

ANALISIS KARAKTERISTIK PENGERINGAN PADA DRYING CHAMBER BERTEMERATUR RENDAH DENGAN KOMBINASI ALIRAN SWIRL DAN CO-CURRENT

*Farel Akbar Aulia¹, Eflita Yohana², Mohammad Tauviqirrahman²

¹Mahasiswa Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: farelakbaraulia@gmail.com

Abstrak

Teh adalah produk perkebunan paling banyak diminati oleh masyarakat luas. Alasan teh diminati karena kandungan di dalamnya, salah satu kandungannya adalah katekin yang berperan sebagai antioksidan alami. Pada zaman ini menuntut produk yang lebih praktis seperti teh dalam bentuk bubuk. Sistem pengeringan semprot merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam pembuatan teh menjadi bentuk bubuk, salah satu bagian utama dari sistem pengeringan semprot yaitu ruang pengering. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa fraksi massa pada udara di dalam ruang pengering sehingga didapatkan komposisi suhu yang cocok untuk proses pengeringan. CFD (Computational Fluid Dynamics) digunakan dalam penelitian ini yang meliputi proses permodelan geometri, pembentukan meshing, dan pengaturan kondisi batas. Variasi temperatur 60°C, 70°C, dan 80°C untuk mendapatkan komposisi temperatur yang paling optimal dalam proses pengeringan. Dari hasil penelitian distribusi H₂O mass fraction di bawah nozzle memiliki nilai yang sangat tinggi karena udara untuk *inlet nozzle* yang digunakan memiliki kelembaban yang masih sangat tinggi. Sisi bawah keluaran nozzle memiliki nilai H₂O(l) mass fraction semakin tinggi yang terjadi karena droplet yang disemprotkan dari nozzle mengandung banyak kandungan air, di mana kandungan air ini akan perlahan-lahan lepas dari droplet dan pindah ke udara. Variasi temperatur 80°C memiliki penurunan temperatur tertinggi yaitu sebesar 36.474°C sekaligus menjadi variasi dengan intensitas pengeringan tertinggi yaitu sebesar 2.422kg/m³.

Kata kunci: cfd; h20 mass fraction; h20(l) mass fraction; pengering semprot

Abstract

Tea is the most popular plantation product among the general public. The reason tea is popular is because of its content, one of which is catechin which acts as a natural antioxidant. In this era, it demands more practical tea products such as tea in powder form. The spray drying system is one method that can be used in making tea into powder form, one of the main parts of the spray drying system is the drying chamber. This study aims to analyze the mass fraction of the air in the drying chamber so that a suitable temperature composition is obtained for the drying process. CFD (Computational Fluid Dynamics) is used in this study which includes the process of geometric modeling, meshing formation, and boundary condition settings. Temperature variations of 60°C, 70°C, and 80°C to obtain the most optimal temperature composition in the drying process. From the results of the study, the distribution of H₂O mass fraction under the nozzle has a very high value because the air for the inlet nozzle used has very high humidity. The lower side of the nozzle output has a higher H₂O(l) mass fraction value which occurs because the droplets sprayed from the nozzle contain a lot of water content, where this water content will slowly release from the droplets and move into the air. The temperature variation of 80°C has the highest temperature drop of 36.474°C as well as being a variation with the highest drying intensity of 2.422kg/m³

Kata kunci: cfd; h20 mass fraction; h20(l) mass fraction; spray dryer

1. Pendahuluan

Teh dinilai mampu berperan sebagai antibakteria sehingga sering dijadikan obat herbal bagi masyarakat [1]. Teh di Indonesia terkenal di dunia karena memiliki kandungan katekin (antioksidan alami) yang merupakan turunan dari poliphenol dengan khasiat antioksidan tinggi dan berperan penting dalam menentukan aroma dan rasa, senyawa tidak berwarna dan larut dalam air, serta membawa sifat pahit dan sepat pada seduhan teh [2]. Cara untuk meningkatkan nilai komoditas teh adalah dengan merubah teh dalam bentuk konvensional berupa daun teh kering menjadi bentuk bubuk instan. Bentuk bubuk instan memiliki keuntungan berupa kepraktisan, kehigienisan, waktu simpan relatif panjang, dan juga kemudahan untuk dicampurkan dengan bahan-bahan lain [3].

