet flow* dan tidak stabil. Sementara itu pada laju aliran massa yang lebih tinggi gaya inersia lebih dominan, sehingga aliran lebih stabil dan lebih menyebar. Namun pada nilai rasio keterbasahan terdapat perbedaan yang signifikan, yaitu rasio keterbasahan pada pelat datar lebih tinggi 40% dari pelat bergelombang. Hal ini karena aliran air pada pelat bergelombang hanya terkonsentrasi pada lembah-lembah pada geometri gelombang.

SIMPULAN

Dari penelitian yang diperoleh, Laju aliran massa yang digunakan akan mempengaruhi besarnya *Reynolds Number* dan *Weber Number*. Semakin besar laju aliran massa, semakin besar nilai *Reynolds Number* dan rasio keterbasahan, sedangkan *Weber Number* berlaku sebaliknya. *Weber Number* yang lebih besar berarti gaya tegangan lebih permukaan mendominasi aliran, sehingga cenderung terjadi fenomena aliran yang bercabang dan tidak stabil pada permukaan pelat. Pengambilan data dilakukan menggunakan kamera dan image processing yang dilakukan untuk mengidentifikasi persentase rasio keterbasahan. Dari dua variasi bentuk permukaan plat yang digunakan, plat datar menghasilkan pembasahan yang lebih tinggi. Plat datar dapat mencapai maksimum keterbasahan yakni 74,09% sedangkan plat bergelombang maksimum keterbasahan adalah 44,24%. Hal ini dapat terjadi dikarenakan *Re* maksimal yang dapat diraih pada plat bergelombang hanya sebesar 1125 dengan ketebalan lapisan air sebesar 0,649 mm, dimana masih cukup jauh dari 2 mm yang ditetapkan sebagai kedalaman dari gelombang pada muka pelat. Oleh karena itu aliran air pada pelat bergelombang hanya terkonsentrasi pada lembah-lembah pada geometri gelombang dan tidak tersebar merata. Kedepannya, penelitian ini dapat ditingkatkan dengan menggunakan variasi distributor, variasi plat atau mengurangi kedalaman gelombang, menambah variabel lain seperti sudut kontak, kekasaran permukaan, suhu, dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Giannetti, N., Varela, R. J., Ariyadi, H., Yamaguchi, S., Saito, K., Wang, X. M., & Nakayama, H. (2018). Semitheoretical Prediction of the Wetting Characteristics of Aqueous Ionic Liquid Solution on an Aluminum Finned-Tube Desiccant Contactor. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 140(12). <https://doi.org/10.1115/1.4040796>
- Giannetti, N., Yamaguchi, S., & Saito, K. (2016). Wetting behavior of a liquid film on an internally-cooled desiccant contactor. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 101, 958–969. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.05.128>
- Lu, C., Jiang, S. Y., & Duan, R. Q. (2016). Wave Characteristics of Falling Film on Inclination Plate at Moderate Reynolds Number. *Science and Technology of Nuclear Installations*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6586097>
- Marmur, A., Volpe, C. Della, Siboni, S., Amirfazli, A., & Drelich, J. W. (2017). Contact angles and wettability: Towards common and accurate terminology. *Surface Innovations*, 5(1), 3–8. <https://doi.org/10.1680/jsuin.17.00002>
- Maryadi. (2021). Pengaruh Aktifitas Orang Dan Jumlah Udara Segar Terhadap Beban Pendingin Dan Kelembaban Udara Ruangan. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6 (2), 1575-1584.
- Qi, R., Dong, C., Yu, S., & Zhang, L. Z. (2021). Modelling and experiments of falling film break-up characteristics considering mass transfer for liquid desiccant dehumidification. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 181, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.122027>

Qi, R., Lu, L., Yang, H., & Qin, F. (2013). Investigation on wetted area and film thickness for falling film liquid desiccant regeneration system. *Applied Energy*, 112, 93–101.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.05.083>

Trinuruk, P., Giannetti, N., Takuya, K., Yamaguchi, S., Saito, K., Trinuruk, orderlithtml, & Giannetti, N. (2018). *International Refrigeration and Air Conditioning Conference. Paper 1999. 17 th International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue*. <https://docs.lib.purdue.edu/iracc/1999>

Trinuruk, P., Giannetti, N., Takuya, K., Yamaguchi, S., Saito, K., Trinuruk, O., & Giannetti, N. (2018). Influence of the Fluid Distribution Width on the Wettability of Rivulet Flow over Vertical Flat Surfaces. *International Refrigeration and Air Conditioning Conference*, 1–7.

<https://docs.lib.purdue.edu/iracc/1999>