

SIMULASI NUMERIK PENAMBAHAN TURBULATOR PRISMA TUNGGAL PADA LALUAN UDARA *FALLING FILM DEHUMIDIFIER*

*Achmad Afinadi¹, Eflita Yohana², Mohammad Tauviqirrahman²

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: achmadafinadi@gmail.com

Abstrak

Sistem *air-conditioning* merupakan salah satu perangkat yang mengatur temperatur dan kelembaban udara di dalam ruangan. Salah satu bagian dari prinsip kerja sistem *air-conditioning* adalah mengurangi tingkat kelembaban udara melalui proses dehumidifikasi. *Falling film dehumidifier* merupakan salah satu teknologi dehumidifikasi yang beroperasi dengan memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengalirkan *liquid desiccant* sebagai fluida kerjanya. Penulis melakukan analisis terhadap inovasi geometri *falling film dehumidifier* penambahan turbulator pada laluan udara lembab untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pola aliran terbentuk dan performa dehumidifikasi *dehumidifier*. Penelitian dilakukan dengan metode simulasi menggunakan software CFD. Geometri yang digunakan dibuat dalam model 3D dengan ukuran 0,15 x 0,15 x 0,03 m dengan turbulator tunggal diposisikan pada ketinggian 0,037 m di atas sisi masuk udara lembab. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa penggunaan turbulator pada laluan udara *dehumidifier* mampu mengubah pola aliran udara membentuk pusaran dan menciptakan daerah dengan nilai intensitas turbulensi relatif tinggi. Modifikasi dengan turbulator meningkatkan penurunan fraksi massa uap air udara keluar sebesar 10,6% pada kecepatan alir udara 0,4 m/s, 13,8% pada kecepatan 0,8 m/s, dan 13,7% pada kecepatan 1,2 m/s. Modifikasi ini juga meningkatkan penurunan temperatur udara keluar sebesar 10,4% pada kecepatan aliran udara 0,4 m/s, 19,5% pada kecepatan 0,8 m/s, dan penurunan sebesar 25,4% pada kecepatan udara 1,2 m/s. Mengacu pada nilai penurunan massa uap air, maka performa dehumidifikasi meningkat 10,6%, 13,8%, dan 13,7% masing-masing pada kecepatan 0,4 m/s, 0,8 m/s, dan 1,2 m/s.

Kata kunci: *air-conditioning*; *falling film dehumidifier*; *liquid desiccant*; turbulator; turbulensi aliran

Abstract

The *air-conditioning* system is a device that regulates the temperature and humidity in the room. One part of the working principle of the *air-conditioning* system is to reduce the humidity level of the air through the dehumidification process. A *falling film dehumidifier* is a dehumidification technology that operates by utilizing gravity to flow *liquid desiccant* as its working fluid. The author conducted an analysis of the geometric innovation of the *falling film dehumidifier* by adding a turbulator to the humid air passages to determine its effect on the formed flow pattern and the dehumidification performance of the *dehumidifier*. The research was carried out using a simulation method using CFD software. The geometry used is made in a 3D model with a size of 0.15 x 0.15 x 0.03 m with a single turbulator positioned at a height of 0.037 m above the humid air inlet. From the simulation results, it was found that the use of a turbulator on the *dehumidifier's* air passage was able to change the airflow pattern to form a vortex and create areas with relatively high turbulence intensity values. Modification with a turbulator increases the decrease in the mass fraction of water vapor out of the air by 10.6% at an airflow rate of 0.4 m/s, 13.8% at a speed of 0.8 m/s, and 13.7% at a speed of 1.2 m/s. This modification also increases the drop in exhaust air temperature by 10.4% at an airflow rate of 0.4 m/s, 19.5% at a speed of 0.8 m/s, and a decrease of 25.4% at an air speed of 1.2 m/s. Referring to the value of decreasing the mass of water vapor, the dehumidification performance increases by 10.6%, 13.8%, and 13.7% respectively at speeds of 0.4 m/s, 0.8 m/s, and 1.2 m/s.

Keywords: *air-conditioning*; *falling film dehumidifier*; *liquid desiccant*; turbulator; turbulence flow

1. Pendahuluan

Sistem *air-conditioning* merupakan salah satu perangkat yang mengatur temperatur dan kelembaban udara di dalam ruangan. Sistem ini tidak hanya memberikan kenyamanan bagi penghuni ruangan, tetapi juga menciptakan kondisi penyimpanan ideal untuk barang dan peralatan di berbagai jenis bangunan seperti rumah, industri, dan bangunan komersial [1], [2]. Melalui sistem *air-conditioning*, temperatur udara dapat dikendalikan agar tetap dalam

rentang standar kenyamanan dan sesuai dengan preferensi penghuni. Salah satu bagian dari prinsip kerja sistem *air-conditioning* adalah mengurangi tingkat kelembaban udara melalui proses dehumidifikasi.

Terdapat empat jenis teknologi dehumidifikasi yang telah dikembangkan saat ini, diantaranya yaitu *spray tower*, *packed bed*, *falling film*, dan *indirect contact* [3]. *Falling film dehumidifier* beroperasi dengan memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengalirkan *liquid desiccant* sebagai fluida kerjanya. *Dehumidifier* ini menggunakan dua fasa aliran (gas dan liquid) dengan aliran searah, berlawanan, atau saling melintang. Keduanya mengalami kontak secara langsung dan menciptakan perbedaan tekanan parial uap sehingga memicu terjadinya perpindahan massa dan panas dari udara lembab menuju *desiccant* [4]. Geometri laluan udara lembab dapat bervariasi dan umumnya berupa rectangular channel dimana *liquid desiccant* dialirkan melalui dinding saluran. Beberapa penelitian membuktikan bahwa variasi geometri *falling film dehumidifier* dapat berpengaruh terhadap performa dehumidifikasi. Hal ini berkorespondensi dengan mekanisme perpindahan massa dan panas yang terjadi akibat pola aliran terbentuk [5].