Drying chamber merupakan alat yang digunakan pada proses sistem pengeringan semprot. Prinsip kerja dari drying chamber adalah menghilangkan kelembaban dengan mengaplikasikan panas pada produk dan mengendalikan kelembaban larutan produk [4]. Alat ini dapat menghasilkan bubuk kering dengan cara mengeringkan tetesan yang disemprotkan (teratomisasi) [5]. Sistem spray drying terdiri atas beberapa komponen diantaranya feed tank, air heater, atomizer, drying chamber, cyclone separator, product collection chamber, dan scrubber. Pada drying chamber tetesan yang teratomisasi akan terlepaskan kelembabannya akibat aliran udara panas dan berubah menjadi bentuk bubuk [6]. Pada drying chamber dengan aliran swirl yang diteliti oleh Hernandez dkk., (2018) dan Suárez dkk., (2021), menyatakan bahwa aliran ini memiliki kontak larutan dengan udara panas yang merata [7,8].

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan di atas, maka tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis pengaruh kombinasi jenis aliran udara panas co-current dengan aliran dual-swirl di drying chamber pada sistem spray dryer terhadap nilai *mass fraction* yang terjadi. Sehingga dapat diketahui nilai kombinasi atau perbandingan yang paling tepat antara aliran co-current dan dual swirl yang dibutuhkan untuk mendapatkan nilai *mass fraction* yang paling tepat dan cocok diterapkan pada produksi bubuk teh agar tetap menjaga kandungan baik dari teh. Untuk menyelidiki pengaruh kombinasi aliran dan temperatur udara panas di dalam drying chamber tersebut, akan dilakukan simulasi numerik menggunakan metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Inovasi kombinasi aliran udara panas masuk pada penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebuah panduan teoritis untuk pembuatan alat pengering semprot temperatur rendah yang cocok untuk pengeringan bubuk teh menjadi bentuk bubuk instan.

2. Material dan Metode Menelitian

2.1 Permodelan Simulasi

Fenomena yang ada di dalam *drying chamber* selama proses pengeringan merupakan proses aliran dua fase yang melibatkan pertukaran massa, momentum, dan energi yang kompleks antara tetesan dan cairan di sekitarnya [5], dinyatakan berturut-turut pada Persamaan 1, 2, dan 3 sebagai persamaan pembangun.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (1)$$

Dimana ρ adalah massa jenis dan \vec{v} adalah vektor kecepatan.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot [\mu (\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

Dimana μ mewakili viskositas fluida dan \vec{g} menunjukkan percepatan gravitasi. \vec{F} diartikan sebagai kekuatan eksternal atau istilah sumber.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot [\vec{v}(\rho E + P)] = \nabla \cdot \left[k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j J_j + (\tau_{eff} \cdot u) \right] + S_h \quad (3)$$

Dimana E menunjukkan nilai energi rata-rata, P mewakili tekanan, k_{eff} adalah konduktivitas efektif dan J_j adalah fluks difusi spesies j . T mewakili suhu absolut, τ_{eff} tegangan tensor efektif dan S_h menunjukkan sumber panas *volumetric* [9].

$$q = \frac{(T_{in} + 273)^{3.4287}}{(T_{out} + 273)^{3.34}} \quad (4)$$

Persamaan 4 merupakan persamaan untuk intensitas pengeringan dari *spray dryer* oleh Mujumdar (2014) dalam buku *Handbook of Industrial Drying*. Dimana q (kg/m^3) merupakan intensitas pengeringan, T_{in} dan T_{out} merupakan temperatur udara masuk dan temperatur udara keluar[10].

2.2 Simulasi Numerik

Simulasi numerik dilakukan dengan perangkat lunak CFD yaitu Ansys. Simulasi secara numerik dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu tahap pre-processing, tahap processing, dan tahap post-processing.

