Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

ISSN (Online) 3025 - 2598

Artikel Penelitian

Pengaruh Susunan Rak terhadap Distribusi Kecepatan dan Suhu pada Pengering Tipe Rak (*Tray Dryer*): Simulasi dengan Menggunakan CFD

Gusriwandi[a], Rahayu Muhlita Putri[a], Adjar Pratoto[a]

[a] *Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Limau Manis-Padang 25163, Indonesia*

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:
Diterima Redaksi: 20 Juni 2024
Revisi Akhir: 28 Juni 2024
Diterbitkan *Online*: 30 Juni 2024

KATA KUNCI

Pengering tipe rak

Susunan rak

Distribusi kecepatan

Distribusi suhu

Simulasi numerik

KORESPONDENSI

E-mail: adjar.pratoto@eng.unand.ac.id

A B S T R A C T

Tray dryers have been being used widely due to its simplicity in construction and a relatively low operational cost. One of the main drawbacks of the tray dryers lies in the non-uniformity in the dryness of the products over the trays. This article dealt with the numerical investigation of the flow anf temperature distribution inside the drying chamber as impacted by by trays' arrangement. Three trays' arrangements were considered in the study, i.e. parallel, serpentine-like, and parallelepepid. The simulation was carried out with no load. The drying chamber is modeled as a box of 0,51 m long, 0,51 m wide, and 0,96 high. The dryer consists of 5 trays, each of 0,50 m, 0,40 m wide, and 0,005 m thick. The vertical distance from one tray to another is 0,168 m. The parameter input includes: drying air velocity and temperature at the dryer inlet are 1 m/s and 50^{o}C respectively, while the surrounding air temperature is constant at 27^{o}C. From the simulation, it can be revealed that the serpentine-like trays' arrangement provides most uniform velocity and temperature distribution as compared to those of the other two trays' arrangement. The relatively uniform distribution can be achieved until the fourth tray for the serpentine-like and the parallellpepid arrangements; while the parallel arrangement reaches only the third tray.

1. PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan salah satu rantai proses yang cukup penting dalam berbagai proses industri. Pengeringan adalah proses pengurangan kandungan air dalam suatu bahan. Pengeringan dilakukan untuk beragam tujuan. Pada pengolahan pasca panen produk pertanian, pengeringan umumnya dimaksudkan untuk memperpanjang masa simpan. Pada industri proses, pengeringan dilakukan untuk meningkatkan kinerja atau efisiensi proses ataupun sebagai syarat suatu proses.

Proses pengeringan melibatkan perpindahan massa, dalam hal ini air, dan perpindahan energi secara simultan. Kajian mengenai pengeringan dapat dibedakan dalam tiga tingkatan, yaitu mikroskopik, makroskopik, dan megaskopik [1]. Pada tingkatan mikroskopik, kajian diarahkan pada pemahaman mekanisme fisik proses perpindahan massa dan perpindahan energi di dalam produk yang akan dikeringkan. Berbagai teori telah dikembangkan untuk memodelkan proses perpindahan massa di dalam produk, seperti misalnya teori diffusi, teori kapiler, teori evaporasi-kondensasi, dan lain-lain [2].

Pada tingkatan makroskopik, kajian diarahkan pada penelitian perilaku produk dalam bentuknya

https://doi.org/10.25077/inomet.1.1.21-28.2024
Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

sebagai elemen individual (*loose material*) pada saat dikenai lingkungan eksternal yang terkontrol, seperti suhu, kelembaban, udara, kecepatan udara pengering, ataupun sumber-sumber energi untuk pengeringan (termal, gelombang mikro, energi surya, dan laim-lain). Perilaku produk tersebut dituangkan dalam bentuk karakteristik pengeringan atau kinetik pengeringan. Karakterisitk pengeringan ini umumnya dinyatakan dalam bentuk kurva perubahan massa atau kadar air terhadap waktu, kurva laju pengeringan terhadap waktu atau kurva laju pengeringan terhadap kadar air. Mengingat bahwa karakteristik produk ini sangat dipengaruhi oleh sifat, struktur, dimensi, dan bentuk produk, kajian ini kebanyakan dilakukan secara empirik.

