

## ANALISIS PERPINDAHAN PANAS DAN MASSA PARTIKEL PADA PENGERINGAN SEMPROT BERTEMPERATUR RENDAH DENGAN MENGGUNAKAN KOMBINASI SUDUT SEMPROT

\*Bistri Oktavia Usda<sup>1</sup>, Eflita Yohana<sup>2</sup>, Mohammad Tauvquirrahman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: [bistrioktaviausda02@gmail.com](mailto:bistrioktaviausda02@gmail.com)

### Abstrak

Meningkatnya produksi teh di Indonesia harus diikuti dengan peningkatan kualitas dari teh tersebut. Proses pengolahan teh harus dilakukan secara baik guna menjaga kualitas teh. Metode *spray drying* merupakan salah satu metode pengolahan teh yang beroperasi dengan perpindahan panas konveksi. *Spray drying* merupakan operasi pengolahan untuk mengubah bentuk cairan menjadi bentuk partikel kering dengan media semprot pengering panas. Pada penelitian ini dilakukan simulasi menggunakan bantuan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) untuk mengetahui pengaruh kombinasi sudut semprot dan variasi udara panas masuk pada ruang pengering terhadap distribusi H<sub>2</sub>O *mass fraction*, H<sub>2</sub>O (l) *mass fraction*, dan temperatur yang terjadi di dalam ruang pengering. Pada penelitian kali ini menggunakan variasi sudut semprot 20°, 25°, 32°, 41° dengan udara panas masuk yaitu 70°C. Karakteristik perpindahan panas dan massa dianalisis dari parameter hasil berupa temperature, fraksi massa air, dan fraksi massa uap air. Dari hasil penelitian diketahui bahwa variasi sudut semprot 41° memiliki nilai perpindahan panas dan massa yang paling baik, ditunjukkan oleh penurunan temperatur paling besar yaitu 38,9°C, sedangkan variasi sudut semprot 20° menjadi variasi dengan perpindahan massa yang paling rendah dengan penurunan temperatur udara panas 28,9°C.

**Kata kunci:** cfd; pengering semprot; sudut semprot; temperatur udara panas

### Abstract

*Increasing tea production in Indonesia must be followed by improving the quality of the tea. The tea processing process must be done properly to maintain the quality of tea. The spray drying method is one of the tea processing methods that operates by convection heat transfer. Spray drying is a processing operation to change the form of liquid into dry particle form with hot drying spray media. In this study, a simulation was carried out using the help of CFD (Computational Fluid Dynamics) to determine the effect of the combination of spray angle and variations in hot air entering the drying room on heat and mass transfer that occurs in the drying chamber. Dans cette étude en utilisant des variations d'angles de pulvérisation de 20 °, 25 °, 32 °, 41 ° avec de l'air chaud entrant qui est de 70 ° C. Les caractéristiques de la chaleur et de la désintégration massique sont analysées à partir des paramètres de résultat sous forme de température, fraction massique d'eau et fraction massique de vapeur d'eau. D'après les résultats de l'étude, on sait que la variation de l'angle de pulvérisation de 41 ° a le meilleur transfert de chaleur et la meilleure valeur de masse, indiquée par la plus grande diminution de température de 38,9 ° C, tandis que la variation de l'angle de pulvérisation de 20 ° devient la variation avec le transfert de masse le plus faible avec une diminution de la température de l'air chaud de 28,9 ° C.*

**Keywords:** *cfid; hot air temperature; spray angle; spray dryer*

### 1. Pendahuluan

Teh (*Camellia senensis*) merupakan salah satu bahan minuman yang banyak diminati oleh berbagai kalangan, khususnya masyarakat Indonesia. Menurut Kurnia, Ardhiyanto dan Suhartini [1], teh mempunyai ciri khas yaitu aroma dan rasa serta dipercaya mempunyai khasiat bagi kesehatan, sehingga dikenal luas dan menjadi salah satu produk minuman terpopuler di masyarakat Indonesia maupun masyarakat dunia. Teh dinilai mampu berperan sebagai antibakteria sehingga sering dijadikan obat herbal bagi masyarakat [2]. Teh di Indonesia terkenal di dunia karena memiliki kandungan katekin (antioksidan alami). Katekin merupakan turunan dari poliphenol dengan khasiat