2.2.1 Pembuatan Geometri dan *Meshing*

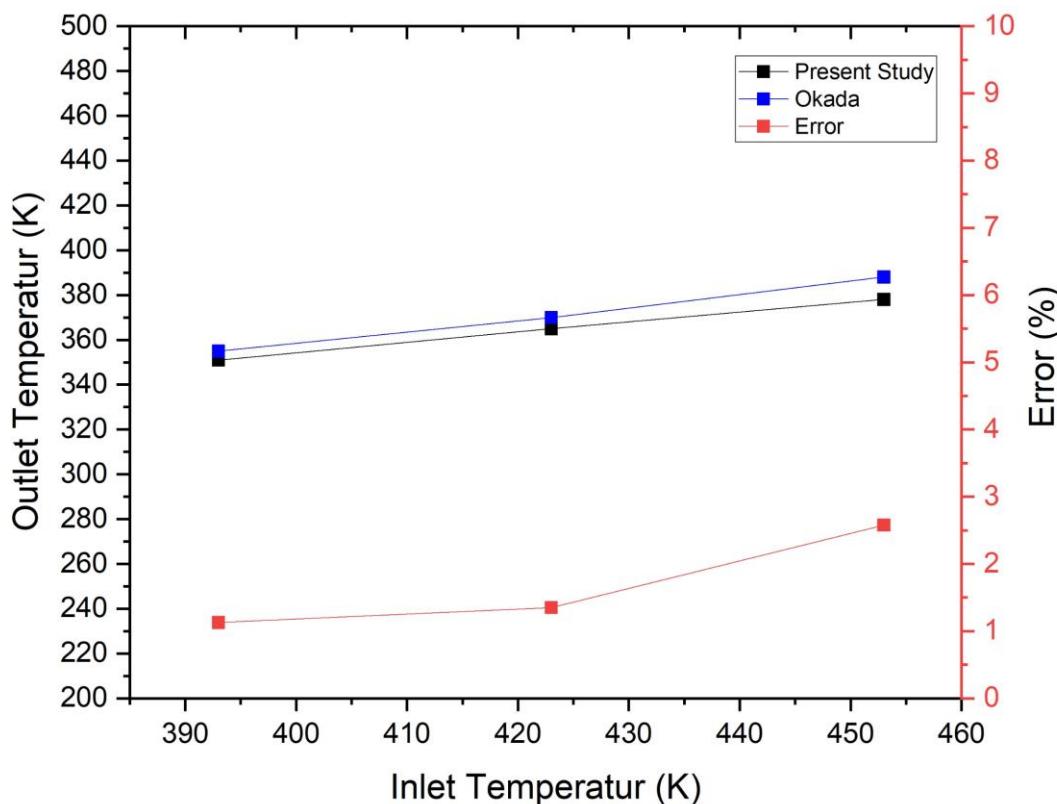
Rasio geometri yang digunakan pada pemodelan adalah 1:1 terhadap ukuran geometri asli yang ada. *Drying chamber* pada penelitian ini menggunakan diameter outlet bawah 114mm, tinggi total keseluruhan *drying chamber* sebesar 2720.65mm, dan luas inlet swirl sebesar 60,000mm. *Meshing* dilakukan menggunakan metode *tetrahedrons* settingan *patch conforming*. Hasil dari *meshing* menghasilkan nilai *skewness* maksimum 0.79 dan nilai *orthogonal quality* minimum sebesar 0.2 yang dimana hasil *meshing* ini sudah masuk ke dalam kelas *good*.

2.2.2 Penentuan Kondisi Batas

Pada penelitian ini *domain* komputasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *inlet co-current*, *inlet swirl*, *inlet nozzle*, *outlet bottom*, *outlet side*, dan *wall*. *Domain inlet co-current* berfungsi sebagai tempat masuknya udara panas secara *co-current*. *Domain inlet swirl* berfungsi sebagai tempat masuknya udara panas secara *swirl*. *Domain inlet nozzle* berfungsi sebagai tempat injeksi larutan teh. *Domain outlet bottom* dan *outlet side* berfungsi sebagai tempat keluar produk akhir hasil pengeringan, untuk *outlet side* akan terhubung dengan *cyclone*. Temperatur *inlet* udara panas menjadi variabel bebas dalam penelitian ini yaitu sebesar 60°C, 70°C, 80°C. Kecepatan udara panas masuk yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebesar 2,604m/s pada tiap *inlet swirl* dan 12.848m/s untuk *inlet co-current*.

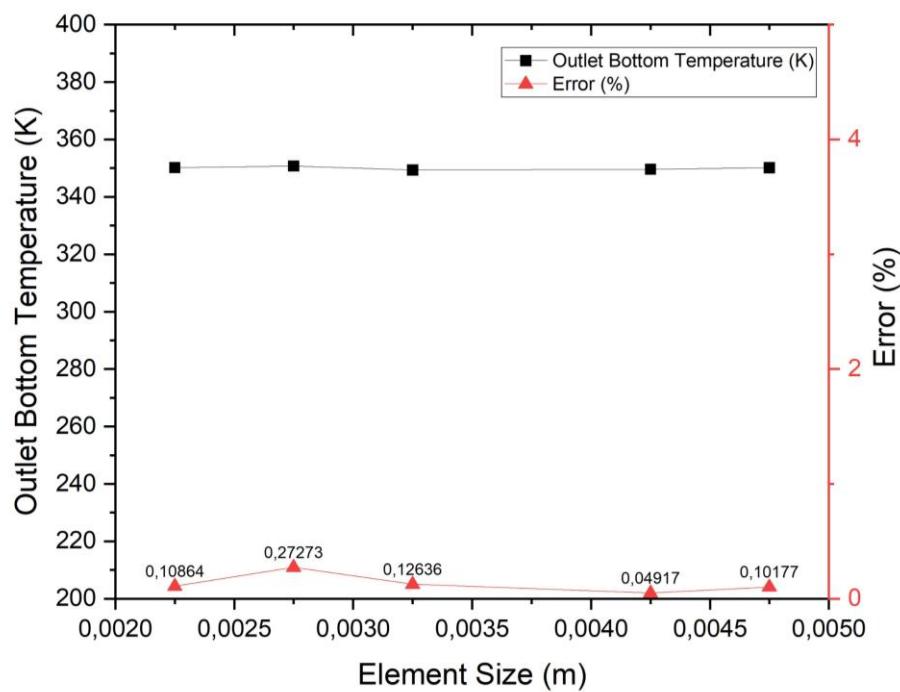
2.3 Validasi dan *Grid Independence Test*