Pada kajian megaskopik, perhatian diarahkan pada perangkat (*operation unit*) pengering, yang biasanya berkenaan dengan lama pengeringan, efisiensi pengeringan, ataupun biaya pengeringan per satuan produk. Mengingat bahwa terdapat ragam dalam hal sifat, struktur, dimensi, dan bentuk produk yang akan dikeringkan serta sumber energi untuk pengeringan, maka terdapat pula berbagai jenis perangkat pengering. Dengan demikian, jenis perangkat pengering harus disesuaikan dengan karakteristik produk yang akan dikeringkan. Tatacara pemilihan jenis perangkat pengering dapat ditemui dalam berbagai literatur [3-6].

Pengering tipe rak (*tray dryer*) merupakan salah satu jenis pengering yang banyak digunakan, khususnya dalam pengolahan produk pertanian atau perkebunan pasca panen untuk kapasitas rendah hingga menengah. Pengering jenis ini konstruksinya sederhana dan biaya operasinya relatif rendah. Salah satu kendala utama dalam pengeringan dengan menggunakan jenis pengering ini adalah bahwa distribusi kecepatan dan suhu udara pengering pada masing-masing rak tidak seragam, yang pada gilirannya akan membuat tingkat kekeringan produk pada masing-masing rak tidak sama. Salah satu cara untuk mengatasi ketidakseragaman adalah dengan cara memindah-mindahkan rak selama pengeringan. Cara lain untuk mengatasi ketidakseragaman tersebut adalah dengan mengubah desain dari perangkat pengering. Namun demikian, cara coba-coba dengan membuat perangkat pengering dianggap kurang efektif. Sebagai gantinya, dilakukan terlebih dahulu simulasi secara numerik sebelum pembuatan prototipe perangkat pengering. Simulasi dan pemodelan pengeringan ini telah dipaparkan oleh Patowski & Mujumdar [7]. Tetapi, pemodelan yang dilakukan tersebut masih terpusat pada produknya. Interaksi antara perangkat dengan produk belum dilakukan.

Dalam beberapa dekade terakhir, CFD (*Computational Fluid Dynamics*) banyak digunakan sebagai alat bantu baik dalam desain maupun optimasi proses pengeringan, di samping aplikasi-aplikasi keteknikan lainnya, seiring dengan kemajuan-kemajuan dalam teknologi perangkat komputasi. CFD adalah suatu teknik berbasis komputer yang dimaksudkan untuk karakterisasi, interpretasi, dan kuantifikasi fenomena transport fluida melalui pemecahan persamaan-persamaan kekekalan secara numerik [8]. Penggunaan CFD untuk simulasi proses pengeringan, khususnya untuk produk pertanian dan perkebunan, dalam upaya untuk mengamati distribusi kecepatan dan suhu serta tingkat kekeringan produk pada masing-masing rak telah dilakukan oleh banyak peneliti [9-11]. Berbagai penelitian terkait dengan penggunaan CFD dalam pengeringan telah diikhtisarkan dalam beberapa artikel review [12,13]. CFD juga digunakan sebagai alat bantu dalam desain pengering [14-18]. Selain konfigurasi perangkat pengering, simulasi dengan CFD juga dilakukan untuk berbagai variasi pembebanan maupun variasi perlakuan produk yang akan dikeringkan [19-21]. Pada artikel ini, dilakukan simulasi proses pengeringan pada perangkat pengering tipe rak dengan variasi susunan rak. Simulasi dilakukan dengan kondisi tanpa beban.

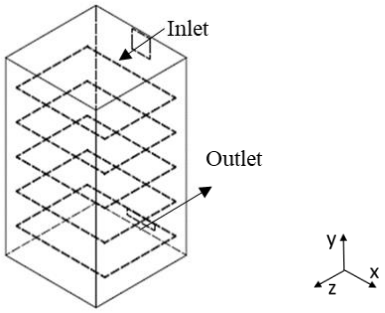
2. METODOLOGI

2.1. Model Fisik

Model pengering dalam simulasi ini adalah sebuah kabin pengering berbentuk kotak (Gambar 1) dengan dimensi: panjang 0,51 m, lebar 0,51 m, dan