antioksidan tinggi. Katekin berperan penting di dalam menentukan aroma dan rasa. Katekin merupakan senyawa tidak berwarna dan larut dalam air serta membawa sifat pahit dan sepat pada seduhan teh [3]. Zakariya, Anindita, dan Baladina [4]; Yulianto, Senen, dan Ariwibowo [5] menegaskan bahwa perlunya meningkatkan nilai komoditas teh untuk dapat berdaya saing kuat di pasar internasional. Salah satu cara untuk meningkatkan nilai komoditas teh adalah dengan merubah dari teh dalam bentuk konvensional berupa daun teh kering menjadi bentuk dengan kepraktisan, ke higienisan, dan waktu simpan yang baik. Teh dalam bentuk bubuk instan bisa menjadi jawaban terhadap permasalahan tersebut. Bentuk bubuk instan dinilai memiliki keuntungan berupa kepraktisan, ke higienisan, waktu simpan relatif panjang, dan juga kemudahan untuk dicampurkan dengan bahan-bahan lain [6].

Meski membuat teh menjadi bubuk instan merupakan sebuah jawaban baik untuk meningkatkan nilainya, namun resiko hilang dan rusaknya komponen rasa dan nutrisi pada teh bisa muncul akibat proses pengeringan teh lebih lanjut. Untuk itu proses pengeringan yang tepat dibutuhkan untuk membuat teh menjadi bubuk instan dengan tetap mempertahankan komponen rasa dan nutrisi pada teh. Salah satu metode untuk membuat teh menjadi bentuk bubuk instan adalah dengan pengeringan semprot (*spray drying*). *Spray dryer* merupakan alat yang digunakan pada proses *spray drying*. Prinsip kerja dari *spray drying* adalah menghilangkan kelembaban dengan mengaplikasikan panas pada produk dan mengendalikan kelembaban media pengering [7]. Alat ini dapat menghasilkan bubuk kering dengan mengeringkan tetesan yang disemprotkan (teratomisasi) menggunakan udara panas atau udara pengering [8]. Keuntungan pengeringan semprot meliputi mudahnya proses pengoperasian, kesesuaian untuk produksi berkelanjutan dan massal, kontrol kualitas sederhana, dan kemungkinan pemrosesan untuk bahan sensitif terhadap panas karena menggunakan waktu relatif singkat dan temperatur relatif rendah [9]. Unit produksi *spray drying* terdiri atas beberapa komponen diantaranya *feed tank*, *atomizer*, *drying chamber*, *cyclone separator*, *product collection chamber*, *air heater*, dan *scrubber*.

Dari beberapa bagian atau tahapan pada pengeringan semprot salah satu bagian yang krusial dan utama adalah pada ruang pengering atau *drying chamber*. Pada bagian ini akan terjadi proses perpindahan panas dan massa, di mana aliran udara panas akan melepaskan kelembaban dari tetesan yang teratomisasi dan mengubahnya menjadi bentuk bubuk [10]. Proses perpindahan panas dan massa dalam *drying chamber* dapat dipengaruhi beberapa faktor, salah satunya adalah jenis aliran udara panas. Saat ini ada dua jenis arah aliran yang umum digunakan pada proses *spray drying* yaitu *co-current flow* dan *counter current flow*. Pada *co-current flow*, cairan disemprotkan ke arah dan sumbu yang sama dengan aliran masuk udara panas, sedangkan pada *counter current flow*, cairan disemprotkan ke arah yang berlawanan dengan aliran masuk udara panas. Aliran *co-current* memiliki karakteristik waktu pengeringan yang relatif rendah dengan temperatur udara panas yang masih cukup tinggi, sedangkan aliran *counter current* memiliki waktu pengeringan sedikit lebih lama dan kontak larutan dengan udara panas yang lebih besar. Penggunaan *co-current flow* lebih cocok untuk produk-produk yang peka terhadap panas, termasuk salah satunya adalah pada produk teh ini.