Validasi dilakukan untuk memastikan kesesuaian hasil simulasi dengan kondisi sebenarnya. Dalam melakukan validasi harus memenuhi standar eror maksimal yaitu 10% [11]. Pada tugas akhir ini, hasil simulasi divalidasi dengan penelitian Okada dkk. [5]. Sedangkan uji grid dilakukan untuk menentukan jumlah meshing yang paling optimal dalam proses simulasi agar tidak menyebabkan nilai eror yang besar dalam hasil simulasi namun tetap tidak membebani kerja komputer terlalu besar. Untuk uji grid eror yang diijinkan tidak lebih dari 5% [12].



Gambar 1. Validasi Hasil Simulasi

Validasi dilakukan dengan membandingkan temperatur udara di *inlet spray dryer* dengan temperatur udara yang terjadi di *outlet spray dryer*. Nilai eror validasi akan dihitung berdasarkan perbedaan temperatur yang terjadi pada sisi *outlet spray dryer* pada penelitian ini terhadap hasil penelitian Okada dkk. [5]. Gambar 3 menunjukkan perbandingan hasil simulasi penelitian saat ini dengan hasil simulasi yang dilakukan oleh Okada dkk. [5]. Dari hasil validasi didapat bahwa eror maksimal terjadi pada variasi temperatur udara masuk 453K dengan nilai masih di bawah 10%.



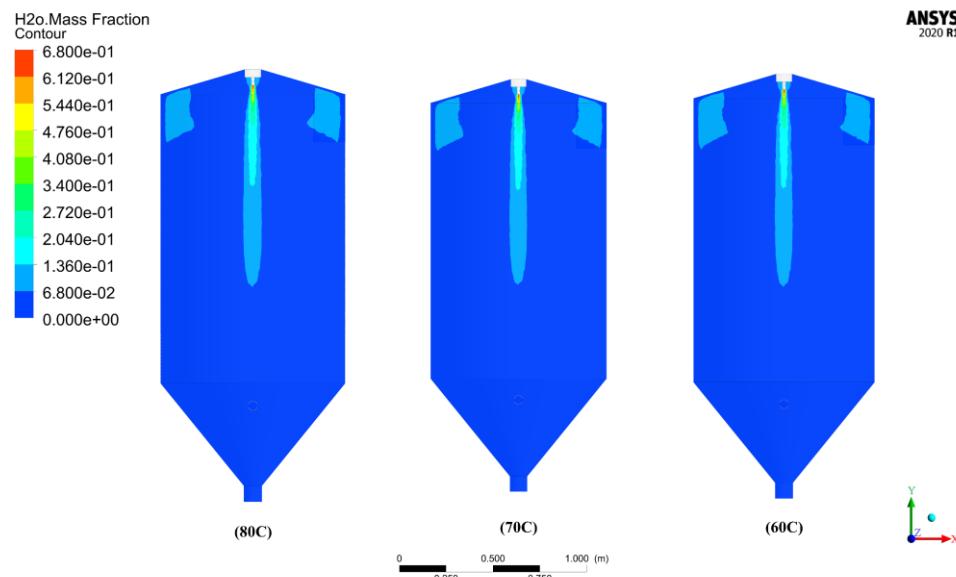
Gambar 2. Uji Grid Independen

Uji grid dilakukan untuk menghindari adanya eror akibat perubahan grid pada geometri yang dibuat. Pada uji grid ini, ada 5 ukuran elemen yang diuji, yaitu ukuran 0,00225, 0,00275, 0,00325, 0,00425, dan 0,00475m. Gambar 2 menunjukkan hasil uji grid untuk geometri. Parameter yang digunakan pada uji grid ini adalah nilai temperatur pada outlet bawah. Terlihat dari uji grid yang dilakukan tidak ada nilai eror yang signifikan, di mana semua nilai eror berada di bawah 5%, sehingga dari hasil ini dapat menjadi bukti kuat bahwa grid yang digunakan tidak akan menyebabkan nilai eror signifikan pada hasil simulasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa hasil simulasi *drying chamber* dengan kombinasi *inlet dual-swirl* dan *co-current* menggunakan variasi temperatur 60°C, 70°C, 80°C disajikan dalam bentuk visualisasi gambar hasil simulasi dan tabel data hasil simulasi.