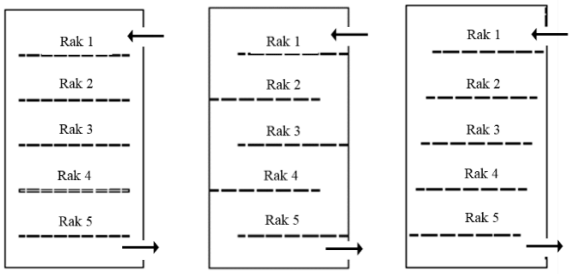
 https://doi.org/10.25077/inomet.1.1.21-28.2024

tinggi 0,96 m. Di dalam kabin pengering terdapat lima buah 5 rak (*tray*) yang masing-masing memiliki panjang 0,50 m, lebar 0,40 m, dan ketebalan 0.005 m. Jarak vertikal tiap rak adalah 0,168 cm. Udara pengering masuk ke dalam kabin pengering dari bagian atas dan keluar dari bagian bawah pada sisi yang sama dengan udara masuk.



Gambar 1. Model pengering tipe rak

Dalam simulasi, dilakukan tiga variasi susunan rak, yaitu susunan sejajar (Gambar 2.a), susunan selang seling atau *serpentine* (Gambar 2.b), dan susunan jajaran genjang (Gambar 2.c).



(a) (b) (c)

Gambar 2. Susunan rak pengering dalam simulasi

2.2. Model Matematik

Simulasi numerik dilakukan dengan terlebih dahulu merumuskan persamaan dasar dan kondisi batas. Untuk mendapatkan distribusi kecepatan dan suhu di dalam kabin pengering, digunakan persamaan dasar (1-3) berikut:

Persamaan kontinuitas

$$\frac{D\rho}{Dt} = -\nabla \cdot (\rho u) \qquad (1)$$

Persamaan momentum

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\nabla p + \mu \nabla^2 u + \rho g \qquad (2)$$

Persamaan energi

$$\rho \frac{De}{Dt} = -(\nabla \cdot q) - p(\nabla \cdot u) - (\tau : \nabla u) \qquad (3)$$

Pada Pers. (1-3), *D/Dt* adalah turunan substansial. Untuk pemodelan turbulensi, digunakan model κ–ω [22].

2.3. Pemecahan Persamaan

Untuk memecahkan Pers.(1-3) digunakan paket program ANSYS. Sebelum pemecahan, terlebih dahulu dikemukakan beberapa anggapan berikut:

- proses pengeringan dalam keadaan tunak (*steady-state*),
- densitas dan viskositas dinamik dianggap konstan,
- suhu dinding kabin pengering sama dengan suhu udara sekeliling, dan
- pengeringan tanpa beban sehingga tidak ada interaksi antara produk dengan udara pengering.

Adapun, parameter yang ditetapkan selama simulasi adalah sebagai berikut:

- kecepatan udara masuk kabin pengering = 1 m/s
- suhu udara pengering masuk kabin pengering = 50^{o}C
- suhu udara sekeliling = 27 ^{o}C