Banyak penelitian telah dilakukan sebelumnya untuk menganalisis berbagai macam pengaruh jenis aliran udara panas masuk ke dalam *drying chamber*, seperti penelitian *spray dryer* aliran *co-current* (Jin dan Chen [11]; Cotabarren dkk [10]; dan Okada dkk. [8]), kemudian *spray dryer* aliran *counter current* (Jaskulski, Wawrzyniak, dan Zbiciński [12]; Shakiba dkk. [13]; Olufemi dan Ayomoh [14]; Jubaer dkk. [15]). Namun, pada penelitian ini dilakukan kombinasi dari aliran *co-current* dan variasi ukuran sudut semprot. Kombinasi ini diharapkan dapat melakukan proses pengeringan dengan waktu pengeringan yang tidak terlalu lama, tetapi tetap dapat menggunakan temperatur rendah, serta sedikit terjadinya aglomerasi pada partikel. Pada penelitian kali ini akan melihat bagaimana perpindahan panas dan massa pada partikel teh yang disemprotkan akibat beberapa kombinasi tersebut.

Untuk membantu menyelidiki pengaruh kombinasi sudut semprot di dalam *spray dryer* tersebut, akan dilakukan simulasi numerik menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. CFD dapat memberikan pandangan dan informasi yang lebih detail tentang aliran *gas-solid*, di mana hal ini sulit diwujudkan oleh metode eksperimen [16]. Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan di atas, maka tujuan utama penelitian ini adalah menganalisis pengaruh kombinasi sudut semprot pada *spray dryer* terhadap perpindahan panas dan massa yang terjadi. Sehingga, nantinya diharapkan dapat diketahui nilai kombinasi atau perbandingan yang paling tepat yang dibutuhkan untuk mendapatkan tingkat perpindahan panas dan massa yang paling tepat dan cocok diterapkan pada produksi bubuk teh agar tetap menjaga kandungan baik dari teh seperti katekin. Inovasi kombinasi sudut semprot 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. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan penelitian, dimulai dari studi literatur, validasi dan uji *grid*, simulasi numerik, analisis data, hingga penarikan kesimpulan. Analisis perpindahan panas dan massa pada penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil simulasi numerik dari *software* Ansys.

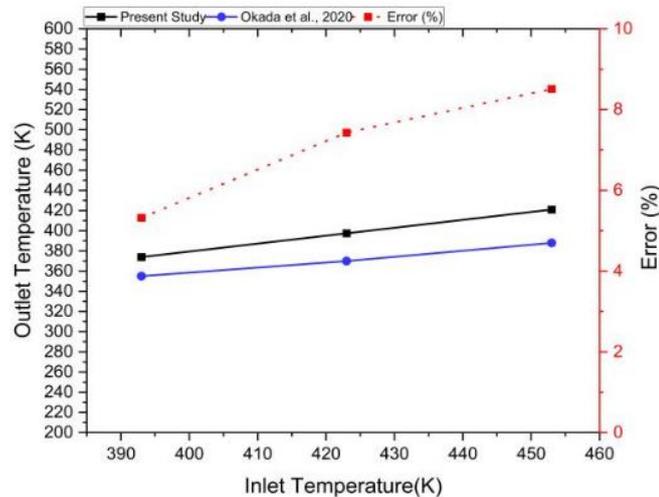
### 2.1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan metode pengumpulan informasi dan data dari buku, jurnal ilmiah, dan hasil penelitian sebelumnya, selain sumber-sumber tersebut, literatur dari internet juga diperlukan dalam memperjelas isi atau hal-hal yang ada di dalam penelitian. Data yang diperlukan untuk penelitian ini yaitu sifat material larutan teh, maltodekstrin, kecepatan injeksi, sudut tembak injeksi, dan laju alir massa injeksi. Lalu ada data parameter input untuk simulasi seperti

temperatur pengering, kecepatan masuk, ukuran droplet injeksi, model semprot injeksi, dan laju alir fluida, serta data kondisi batas untuk operasi pemodelan simulasi, sebagian data ini didapatkan dari penelitian yang dilakukan oleh Eflita Yohana di Teknik Mesin Universitas Diponegoro.