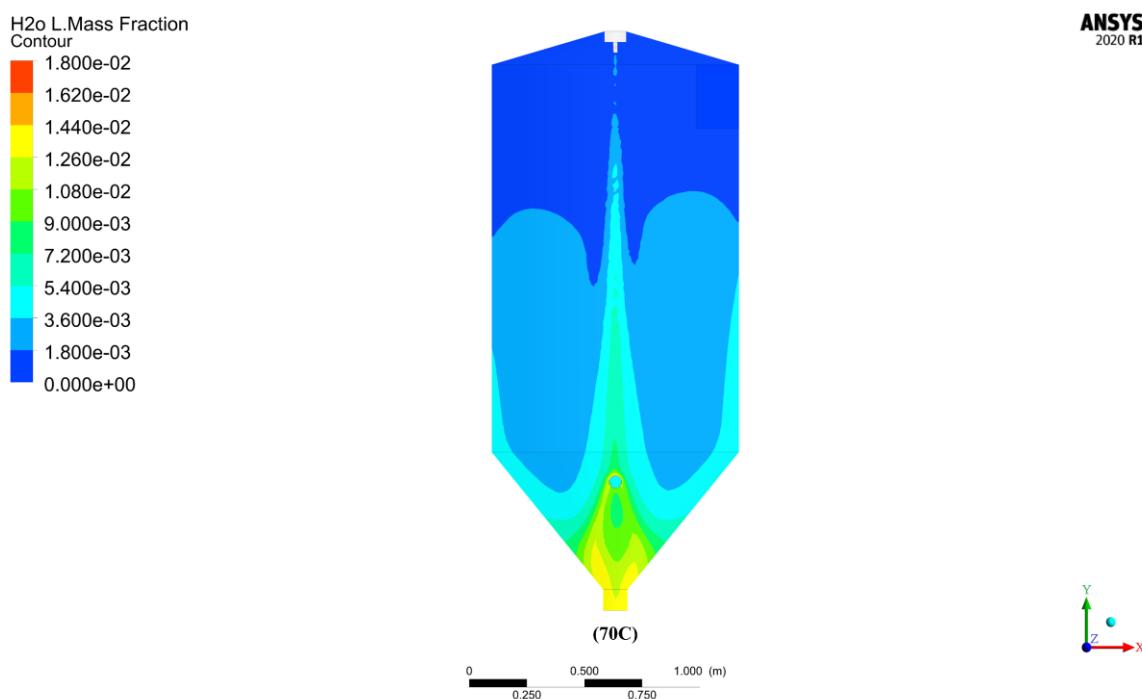
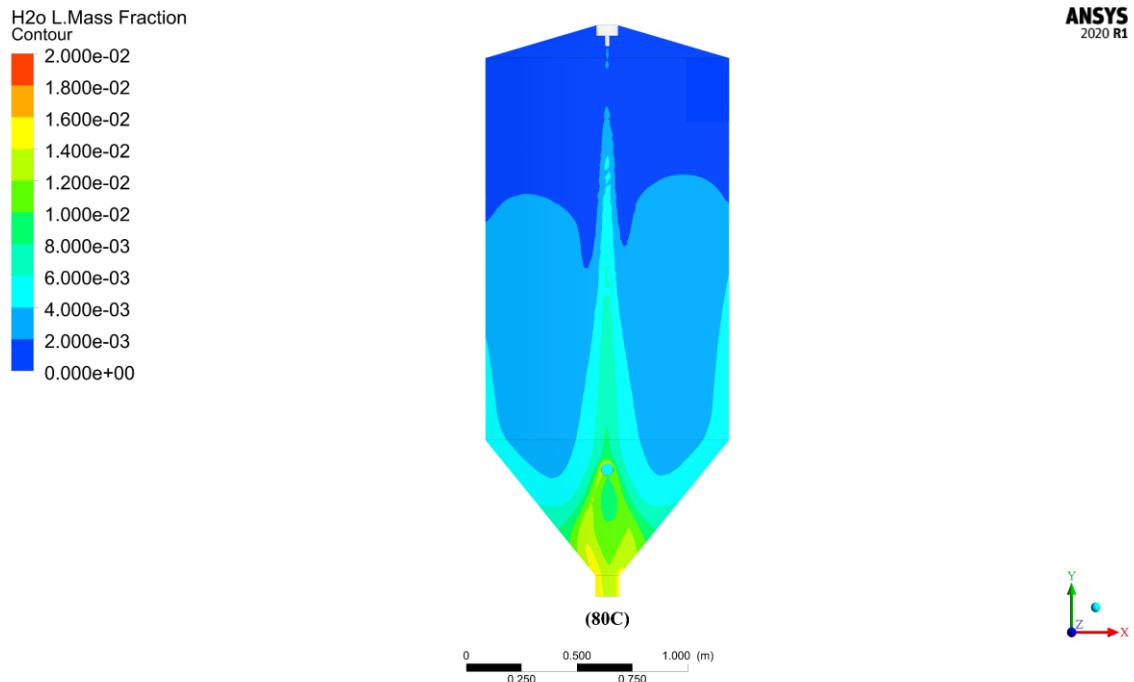
3.1 Kontur Distribusi H₂O mass fraction