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

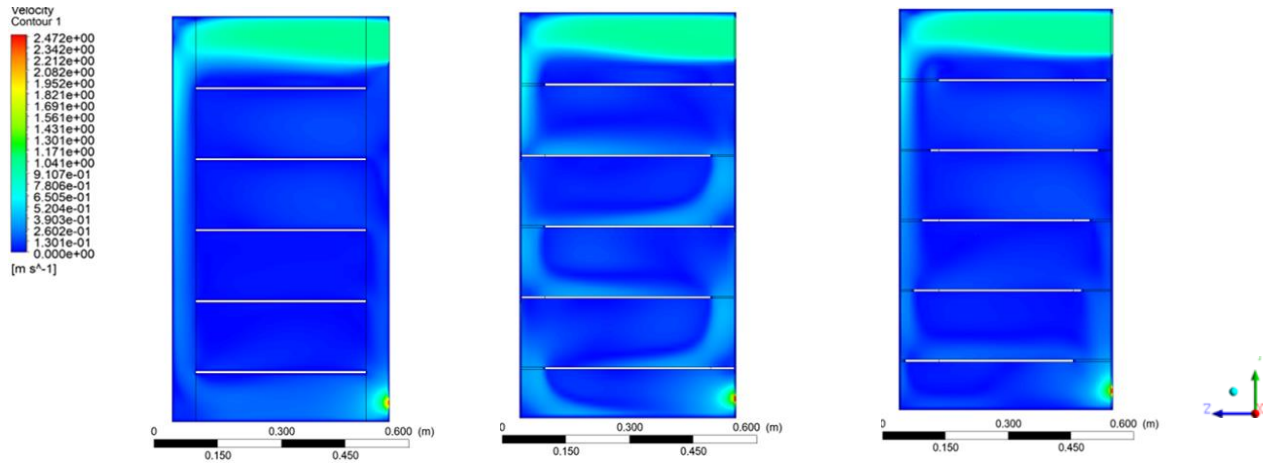
3.1. Distribusi Kecepatan

Pada Gambar 3 dan 4 diperlihatkan distribusi kecepatan di dalam kabin pengering untuk ketiga macam susunan rak pada bidang x = ¼ L dan x = ½ L. x adalah sumbu horizontal yang tegak lurus terhadap arah aliran udara pengering masuk dan keluar dari kabin pengering. Baik pada susunan parallel maupun susunan jajaran genjang, arah aliran cenderung menuju sisi berlawanan dengan arah udara masuk sehingga kecepatan udara di sisi bidang di mana udara pengering masuk cenderung rendah. Pada susunan rak selang-seling, kecepatan udara lebih merata di atas permukaan rak-rak.

Terbit *online* pada laman web jurnal : http://inomet.ft.unand.ac.id

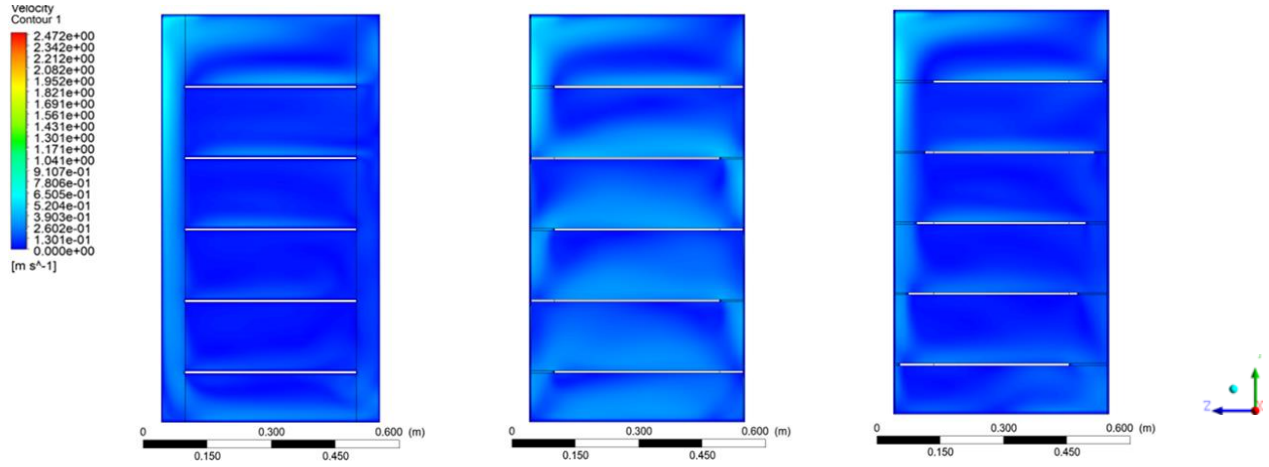
INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal dan Termal