## 2.2. Validasi dan Uji Grid

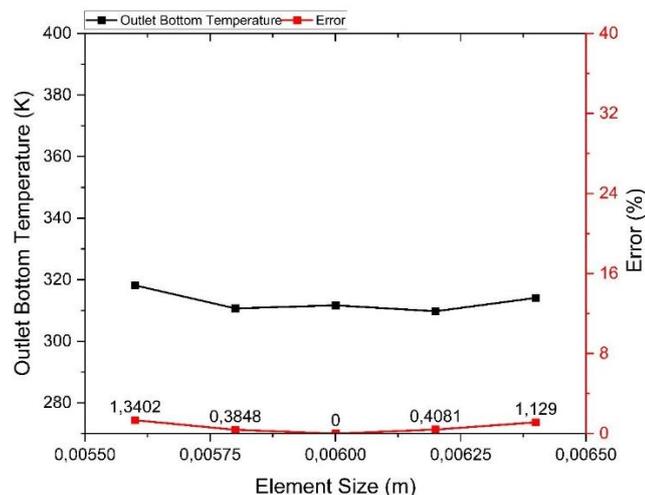
Validasi dilakukan untuk memastikan kesesuaian hasil simulasi dengan kondisi sebenarnya. Dalam melakukan validasi harus memenuhi standar eror maksimal yaitu 10% [17]. Pada tugas akhir ini, hasil simulasi divalidasi dengan penelitian Okada dkk. [8]. Sedangkan uji grid dilakukan untuk menentukan jumlah *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% [18].



Gambar 1. Validasi Hasil Simulasi Parameter Temperatur Outlet

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. [8]. Gambar 1 menunjukkan perbandingan hasil simulasi penelitian saat ini dengan hasil simulasi yang dilakukan oleh Okada dkk. [8]. Dari hasil validasi didapat bahwa eror maksimal terjadi pada variasi temperatur udara masuk 453K dengan nilai masih di bawah 10%.

Pada tahapan simulasi variasi, uji grid dilakukan untuk menghindari adanya eror akibat perubahan grid untuk geometri variasi yang dibuat. Pada uji grid ini, ada 5 ukuran elemen yang diuji, yaitu ukuran 0.0056, 0.0058, 0.0060, 0.0062, dan 0.0064m. Gambar 2 menunjukkan hasil uji grid untuk geometri variasi. 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.



Gambar 2. Uji grid independence geometri variasi

### 2.3. Simulasi Numerik

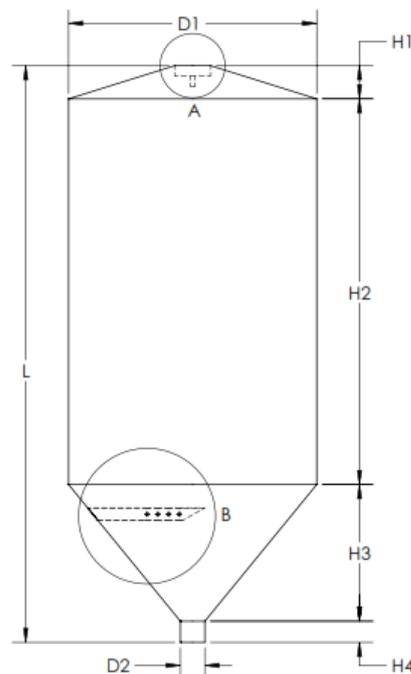
Simulasi numerik dilakukan dengan perangkat lunak CFD yaitu Ansys. Simulasi secara numerik dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu tahap *pre-processing*, tahap *processing*, dan tahap *post-processing*. Tahap *pre-processing* meliputi pemodelan geometri sesuai dengan alat yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini, proses *meshing* sesuai dengan hasil dari uji grid independen, penentuan jenis aliran, model turbulensi, kondisi batas, dan sifat-sifat dari material berdasarkan literatur yang didapatkan. Tahap *processing* adalah proses pemecahan persamaan pembangun oleh komputer. Tahap *post-processing* menampilkan tampilan visual berupa kontur dan grafik hasil simulasi yang meliputi H<sub>2</sub>O(l) *mass fraction*, temperatur, dan H<sub>2</sub>O *mass fraction* di dalam *drying chamber spray dryer*.