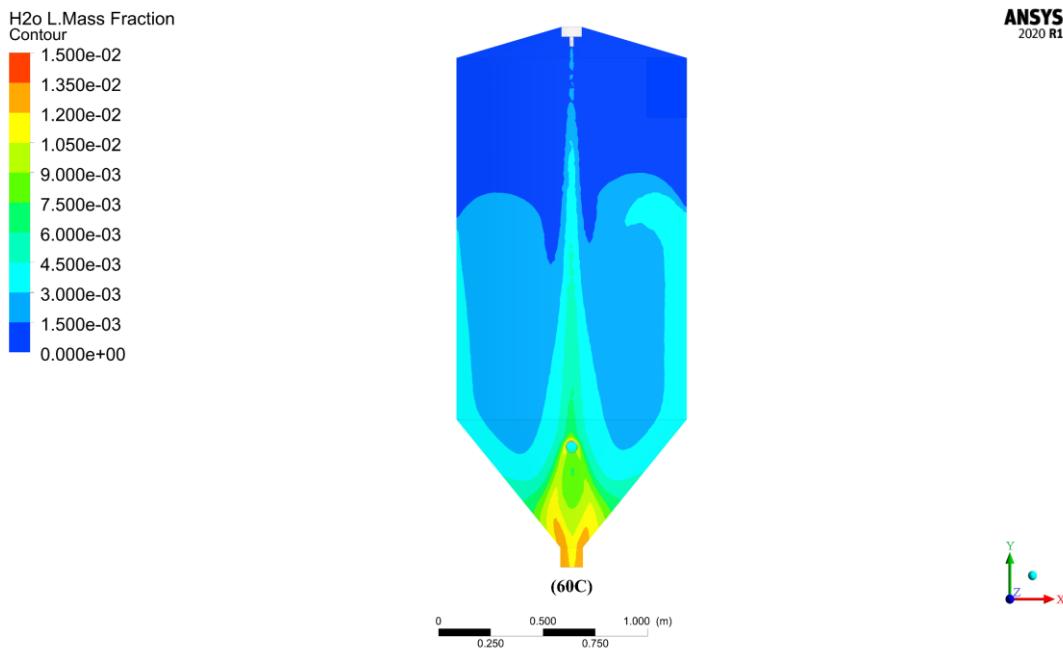


Gambar 3. Kontur distribusi H₂O mass fraction

Dari Gambar 3 terlihat bahwa distribusi H₂O *mass fraction* di bawah *nozzle* memiliki nilai yang sangat tinggi ditunjukan warna dengan kontur merah pekat, hal ini karena efek dari udara untuk inlet *nozzle* yang digunakan memiliki kelembaban yang masih sangat tinggi. Namun bila dibandingkan dengan posisi sekitar *nozzle*, semua wilayah nya memiliki nilai H₂O *mass fraction* yang sangat kecil, hal ini karena udara panas yang digunakan sudah dilakukan proses dehumidifikasi terlebih dahulu sehingga nilai kelembaban nya menjadi sangat kecil. Meski demikian, H₂O *mass fraction* yang keluar dari *nozzle* akan mencari kesetimbangan baik dengan udara panas maupun dengan droplet, sehingga bila dilihat nilai H₂O *mass fraction* berangsur-angsur turun dan menuju kesetimbangan, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Rajashekharan dan Raghavendra (2015) [13]. Bila dibandingkan pada tiap temperatur udara panas yang sama, variasi aliran c terlihat memiliki jangkauan perbedaan nilai H₂O *mass fraction* yang lebih jauh menuju ke outlet bawah, hal ini terjadi karena pada variasi aliran c kapasitas aliran co-current jauh lebih tinggi sehingga akan dengan lebih cepat dan jauh mendorong droplet serta udara dari *nozzle* menuju ke outlet bawah.