Turbulator merupakan salah satu contoh perangkat yang mampu mengubah pola aliran fluida dinamis [6]. Kemampuan ini menjadikan turbulator banyak diaplikasikan terutama pada perangkat heat exchanger [7]. Pada umumnya, karakteristik aliran terbentuk disekitarnya dipengaruhi oleh geometri dan aspek rasio perangkat. Bilangan tak berdimensi Reynolds juga berpengaruh terhadap karakteristik aliran terbentuk. Diketahui bahwa pusaran hingga pelepasan pusaran aliran dapat terjadi pada bilangan Reynolds cukup tinggi [8]. Oleh karena itu, pemahaman tentang persamaan-persamaan pembangun aliran fluida penting untuk dapat mendefinisikan karakteristik aliran terbentuk akibat turbulator [9]. Selain karakteristik aliran, perlu dipahami juga tentang properti fluida seperti massa jenis, tegangan permukaan, viskositas dinamis, konduktivitas termal, dan difusivitas massa, serta properti fluida lainnya [9]. Dengan demikian, analisis keterkaitan antara properti, karakteristik aliran, serta performa dehumidifikasi terlibat dapat dilakukan setelah data hasil penelitian telah didapatkan. Data ini dapat diperoleh baik melalui eksperimen maupun simulasi numerik.

Metode eksperimental melibatkan pengukuran langsung fenomena aliran fluida di laboratorium atau lapangan menggunakan alat-alat khusus teruji. Eksperimen ini memberikan pemahaman langsung tentang fenomena aliran dan memungkinkan verifikasi terhadap model tersedia. Namun, eksperimen seringkali mahal, memakan waktu, dan terbatas dalam hal kompleksitas dan variasi kondisi. Oleh karena itu, pendekatan numerik seperti *Computational fluid dynamics* (CFD) dapat menjadi alternatif dalam analisis aliran fluida lebih mendalam [10], [11]. Keuntungan utama CFD adalah kemampuannya dalam memberikan gambaran aliran fluida secara rinci dan mampu memberikan informasi yang sulit didapatkan melalui pendekatan eksperimental. CFD memungkinkan pemodelan aliran fluida pada skala mikro maupun makro, berbagai kondisi operasional, dan berbagai geometri kompleks [10]. Persamaan pembangun yang tersimpan dalam CFD dapat ditentukan sesuai kebutuhan simulasi. Beberapa diantaranya yaitu persamaan kontinuitas, momentum, dan energi. Model turbulensi juga disisipkan dalam CFD untuk mendefinisikan aliran turbulen fluida [12]. Model turbulensi RNG $k-\epsilon$ dipilih karena kemampuannya memperoleh hasil simulasi yang dekat dengan hasil eksperimen dan telah digunakan secara luas di bidang teknik, terutama dalam simulasi aliran *falling film* pada *dehumidifier* [13]–[16]. Model *volume of fluid* dan konservasi spesies juga dimasukkan dalam simulasi untuk mendefinisikan aliran multifasa dan komponen multispesies. Penggunaan model ini penting untuk dapat melacak permukaan kontak antara gas dan liquid terbentuk untuk melangsungkan proses perpindahan massa dalam *dehumidifier* [17]. Aktivasi model ini perlu pembuatan *source code* UDF terlebih dahulu untuk mendefinisikan persamaan pembangun yang terlibat dan memasukkannya ke dalam *software* simulasi. Dengan demikian, lengkap sudah kebutuhan parameter masukan yang diperlukan untuk melakukan penelitian secara numerik.

Dengan mempertimbangkan latar belakang permasalahan tersebut di atas, maka penulis melakukan analisis terhadap inovasi geometri *falling film dehumidifier* penambahan turbulator pada laluan udara lembab. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap pola aliran terbentuk dan performa dehumidifikasi. Studi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman komprehensif tentang peran turbulator dalam *dehumidifier* serta dapat digunakan sebagai referensi pada penelitian-penelitian terkait berikutnya.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode simulasi menggunakan software CFD Ansys. Geometri yang digunakan dibuat dalam model 3D dengan ukuran sama dengan geometri penelitian oleh Luo et al. [18]. Sebagai inovasi pada geometri tersebut, peneliti menambahkan turbulator tunggal ditempatkan pada posisi ketinggian tertentu dalam jalur laluan udara lembab. Detail dimensi dari geometri model dengan dan tanpa penambahan turbulator ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Dimensi geometri modifikasi pada *falling film dehumidifier*

Geometri	Dimensi (m)
Panjang <i>dehumidifier</i>	0,15
Lebar <i>dehumidifier</i>	0,03
Tinggi <i>dehumidifier</i>	0,15
Tinggi turbulator	0,037
Tebal turbulator	0,001
Lebar turbulator	0,01

Geometri *mesh* dalam penelitian ini dibangun menggunakan dua metode *meshing* berbeda sesuai dengan tujuan penggunaannya. Metode hexahedral digunakan untuk membangun *mesh* di area dekat dinding tempat *liquid desiccant* mengalir. Sementara itu, metode tetrahedral digunakan untuk menghasilkan *mesh* jalur udara, sehingga memungkinkan penyesuaian yang fleksibel terhadap geometri turbulator.