#### 2.3.1. Pemodelan Geometri

Geometri *drying chamber spray dryer* dibuat menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2019 dan disimpan dengan menggunakan format ekstensi IGES untuk dimasukkan ke dalam Ansys *geometry*. Rasio geometri yang digunakan pada pemodelan adalah 1:1 terhadap ukuran geometri asli yang ada. Bentuk dan dimensi geometri *spray dryer* ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 1.

**Tabel 1.** Dimensi Geometri *Drying Chamber*.

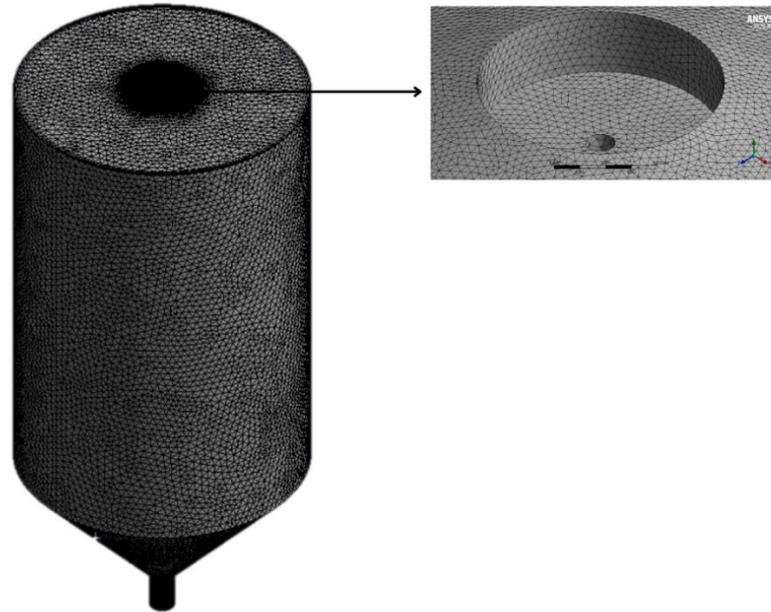
Geometri	Dimensi (mm)
Diameter <i>drying chamber</i> , D1	1160
Diameter <i>outlet</i> bawah, D2	114
Panjang keseluruhan <i>chamber</i> , L	2721
Tinggi <i>cone</i> atas, H1	157
Tinggi silinder <i>chamber</i> , H2	1820
Tinggi <i>cone</i> bawah, H3	644,5
Tinggi <i>outlet</i> bawah, H4	100



**Gambar 3.** Geometri *Drying Chamber Spray Dryer*

#### 2.3.2. Pembentukan Mesh

Penggenerasian *mesh* dilakukan menggunakan ANSYS *Mesh*. *Meshing* pada geometri *spray dryer* menggunakan tipe *element size*. Fitur *body sizing* dengan *size function curvature* ditambahkan pada *meshing* dari geometri *spray dryer*, sehingga didapatkan hasil ukuran *element* yang disesuaikan dengan ukuran geometri. Hasil struktur *meshing* dapat dilihat pada Gambar 4. Nilai *skewness* dan *orthogonal quality* dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Terlihat bahwa nilai maksimum *skewness* maupun *orthogonal quality* yang didapat masih masuk ke dalam kelas *acceptable*.



Gambar 4. Struktur Meshing Geometri Drying Chamber

Tabel 2. Nilai Skewness Mesh Geometri Drying Chamber.

Skewness	Nilai
Minimum	0,000042
Maximum	0,80
Average	0,23
Standard Deviation	0,12

Tabel 3. Nilai Orthogonal Quality Mesh Geometri Drying Chamber.

Orthogonal Quality	Nilai
Minimum	0,20
Maximum	0,99
Average	0,77
Standard Deviation	0,12

### 2.3.3. Pengaturan Kondisi Batas

Domain komputasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *inlet air*, *inlet nozzle*, *outlet bottom*, *outlet side*, dan *wall*. Domain *inlet* berfungsi sebagai tempat masuknya udara panas. 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*. Domain *wall* berfungsi sebagai dinding dalam *drying chamber*. Domain komputasi yang akan dimasukkan ditentukan dengan memilih *surface* pada geometri kemudian memberi nama sesuai dengan kondisi batasnya pada saat proses *meshing*.