3.2 Kontur Distribusi H₂O(*l*) *mass fraction*



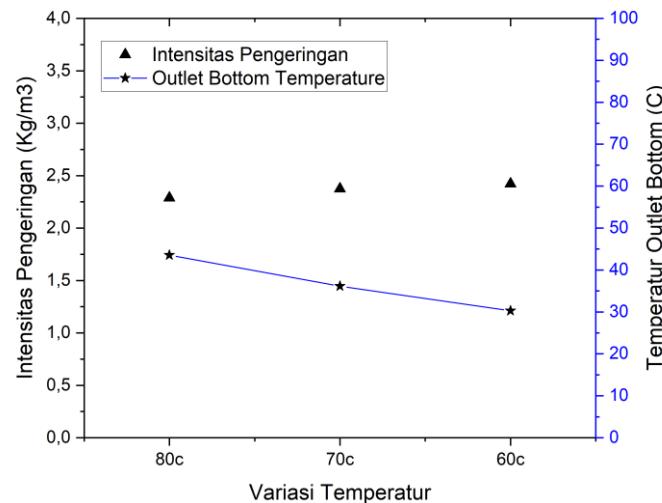


Gambar 4. Kontur distribusi $\text{H}_2\text{O(l)}$ mass fraction

Dari Gambar 4 terlihat bahwa pada sisi bawah keluaran *nozzle* memiliki nilai $\text{H}_2\text{O(l)}$ *mass fraction* yang semakin tinggi, ditandai dengan berubahnya kontur dari warna biru menuju warna kehijauan (Wei dkk., 2019), hal tersebut terjadi karena *droplet* yang disemprotkan dari *nozzle* mengandung banyak kandungan air, di mana kandungan air ini akan perlahan-lahan lepas dari *droplet* dan pindah ke udara [14]. Pada sisi atas *drying chamber* terlihat bahwa $\text{H}_2\text{O(l)}$ *mass fraction* masih rendah, meski pada daerah ini memiliki kontak langsung dengan udara panas masuk yang memungkinkan terjadinya evaporasi, namun *droplet* yang baru keluar dari *nozzle* ini masih memiliki temperatur relatif rendah, sehingga panas dari udara panas masuk masih digunakan sebagai panas sensibel untuk menaikkan temperatur *droplet* hingga menuju titik perubahan fasa air di mana terjadi perpindahan panas laten. Sehingga bisa terlihat, baru pada sisi tengah *drying chamber* *droplet* mulai berevaporasi dan melepaskan kandungan air ke udara panas, hal ini terus berlanjut hingga posisi *outlet* di mana nilai $\text{H}_2\text{O(l)}$ *mass fraction* terus meningkat yang menunjukkan proses evaporasi terus berlangsung hingga mencapai kondisi kesetimbangan antara *droplet* dengan udara panas.

3.3 Karakteristik Temperatur *Outlet Bottom* dan Intensitas Pengeringan

Selain data produk akhir atau partikel, data yang didapat pada *outlet drying chamber* pun dapat digunakan untuk menunjukkan karakteristik dari *spray dryer* akibat variasi yang digunakan. Parameter yang digunakan untuk melihat karakteristik *outlet drying chamber* adalah temperatur.



Gambar 5. Temperatur *outlet bottom* terhadap intensitas pengeringan

Dari Gambar 5 terlihat bahwa penurunan temperatur yang terjadi antara temperatur udara panas masuk dengan temperatur sisi *outlet* bawah untuk variasi secara berturut-turut adalah 36.474 , 33.833 , dan 29.705°C . Penurunan temperatur yang besar menunjukkan kalor yang ada di udara panas berpindah atau digunakan dengan sangat baik menuju ke partikel untuk melepas kandungan air di dalam partikel [15]. Hasil ini menunjukkan bahwa setiap variasi memiliki perpindahan panas dari udara menuju partikel yang baik. Kemudian hasil penelitian dengan menggunakan variasi ini memiliki intensitas pengeringan untuk variasi 80°C, 70°C, dan 60°C secara berturut-turut adalah 2.422, 2.374, dan 2.287 kg/m³. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi aliran 80°C menjadi variasi paling baik bila ditinjau pada kemampuan pemanfaatan panas nya dalam melakukan pengeringan.