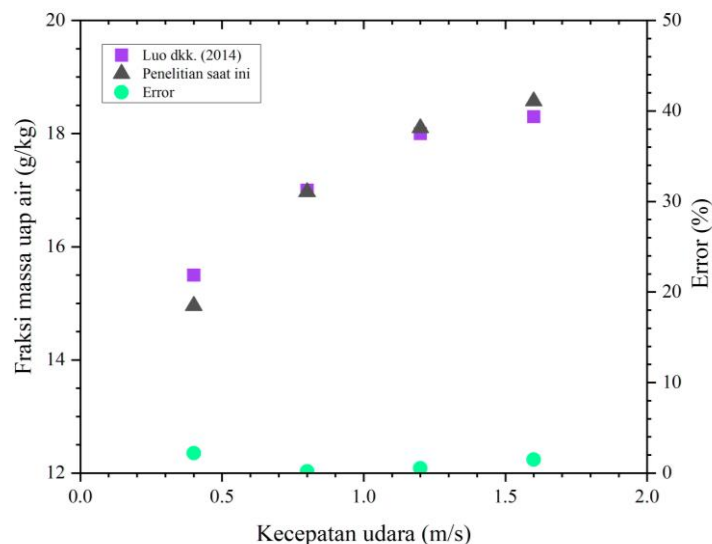
Dalam simulasi CFD, dilakukan pemecahan terhadap berbagai persamaan konservasi, termasuk konservasi momentum, massa, dan energi. Persamaan-persamaan tambahan seperti model turbulen dan konservasi spesies serta persamaan lainnya juga diselesaikan untuk menggambarkan karakteristik aliran fluida kompleks yang berkaitan. Proses perhitungan ini diperlukan untuk memahami aliran fluida campuran multifasa dan aliran balik (*recirculation*) yang terjadi di dalam *dehumidifier*. Dengan demikian, dapat diidentifikasi dengan baik bagaimana proses dehumidifikasi berlangsung dan bagaimana penambahan turbulator mempengaruhi aliran udara dan distribusi massa serta temperatur di dalamnya [15].

Tabel 2 Parameter Kondisi Batas Udara lembab dan larutan *desiccant*

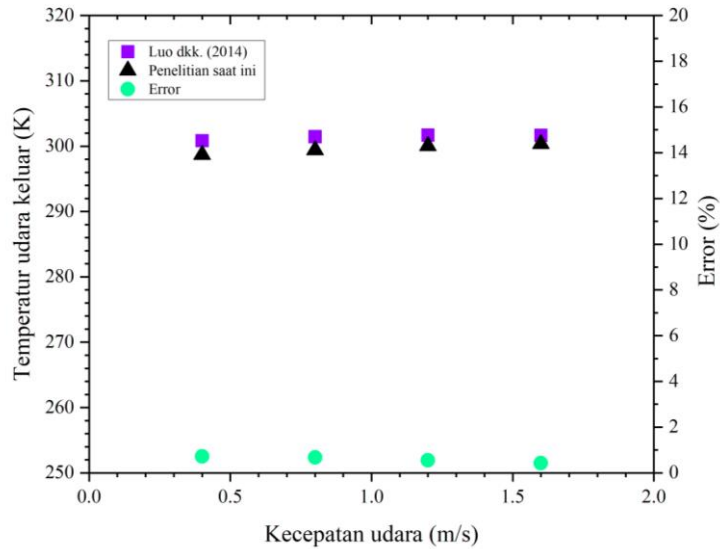
Parameter	Mass fraction of water (kg/kg)	Temperature inlet (°C)	Velocity inlet (m/s)
Udara lembab	0,018	33	0,8
larutan <i>desiccant</i>	0,65	25	0,05

Validasi dilakukan untuk menguji kehandalan dan keberhasilan pengaturan *solver*. Dalam validasi ini, dua parameter yang diamati adalah kelembaban dan temperatur udara yang keluar, dengan empat variasi kecepatan udara berbeda dalam rentang 0,4 hingga 1,6 m/s. Selain kecepatan udara masuk, parameter masukan lain yang berhubungan dengan udara lembab dan larutan *desiccant* juga diperhitungkan, seperti ditunjukkan dalam Tabel 2. Setiap dinding diatur dalam kondisi tidak licin, sementara sudut kontak antara dinding dan larutan *desiccant* diatur sebesar 60°, sesuai dengan penelitian sebelumnya [35]. Hasil validasi ditunjukkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2, yang menunjukkan adanya deviasi yang dapat diterima dalam rentang kecepatan operasi yang dipilih. Kesalahan (*error*) yang terjadi adalah kurang dari 5% untuk nilai kelembaban dan kurang dari 2% untuk nilai temperatur udara yang keluar. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi saat ini memiliki tingkat kesesuaian yang baik dengan studi numerik sebelumnya.