ISSN (Online) 3025 - 2598



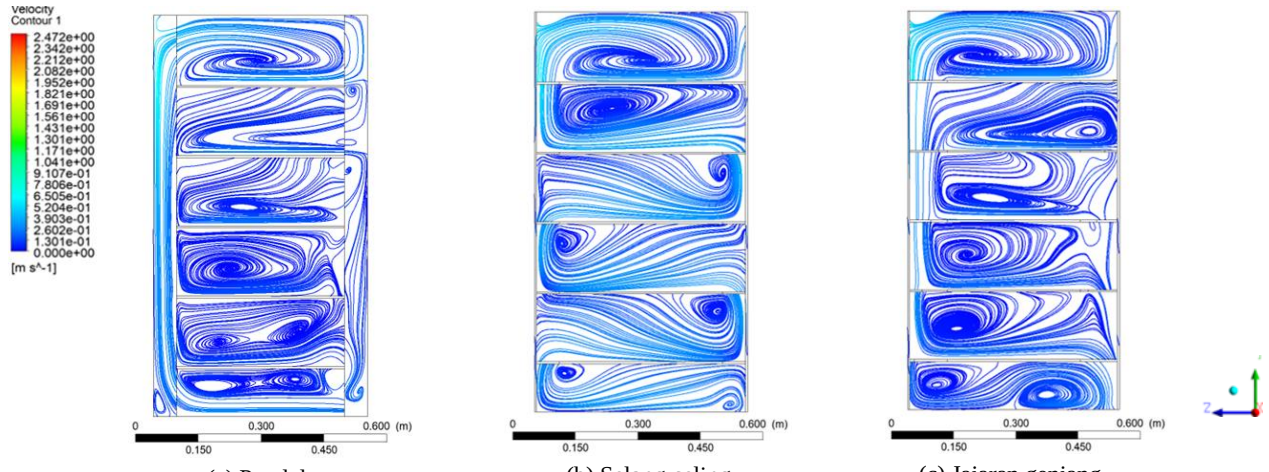
(a) Paralel (b) Selang-seling (c) Jajaran genjang

Gambar 3. Distribusi kecepatan pada bidang x = ½ L



(a) Paralel (b) Selang-seling (c) Jajaran genjang

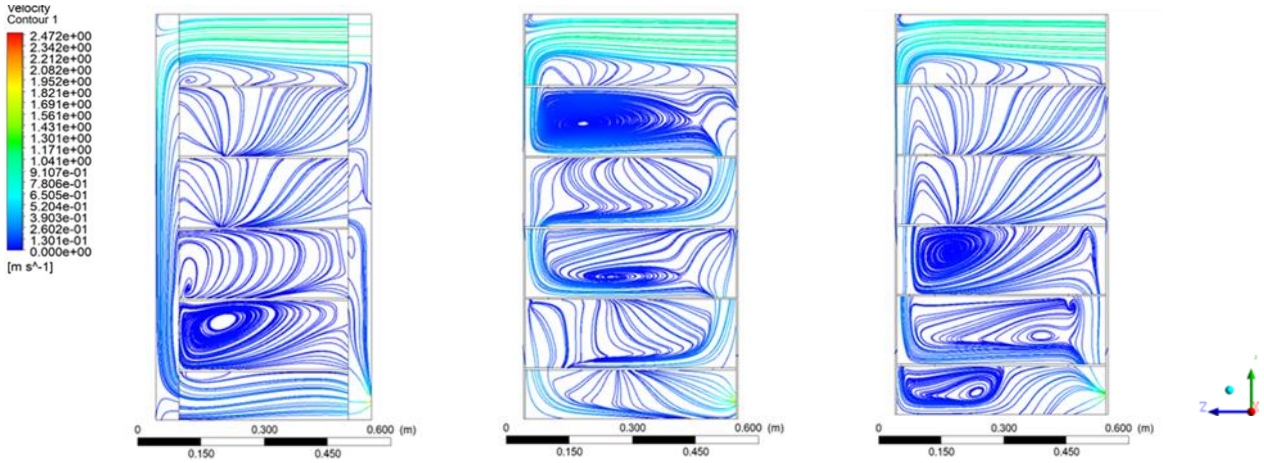
Gambar 4. Distribusi kecepatan pada bidang x = ¼ L