Kondisi batas merupakan parameter yang ditentukan untuk setiap domain komputasi. Kondisi batas yang digunakan untuk domain inlet air adalah *velocity inlet* dengan metode turbulensi *intensity and hydraulic diameter*. Parameter yang diinput untuk kondisi ini adalah kecepatan, intensitas turbulensi, dan *hydraulic diameter*. Pada penelitian kali ini akan ada dua buah *inlet* udara panas masuk. Untuk domain *inlet droplet*, *boundary condition* yang digunakan adalah *pressure inlet* dengan metode turbulensi *intensity and viscosity*. Parameter yang diinput untuk kondisi ini adalah tekanan *gauge*, intensitas turbulensi, dan *turbulent viscosity ratio*. *Inlet droplet* ini digunakan untuk mendefinisikan udara yang digunakan pada *nozzle* dengan tipe *dual-fluid*, di mana udara ini disuplai dari kompresor bertekanan 2 bar yang menggunakan udara ambien. Pada kondisi batas *outlet*, jenis yang digunakan adalah *pressure outlet*. *Pressure outlet* merupakan kondisi pada bagian sisi *outlet* dimana adanya informasi tekanan dan *backflow total temperature* yang diketahui dalam penyelesaian aliran. Pada penelitian ini terdapat dua buah *outlet*, yaitu *bottom outlet* dan *side outlet*.

### 2.4. Analisis Data

Analisis data dilakukan setelah memperoleh data dari hasil simulasi. Data yang diperoleh berupa *streamline* pola aliran di dalam *drying chamber*, data partikel *escaped*, nilai H<sub>2</sub>O(l) *mass fraction*, temperatur, H<sub>2</sub>O *mass fraction*

pada partikel. Data yang diperoleh kemudian diplot pada sebuah grafik agar dapat dianalisa. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan literatur untuk memastikan kebenaran hasil simulasi.

## 2.5. Penarikan Kesimpulan

Penarikan kesimpulan diambil dari hasil analisis data yang telah dilakukan berdasarkan tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Penarikan kesimpulan berguna untuk merangkum hasil akhir dari penelitian untuk menjawab rumusan masalah ataupun tujuan yang telah ditetapkan di awal penelitian.

## 3. Hasil dan Pembahasan

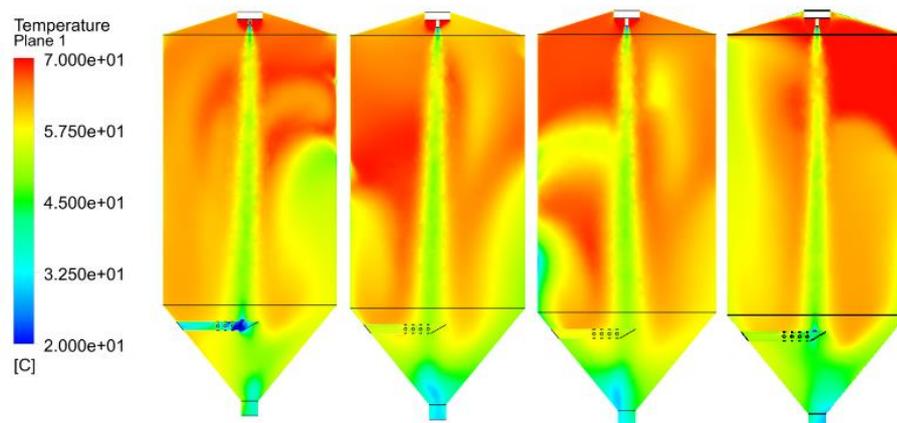
Posisi pengamatan data kualitatif dilakukan pada penampang vertikal simetris *drying chamber* (*z-center*) dan penampang horizontal pada masing-masing elevasi *spray dryer* [19] yang sudah ditentukan (-0.06m, -0.88m, dan -1.7m). Posisi-posisi elevasi yang digunakan dipilih berdasarkan kebutuhan analisis, posisi-posisi elevasi ini mewakili bagian awal penyemprotan, bagian tengah *chamber*, dan bagian *chamber* yang sudah memiliki aliran stabil, sedangkan posisi *z-center* dipilih karena pada *plane* tersebut dapat membantu melihat aliran yang keluar dari *outlet* samping dengan lebih jelas. Pengambilan hasil dilakukan dengan membuat *plane* pada titik koordinat atau posisi yang telah ditentukan sebelumnya. Variabel bebas yang menjadi variasi dalam penelitian ini adalah kombinasi sudut semprot pada *drying chamber*. Untuk mempermudah dalam penyajian data dan pembahasan maka akan digunakan kode-kode untuk menggambarkan tiap variasi yang dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kode Variasi