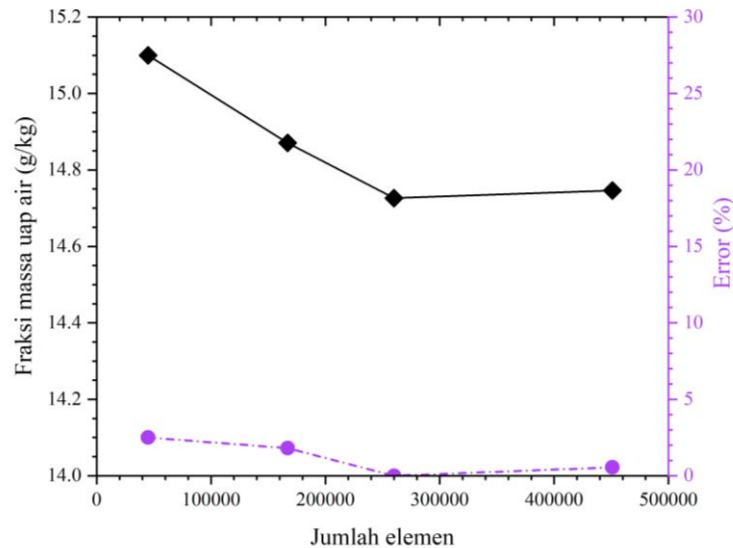
Pengujian *grid* dilakukan dengan menggunakan empat jenis *grid* yang memiliki jumlah elemen berbeda, yaitu 46.000, 167.000, 260.000, dan 451.000 elemen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *grid* dengan jumlah elemen di atas 260.000 mulai menunjukkan perbedaan relatif kecil yaitu sekitar sekitar 0,7%. (Gambar 3) Oleh karena itu, dengan mempertimbangkan akurasi dan waktu komputasi, konfigurasi *grid* dengan 260.000 elemen dipilih untuk analisis lebih lanjut. Konfigurasi *grid* ini melibatkan pemilihan ukuran elemen hingga metode *meshing* yang digunakan. Konfigurasi ini juga diterapkan pada geometri modifikasi.



Gambar 1 Grafik validasi udara keluar *dehumidifier* parameter rasio kelembaban



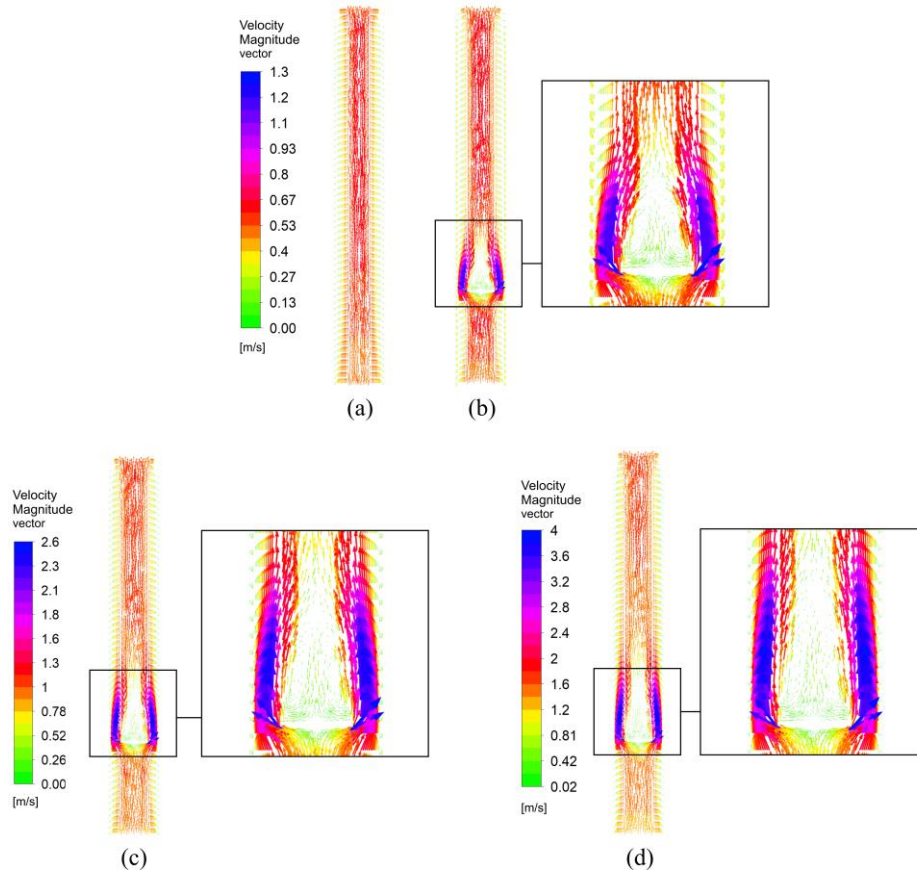
Gambar 2 Grafik validasi udara keluar *dehumidifier* parameter temperatur