(a) Paralel (b) Selang-seling (c) Jajaran genjang

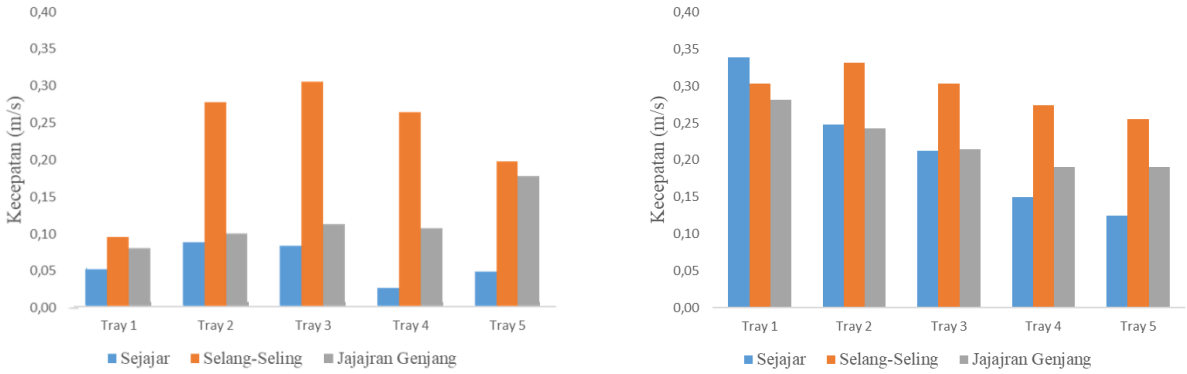
Gambar 5. *Streamline* pada bidang x = ½ L

https://doi.org/10.25077/inomet.1.1.21-28.2024
Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved



(a) Paralel (b) Selang-seling (c) Jajaran genjang

Gambar 6. *Streamline* pada bidang x = ¼ L

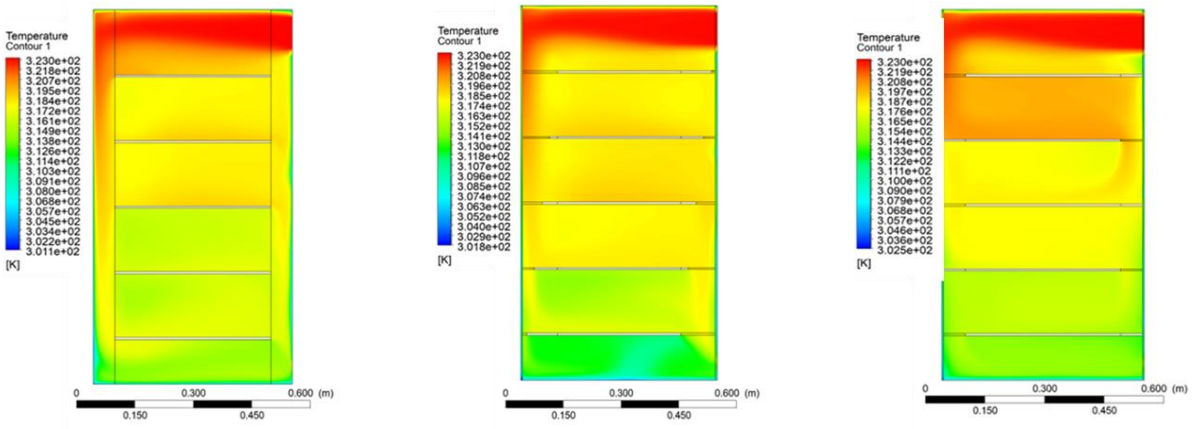


(a) x = ½ L (b) x = ¼ L

Gambar 7. Kecepatan udara pada posisi 1 cm di atas rak

Pada Gambar 5 dan Gambar 6 diperlihatkan *streamline* pada bidang x = ½ L dan bidang x = ¼ L. Resirkulasi banyak terjadi di bagian tengah atau x = ½ L dimana kecepatannya relative lebih tinggi dibandingkan dengan di samping kiri maupun kanan sehingga kecenderungan terjadinya olakan juga semakin tinggi. Pada Gambar 7 diperlihatkan kecepatan pada posisi 1 cm di atas masing-masing rak untuk ketiga susunan rak. Kecepatan udara pada susunan selang-seling lebih merata karena debit massa yang sama melewati semua lorong-lorong antar rak. Adapun, untuk susunan rak parallel dan jajaran genjang, debit massa terbagi antara lorong antar rak dengan celah antara ujung rak dengan dinding kabin pengering. Pada susunan jajaran genjang, walaupun distribusi kecepatan dari tiap-tiap rak lebih merata dibandingkan dengan susunan parallel, tetapi perbedaan tersebut tidak terlalu besar. Ini disebabkan oleh daerah intersepsi rak di bawahnya, pada saat aliran udara mengarah ke bawah di sisi berseberangan dengan inlet pengering, tidak cukup besar. Daerah intersepsi dapat diperbesar, namun ini akan mengurangi kapasitas pembebanan (*loading*) produk yang akan dikeringkan.