4. Kesimpulan

Dari penelitian *drying chamber* dengan kombinasi aliran *dual-swirl* dan *co-current* dengan variasi temperatur 80°C, 70°C, dan 60°C didapatkan kesimpulan:

- Distribusi H₂O *mass fraction* di bawah *nozzle* memiliki nilai yang sangat tinggi karena udara untuk inlet *nozzle* yang digunakan memiliki kelembaban yang masih sangat tinggi.
- Sisi bawah keluaran *nozzle* memiliki nilai H₂O(l) *mass fraction* semakin tinggi yang terjadi karena *droplet* yang disemparkan dari *nozzle* mengandung banyak kandungan air, di mana kandungan air ini akan perlahan-lahan lepas dari *droplet* dan pindah ke udara.
- Variasi temperatur 80°C memiliki penurunan temperature tertinggi yaitu sebesar 36.474 °C sekaligus menjadi variasi dengan intensitas pengeringan tertinggi yaitu sebesar 2.422kg/m³.

5. Daftar Pustaka

- [1] N. Noriko, “Potensi Daun Teh (*Camellia sinensis*) dan Daun Anting-anting *Acalypha indica* L. dalam Menghambat Pertumbuhan *Salmonella typhi*,” 2013. doi: 10.36722/sst.v2i2.131.
- [2] A. Ird, “Katekin teh Indonesia : prospek dan manfaatnya Indonesia tea catechin : prospect and benefits,” 2016. [Online]. Available: <http://www.indonesia-investments.com>,
- [3] K. Samborska, R. Bonikowski, D. Kalemba, A. Barańska, A. Jedlińska, and A. Edris, “Volatile aroma compounds of sugarcane molasses as affected by spray drying at low and high temperature,” *LWT*, vol. 145, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111288.
- [4] C. Anandharamakrishnan and S. P. Ishwarya, *Spray drying techniques for food ingredient encapsulation*.
- [5] S. Okada, S. Ohsaki, H. Nakamura, and S. Watano, “Estimation of evaporation rate of water droplet group in spray drying process,” *Chem Eng Sci*, vol. 227, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.ces.2020.115938.
- [6] S. D. Gunjal and S. V Shirokar, “An Overview of Process Parameters and Spray drying agents involved in Spray drying of Herbal Extracts.” [Online]. Available: <http://www.paideumajournal.com>
- [7] B. Hernandez, B. Fraser, L. Martin De Juan, and M. Martin, “Computational Fluid Dynamics (CFD) Modeling of Swirling Flows in Industrial Counter-Current Spray-Drying Towers under Fouling Conditions †,” *Ind Eng Chem Res*, vol. 57, no. 35, pp. 11988–12002, Sep. 2018, doi: 10.1021/acs.iecr.8b02202.
- [8] J. Andrés Gutiérrez Suárez, A. Gómez Mejía, C. Humberto, and G. Urueña, “Low-Cost Eddy-Resolving Simulation in the Near-Field of an Annular Swirling Jet for Spray Drying Applications,” 2021, doi: 10.3390/chemengineering.
- [9] F. de Melo Ramos, J. Ubbink, V. Silveira Júnior, and A. S. Prata, “Drying of Maltodextrin solution in a vacuum spray dryer,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 146, pp. 78–86, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.cherd.2019.03.036.
- [10] “Chen G and Mujumdar Arun S. 2014. Handbook of Industrial Drying, Fourth Edition-CRC Press”.
- [11] K. Sirisomboon and P. Arromdee, “A computational fluid dynamics study of gas–solid distribution of Geldart Group B particles in a swirling fluidized bed,” *Powder Technol*, vol. 393, pp. 734–750, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.powtec.2021.08.020.
- [12] M. Lee, G. Park, C. Park, and C. Kim, “Improvement of Grid Independence Test for Computational Fluid Dynamics Model of Building Based on Grid Resolution,” *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/8827936.
- [13] R. M. C and R. N, “CFD Simulation of a Co-Current Spray Dryer for Silica Powder Production,” *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*, vol. 2, 2015, doi: 10.17148/IARJSET.2015.2623.
- [14] Y. Wei, M. W. Woo, C. Selomulya, W. D. Wu, J. Xiao, and X. D. Chen, “Numerical simulation of mono-disperse droplet spray dryer under the influence of nozzle motion,” *Powder Technol*, vol. 355, pp. 93–105, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.powtec.2019.07.017.

-
- [15] F. Xu *et al.*, "Research on atomization evaporation characteristics and parameter optimization of a novel spray evaporation desalting system," *Desalination*, vol. 542, p. 116057, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.desal.2022.116057.