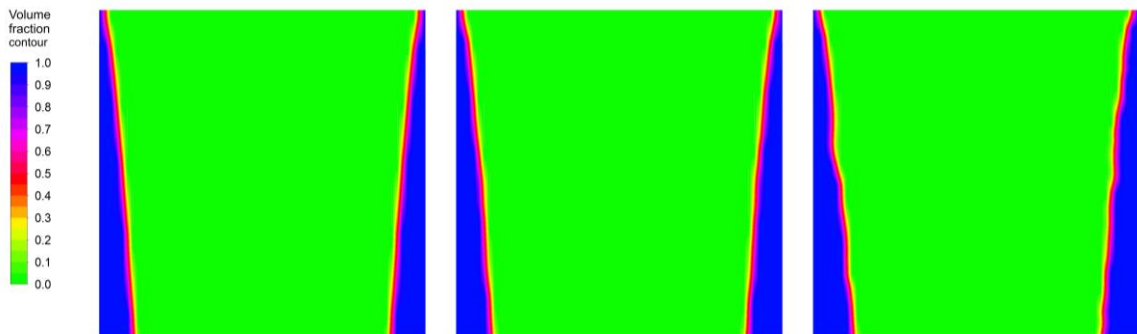
Gambar 3 Grafik uji *grid independence*

3. Hasil dan Pembahasan

Kecepatan dan turbulensi aliran berhubungan dengan perpindahan massa dan temperatur suatu fluida dalam proses dehumidifikasi. Gambar 4 memperlihatkan aliran lurus dan nilai turbulensi aliran relatif rendah pada *falling film dehumidifier* tanpa turbulator. Turbulensi terkonsentrasi hanya pada aliran udara dekat dengan permukaan *desiccant* dimana terdapat aliran saling berlawanan arah antara *liquid desiccant* dan udara lembab. Sementara *dehumidifier* yang melibatkan turbulator mampu mengubah pola aliran membentuk pusaran dan menciptakan daerah dengan intensitas turbulensi aliran relatif lebih tinggi. Besarnya intensitas turbulensi memperlihatkan nilai berbeda untuk setiap variasi kecepatan aliran udara masuk. *Dehumidifier* dengan turbulator di dalamnya memperlihatkan perbedaan signifikan untuk masing-masing kecepatannya. Sementara itu, penambahan turbulator pada sisi aliran udara *dehumidifier* tidak memberikan pengaruh besar terhadap karakteristik aliran dari *liquid desiccant*. Penyusutan *liquid desiccant* hampir tidak berbeda antara sebelum dan setelah turbulator ditambahkan meskipun *dehumidifier* dioperasikan pada kecepatan aliran udara tinggi. Fenomena ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya [19], [20]. Meskipun demikian, penyusutan *liquid desiccant* pada kecepatan udara tinggi memperlihatkan pola aliran sedikit tak beraturan seperti ditampilkan pada Gambar 5.

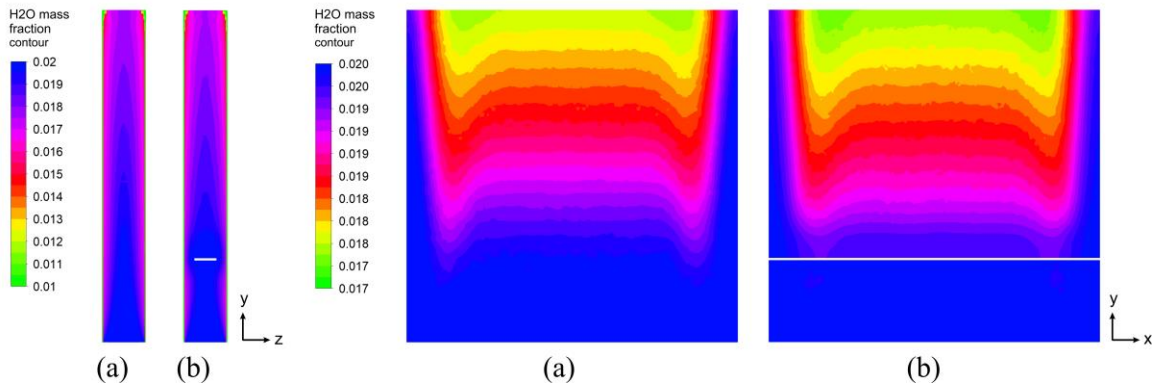


Gambar 4 Vektor kecepatan udara *dehumidifier* tanpa turbulator (a) dan dengan turbulator pada kecepatan udara 0,4 m/s (b), 0,8 m/s (c), dan 1,2 m/s (d)

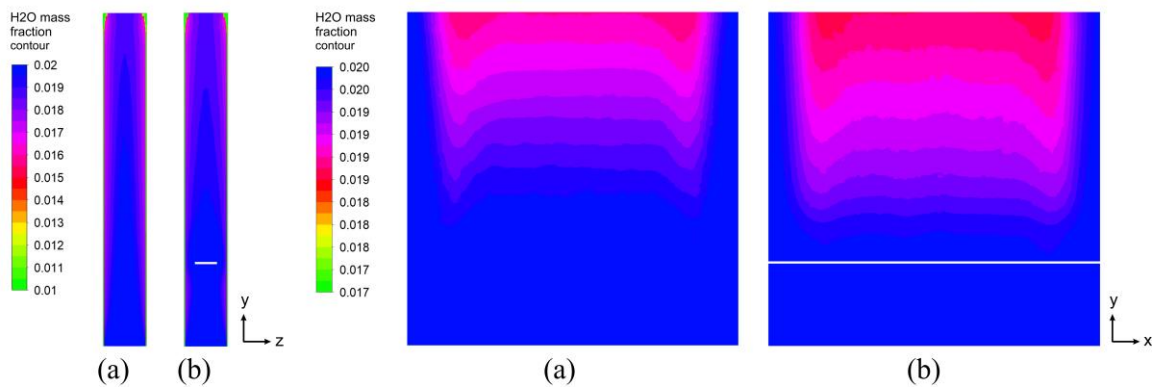


Gambar 5 Kontur penyusutan aliran *falling film* pada variasi kecepatan masuk udara