Kombinasi Sudut Semprot			
20°	25°	32°	41°
a	b	c	d

### 3.1 Karakteristik Distribusi Temperatur

Temperatur menjadi salah satu parameter penting dalam proses pengeringan. Temperatur udara panas masuk akan berpengaruh langsung pada distribusi temperatur yang akan terjadi di dalam *drying chamber*, di mana temperatur udara panas masuk ini akan mempengaruhi bagaimana proses evaporasi ataupun proses penguapan uap air dari partikel menuju ke udara. Kontur distribusi temperatur dapat dilihat pada Gambar 5.

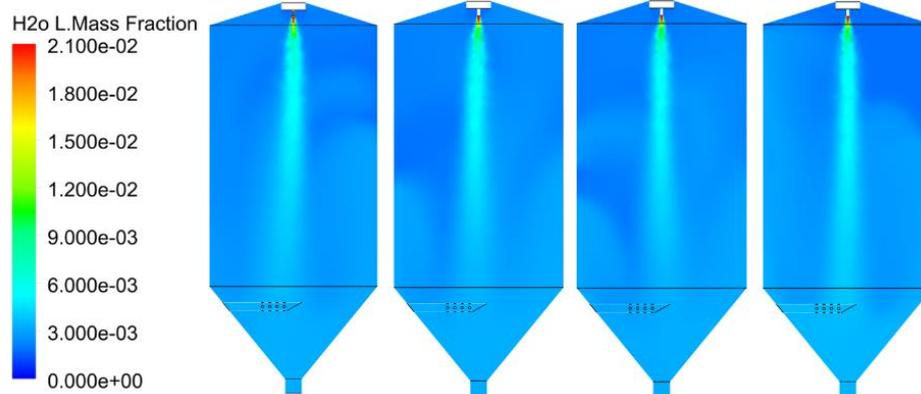


Gambar 5. Kontur Distribusi Temperatur

Terlihat bahwa udara yang memiliki temperatur tinggi terletak pada sisi-sisi dekat dengan saluran udara panas masuk yang ditandai dengan kontur berwarna hijau hingga biru [16] dan temperatur berangsur turun saat menuju sisi bawah *drying chamber* yang ditandai dengan perubahan warna kontur menjadi hijau hingga kuning [20]. Penurunan temperatur ini terjadi pada udara pengering yang disebabkan karena terjadinya proses perpindahan panas antara udara pengering dengan *droplet* yang diinjeksikan. Penurunan temperatur dari udara panas akan terus terjadi sampai terjadi kesetimbangan antara *droplet* dengan udara panas [21]. Pada Gambar 5 dapat dilihat temperatur di bawah posisi injeksi *droplet* memiliki nilai yang jauh lebih kecil bila dibandingkan dengan temperatur di sekitarnya, hal ini terjadi karena injeksi *droplet* pada simulasi ini memiliki temperatur yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan temperatur udara panas masuk, sehingga pada wilayah tepat di bawah posisi injeksi akan terlihat memiliki temperatur yang rendah. Namun, temperatur dari *droplet* ini akan semakin meningkat ketika menuju ke sisi *outlet*, di mana terjadi perubahan warna kontur dari kuning menuju hijau kebiruan. Hal ini akibat terjadinya perpindahan panas dari udara panas menuju ke *droplet*, hingga akhirnya *droplet* keluar melalui sisi *outlet* pada temperatur yang berada di kisaran kontur berwarna hijau.