Pada Gambar7 diperlihatkan distribusi kecepatan pada masing-masing rak dengan posisi 1 cm di atas masing-masing rak. Untuk susunan selang-seling, distribusi kecepatan lebih merata. Adapun, untuk susunan parallel dan jajaran genjang, kecepatannya menurun karena sebagian besar debit massa mengalir melalui celah antara ujung rak di sisi ujung dari inlet pengering dengan dinding kabin pengering.



(a) Paralel (b) Selang-seling (c) Jajaran genjang

Gambar 8 Distribusi suhu di dalam kabin pengering

3.2. Distribusi Suhu

Pada Gambar 8 diperlihatkan distribusi suhu di dalam kabin pengering. Pada susunan parallel, udara pengering mengalir langsung menumbuk dinding di seberang inlet pengering dan sebagian besar akan langsung mengalir menuju celah antara ujung rak-rak dengan dinding kabin pengering. Energi dari aliran udara pengering ini akan terdisipasi saat menumbuk dan menyusuri dinding kabin pengering. Pada susunan selang-seling, udara yang membawa energy juga mengalami tumbukan dengan dinding kabin pengering, namun sebagian besar masih dibawa menyusuri lorong-lorong antar rak. Untuk susunan jajaran genjang, level energy tertinggi terbatas pada rak teratas dan satu rak di bawahnya. Secara umum, tingkat energy udara pengering masih terjaga hingga rak ke empat, kecuali pada susunan rak parallel yang hanya sampai pad arak ketiga. Hal ini mengisyaratkan bahwa dengan kondisi operasi seperti yang diberikan pada parameter input simulasi, untuk mendapatkan suhu yang seragam dapat digunakan empat buah rak untuk susunan rak selang-seling dan jajaran genjang. Adapun untuk susunan rak parallel, distribusi suhu yang seragam hanya mencapai rak yang ketiga.

4. KESIMPULAN

Simulasi numerik telah dilakukan untuk mendapatkan distribusi kecepatan udara dan distribusi suhu di dalam kabin pengering tipe rak untuk tiga susunan rak yang berbeda. Simulasi dilakukan dengan kondisi tanpa beban. Dari simulasi dapat diperoleh bahwa susunan rak selang-seling memberikan distribusi kecepatan dan distribusi suhu yang lebih seragam dibandingkan dengan kedua susunan rak yang lain. Keseragaman kecepatan dan suhu dapat dicapai pada taraf tertentu hingga pada rak keempat untuk susunan rak selang-seling dan jajaran genjang. Sedangkan, untuk susunan rak paralel, keseragaman tersebut hanya dapat dicapai hingga pada rak ketiga.

DAFTAR PUSTAKA

[1] J.-P. Nadeau & J.-R. Puigalli, *Séchage: des processus physique aux procédés industriels*, Technique et Documentation – Lavoisier, Paris, 1995

[2] M. Fortes & M.R. Okos, Drying theories: Their bases and limitations as applied to foods and grains, in *Advances in Drying*, vol. 1. A.S. Mujumdar, Ed., Washington: Hemisphere Publ. Co. and McGraw-Hill, 1980

 https://doi.org/10.25077/inomet.1.1.21-28.2024

[3] C.M. van't Land, *Industrial Drying Equipment: Selection and Application*, Marcel Dekker, New York, 1991.