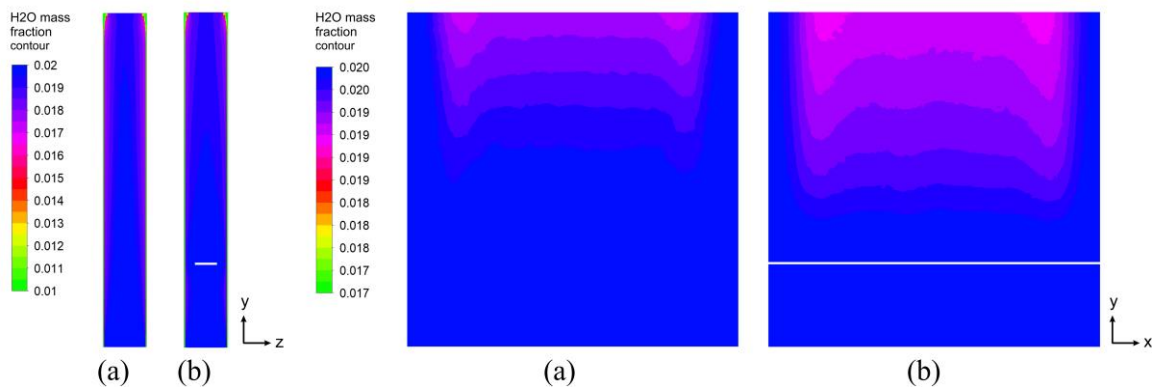
Proses dehumidifikasi melibatkan penyerapan kandungan uap air dalam udara lembab. Meskipun menggunakan kecepatan alir udara yang sama, kedua *dehumidifier* menunjukkan distribusi fraksi massa uap air berbeda. Pada *dehumidifier* dengan turbulator, penurunan fraksi massa uap air menjadi lebih signifikan. Hal ini terlihat dari kontur yang menggambarkan nilai rendah lebih dominan dan cakupan daerah lebih luas pada *dehumidifier* tersebut. Perbedaannya semakin jelas pada kecepatan aliran udara tinggi. Ini dapat dipahami dengan membandingkan kontur hasil simulasi pada kecepatan alir udara 0,4 m/s, 0,8 m/s, dan 1,2 m/s, yang ditampilkan pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8. *Dehumidifier* dengan turbulator mengalami peningkatan lebih besar dalam penurunan fraksi massa uap air udara keluar, yaitu sebesar 10,6% pada kecepatan alir udara 0,4 m/s, 13,8% pada kecepatan 0,8 m/s, dan 13,7% pada kecepatan 1,2 m/s.



Gambar 6 Kontur distribusi fraksi massa uap air *dehumidifier* tanpa turbulator (a) dan dengan turbulator (b) pada kecepatan udara 0,4 m/s

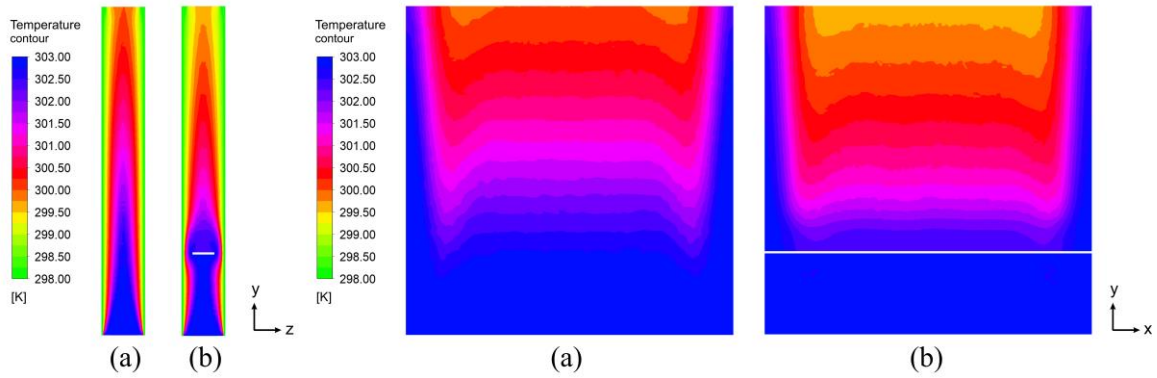


Gambar 7 Kontur distribusi fraksi massa uap air *dehumidifier* tanpa turbulator (a) dan dengan turbulator (b) pada kecepatan udara 0,8 m/s

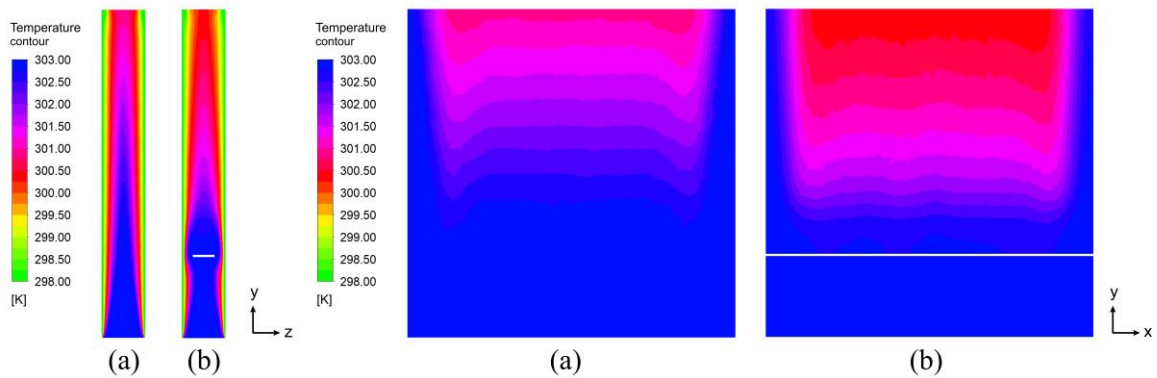


Gambar 8 Kontur distribusi fraksi massa uap air *dehumidifier* tanpa turbulator (a) dan dengan turbulator (b) pada kecepatan udara masuk 1,2 m/s

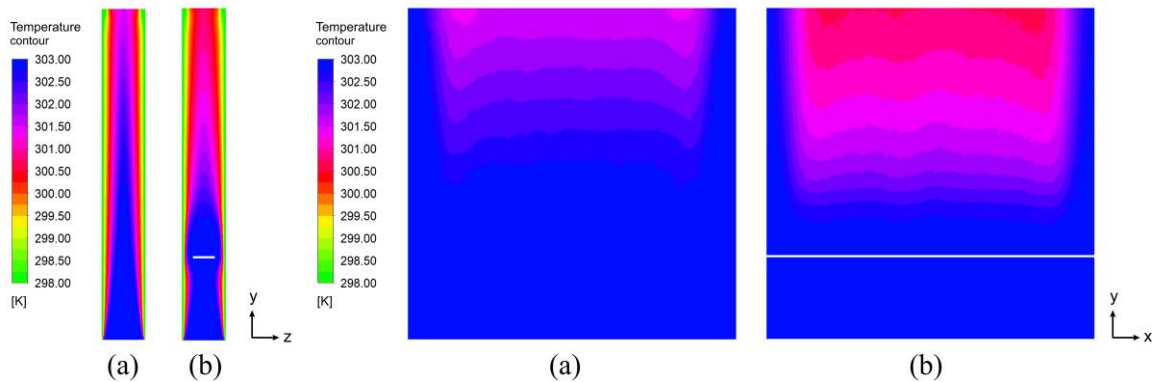
Selain tingkat kelembaban, temperatur juga memegang peranan penting dalam menentukan kualitas udara. Pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11 terlihat distribusi temperatur udara dalam dua jenis *dehumidifier* berbeda. Pada *dehumidifier* yang dilengkapi turbulator, distribusi temperatur berlangsung lebih cepat. Hal ini terlihat dari kontur yang menunjukkan nilai rendah lebih dominan dan cakupan daerah distribusi lebih luas pada sisi perpanjangandibandingkan dengan *dehumidifier* tanpa turbulator. Penambahan turbulator pada *dehumidifier* mengakibatkan peningkatan nilai penurunan rata-rata temperatur udara keluar sebesar 10,4% pada kecepatan aliran udara 0,4 m/s, 19,5% pada kecepatan 0,8 m/s, dan menunjukkan peningkatan nilai penurunan yang lebih besar, yaitu sebesar 25,4% pada kecepatan udara 1,2 m/s.



Gambar 9 Kontur distribusi temperatur udara *dehumidifier* tanpa turbulator (a) dan dengan turbulator (b) pada kecepatan udara 0,4 m/s



Gambar 10 Kontur distribusi temperatur udara *dehumidifier* tanpa turbulator (a) dan dengan turbulator (b) pada kecepatan udara 0,8 m/s



Gambar 11 Kontur distribusi temperatur udara *dehumidifier* tanpa turbulator (a) dan dengan turbulator (b) pada kecepatan udara 1,2 m/s

Penggunaan turbulator pada laluan udara terbukti berpengaruh terhadap pola aliran udara lembab yang mana hal ini berpengaruh terhadap distribusi massa uap air di udara. Distribusi massa terjadi secara lebih intens pada daerah di belakang turbulator, menjadikan penyerapan uap air oleh *desiccant* lebih efektif dan ditunjukkan dengan nilai penurunan kelembaban udara lebih besar. Ditambah lagi, perbedaan nilai kelembaban udara antara *dehumidifier* dengan dan tanpa turbulator menjadi semakin signifikan pada kecepatan alir udara yang tinggi. Hal ini menandakan bahwa penambahan turbulator meningkatkan performa dehumidifikasi *falling film dehumidifier*. Mengacu pada nilai penurunan massa uap air, maka performa dehumidifikasi meningkat 10,6%, 13,8%, dan 13,7% pada kecepatan 0,4 m/s, 0,8 m/s, dan 1,2 m/s.

4. Kesimpulan

Sistem *air-conditioning* merupakan salah satu perangkat yang mengatur temperatur dan kelembaban udara di dalam ruangan. Salah satu bagian dari prinsip kerja sistem *air-conditioning* adalah mengurangi tingkat kelembaban udara melalui proses dehumidifikasi. *Falling film dehumidifier* merupakan salah satu teknologi dehumidifikasi yang

beroperasi dengan memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengalirkan *liquid desiccant* sebagai fluida kerjanya. Penggunaan turbulator pada *falling film dehumidifier* berpengaruh terhadap hidrodinamika dan performa dehumidifikasi. Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian antara lain sebagai berikut.