[4] I.C. Kemp & R.E. Babu, A new algorithm for dryer selection, *Drying Technology* 13 (5-7), 1995, pp. 1563 – 1578

[5] T. Kudra & A.S. Mujumdar, *Advanced Drying Technologies*, 2nd Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 2009

[6] A.S. Mujumdar, Principles, classification, and selection of dryers, in *Handbook of Industrial Drying*, 3rd Ed., A.S. Mujumdar, Ed., Marcel Dekker, New York,

[7] Z. Pakowski & A.S. Mujumdar, Basic process calculations and simulations in drying, in *Handbook of Industrial Drying*, 3rd Ed., A.S. Mujumdar, Ed., Marcel Dekker, New York,

[8] P.-E. Bournet & F. Rojano, Advances of computational fluid dynamics (CFD) applications in agricultural building modelling: Research, applications and challenges, *Computers and Electronics in Agriculture* 201, 2022, 107277

[9] E. Mathioulakis, V. T. Karathanos and V. G. Belessiotis, Simulation of air movement in a dryer by computational fluid dynamics: Application for the drying of fruits, *Journal of Food Engineering* 36, l998, pp. 183-200

[10] J. L. Carrera Escobedo, A. Ortiz Rivera, C. H. Guzman Valdivia, M. A. Garcia Ruiz and O. Desiga Orenday, Computational fluid dynamics analysis for improving temperature distribution in a chili dryer, *Thermal Science* 22 (5A), 2018, pp. 2615-2623

[11] S. Misha, S. Mat, M.H. Ruslan, K. Sopian, and E. Salleh, The prediction of drying uniformity in tray dryer system using CFD simulation, *Intl. Journal of Machine Learning and Computing* 3 (5), 2013, pp. 419-423

[12] S. Ozcan Coban, F. Selimefendigil, H. F. Oztop and A. Hepbasli, A review on computational fluid dynamics simulation methods for different convective drying applications, *Thermal Science* 27 (1B), 2023, pp. 825-842

[13] R. P. Ramachandran, M. Akbarzadeh, J. Paliwal & S. Cenkowski, Computational fluid dynamics in drying process modelling—A technical review, *Food and Bioprocess Technology* 11, 2018, pp. 271-292

[14] H. Darabi, A. Zomorodian, M.H. Akbari & A.N. Lorestani, Design a cabinet dryer with two geometric configurations using CFD, *Journal of Food Science and Technology* 52 (1), 2013

[15] Y. Amanlou , A. Zomorodian, Applying CFD for designing a new fruit cabinet dryer, *Journal of Food Engineering* 101 (1) 2010, pp. 8-15

[16] D.A. Tzempelikos, A. P. Vouros, A. V. Bardakas, A. E. Filios, and D. P. Margaris, Design, construction and evaluation of a new laboratory convective dryer using CFD, *International Journal of Mechanics* 7(4), 2013, pp. 436-434

[17] H. Scaar, T. Teodorov, T. Ziegler and J. Mellmann, Computational fluid dynamics (CFD) analysis of air flow uniformity in a fixed-bed dryer for medicinal plants, *Proc. 1st IS on CFD Applications in Agriculture*, R. Suay, Ed., 2013, pp. 119-126

[18] C.T. Hoffmanna, J. Praß, T.H.J. Uhlemann & J. Franke, Improving the energy efficiency of industrial drying processes: a computational fluid dynamics approach, *Procedia Manufacturing* 33, 2019, 422–429

[19] S. Misha, S. Mat, M. H. Ruslan, K. Sopian and E. Salleh, Comparison of CFD simulation on tray dryer system between porous and solid product, in *Latest Trends in Renewable Energy & Environmental Informatics*. A. Zaharim & K. Sopian, Eds., WSEAS Press, 2013, pp. 59-64

[20] A. G. Chilka & V. V. Ranade, CFD modelling of almond drying in a tray dryer. *Canadian Journal of Chemical Engineering* 97 (2), 2019, pp. 560-572

[21] P.-M. Cârlescu, V. Arsenoaia, R. Roșca, and I. Țenu, CFD simulation of heat and mass transfer during apricots drying, *LWT - Food Science and Technology* 85, Part B, 2017, pp. 479-486

[22] F.R. Menter, R. Sechner & A. Matyushenko, Best Practice: RANS Turbulence Modeling in Ansys CFD, Version 1.0, Ansys, 2021

NOMENKLATUR

e	energi-dalam
g	percepatan gravitasi
p	tekanan
q	panas melalui konduksi
t	waktu
u	kecepatan
μ	viskositas dinamik
ρ	densitas
τ	tensor tegangan

 https://doi.org/10.25077/inomet.1.1.21-28.2024