- a. Penggunaan turbulator pada laluan udara *dehumidifier* mampu mengubah pola aliran udara membentuk pusaran dan menciptakan daerah dengan nilai intensitas turbulensi relatif tinggi. Penggunaan turbulator hampir tidak berpengaruh terhadap penyusutan *liquid desiccant*.
- b. Penggunaan turbulator pada laluan udara *dehumidifier* mampu menurunkan fraksi massa uap air udara secara signifikan. Modifikasi dengan turbulator meningkatkan penurunan fraksi massa uap air udara keluar sebesar 10,6% pada kecepatan alir udara 0,4 m/s, 13,8% pada kecepatan 0,8 m/s, dan 13,7% pada kecepatan 1,2 m/s.
- c. Penambahan turbulator pada *dehumidifier* mengakibatkan peningkatan nilai penurunan temperatur udara keluar sebesar 10,4% pada kecepatan aliran udara 0,4 m/s, 19,5% pada kecepatan 0,8 m/s, dan menunjukkan peningkatan nilai penurunan yang lebih besar, yaitu sebesar 25,4% pada kecepatan udara 1,2 m/s.
- d. Mengacu pada nilai penurunan massa uap air, maka performa dehumidifikasi meningkat 10,6%, 13,8%, dan 13,7% masing-masing pada kecepatan 0,4 m/s, 0,8 m/s, dan 1,2 m/s.

5. Daftar Pustaka

- [1] K. J. Bradford *dkk.*, "The dry chain: Reducing postharvest losses and improving food safety in humid climates," *Food Ind. Wastes Assess. Recup. Commod.*, vol. 71, no. July 2017, hal. 375–389, 2020, doi: 10.1016/B978-0-12-817121-9.00017-6.
- [2] C. Ertekin dan M. Z. Firat, "A comprehensive review of thin-layer drying models used in agricultural products," *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 57, no. 4, hal. 701–717, 2017, doi: 10.1080/10408398.2014.910493.
- [3] T. Wen, L. Lu, dan Y. Luo, "Review on the fundamentals and investigations of *falling film* dehumidification/absorption refrigeration based on CFD technology," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 171, 2021, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.121042.
- [4] B. Guan, T. Zhang, J. Liu, X. Liu, dan Y. Yin, "Review of internally cooled *liquid desiccant* air dehumidification: Materials, components, systems, and performances," *Build. Environ.*, vol. 211, no. January, 2022, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108747.
- [5] T. Wen, L. Lu, dan C. Dong, "Enhancing the dehumidification performance of LiCl solution with surfactant PVP-K30," *Energy Build.*, vol. 171, hal. 183–195, 2018, doi: 10.1016/j.enbuild.2018.04.031.
- [6] K. Suzuki, G. N. Xi, K. Inaoka, dan Y. Hagiwara, "Mechanism of heat transfer enhancement due to self-sustained oscillation for an in-line fin array," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 37, no. SUPPL. 1, hal. 83–96, 1994, doi: 10.1016/0017-9310(94)90012-4.
- [7] N. K. Anand, C. D. Chin, dan J. G. McMath, "Heat transfer in rectangular channels with a series of normally in-line positioned plates," *Numer. Heat Transf. Part A Appl.*, vol. 27, no. 1, hal. 19–34, 1995, doi: 10.1080/10407789508913686.
- [8] O. Almeida, S. S. Mansur, dan A. Silveira-Neto, "on the Flow Past Rectangular Cylinders: Physical Aspects and Numerical Simulation," *Rev. Eng. Térmica*, vol. 7, no. 1, hal. 55, 2008, doi: 10.5380/reterm.v7i1.61743.
- [9] Y. A. Cengel dan J. M. Cimbala, *Fluid Mechanics: Fundamental and Applications*. New York: McGraw-Hill, 2006.
- [10] T. Norton dan D. W. Sun, "Computational fluid dynamics (CFD) - an effective and efficient design and analysis tool for the food industry: A review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 17, no. 11, hal. 600–620, 2006, doi: 10.1016/j.tifs.2006.05.004.
- [11] D. A. Caughey, *Computational fluid dynamics*, Fifth Edit. Elsevier, 2004. doi: 10.1017/cbo9780511780066.
- [12] I. Ansys, *ANSYS Fluent 12.0 User's Guide*. 2009.
- [13] H. Lu dan L. Lu, "CFD simulation of *liquid desiccant dehumidifier* performance with smooth and rough plates," *Int. J. Refrig.*, vol. 124, hal. 1–12, 2021, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.12.012.
- [14] H. Lu, L. Lu, dan X. Gao, "Mass transfer enhancement of *falling film liquid desiccant* dehumidification by micro-baffle plates," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 169, 2021, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2021.120945.
- [15] Y. Luo, M. Wang, H. Yang, L. Lu, dan J. Peng, "Experimental study of the film thickness in the *dehumidifier* of a *liquid desiccant* air conditioning system," *Energy*, vol. 84, hal. 239–246, 2015, doi: 10.1016/j.energy.2015.02.091.
- [16] T. Wen, Y. Luo, L. Lu, dan W. He, "Enhancing the *falling film* dehumidification performance from the prospective of CFD simulation," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 151, 2020, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119459.
- [17] H. Lu, L. Lu, Y. Luo, dan R. Qi, "Investigation on the dynamic characteristics of the counter-current flow for *liquid desiccant* dehumidification," *Energy*, vol. 101, hal. 229–238, 2016, doi: 10.1016/j.energy.2016.02.023.
- [18] Y. Luo, H. Yang, dan L. Lu, "*Liquid desiccant dehumidifier*: Development of a new performance predication model based on CFD," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 69, hal. 408–416, 2014, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.10.033.