### 3.2 Karakteristik Distribusi H<sub>2</sub>O Mass Fraction

Nilai H<sub>2</sub>O *mass fraction* merupakan nilai yang menunjukkan seberapa besar kandungan uap air pada udara, semakin tinggi nilai fraksi massa nya berarti semakin tinggi nilai kandungan uap air di udara tersebut. Udara pengering yang digunakan harus memiliki nilai H<sub>2</sub>O *mass fraction* yang kecil agar bisa secara maksimal melepaskan kandungan uap air dari *droplet*, karena bila udara pengering memiliki kelembaban yang tinggi, udara pengering akan cepat jenuh dan tidak mampu menyerap kelembaban dari *droplet* lagi. Pengamatan distribusi H<sub>2</sub>O *mass fraction* pada *drying chamber* ditunjukkan pada Gambar 6.

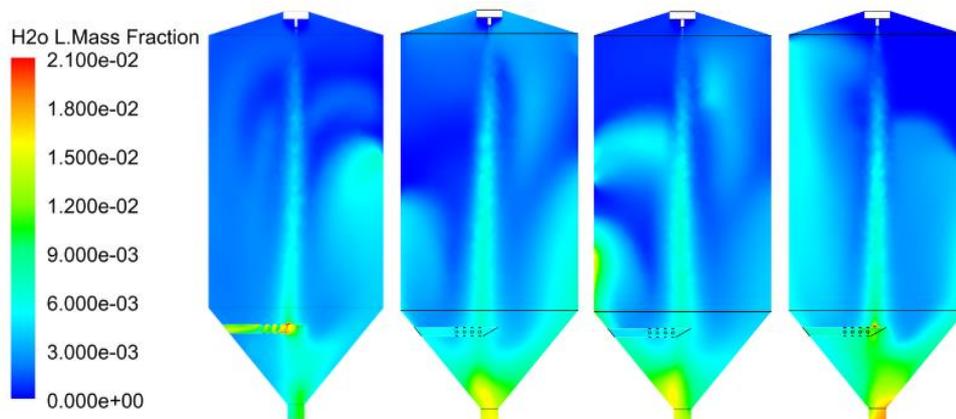


Gambar 6. Kontur Distribusi H<sub>2</sub>O Mass Fraction

Dari Gambar 6 terlihat bahwa nilai H<sub>2</sub>O *mass fraction* pada posisi elevasi Y1 di pusat radial atau pada posisi di bawah *inlet nozzle* memiliki nilai yang paling tinggi bila dibandingkan posisi-posisi lainnya, hal ini berbanding terbalik dengan kondisi pada posisi elevasi Y1 yang tidak berada di pusat radial, di mana di sana terlihat nilai H<sub>2</sub>O *mass fraction* nya menjadi sangat rendah, karena ini merupakan daerah aliran udara panas masuk yang memiliki nilai kelembaban yang sudah sangat rendah. Dari sana terlihat bahwa nilai H<sub>2</sub>O *mass fraction* nya akan semakin stabil dan landai pada saat mendekati posisi *outlet*, yang terjadi akibat perpindahan panas dan massa dari *droplet* menuju udara panas sudah semakin mendekati kondisi kesetimbangan. Pada gambar dapat kita lihat bahwasannya variasi a, b, c terdapat distribusi H<sub>2</sub>O yang tidak beraturan, hal ini dikarenakan dengan suplai temperatur yang diberikan itu sangat rendah ditambah sudut semprot yang kecil mengakibatkan jangkauan dari *droplet* yang diinjeksikan tidak menyebar ke seluruh ruangan dengan baik, berbeda dengan variasi d terlihat bahwasannya distribusi H<sub>2</sub>O nya dari ketinggian -0.88 memiliki karakteristik yang cenderung lebih stabil apabila dibandingkan dengan tiga variasi lainnya. Nilai maksimum H<sub>2</sub>O *mass fraction* nya untuk variasi a, b, dan c berturut-turut adalah 0.324, 0.322, 0.321, dan 0.323.

### 3.3 Karakteristik Distribusi H<sub>2</sub>O(l) Mass Fraction

Nilai H<sub>2</sub>O(l) *mass fraction* merupakan nilai yang menunjukkan seberapa besar kandungan air dengan fasa cair pada udara, semakin tinggi nilai fraksi massa nya berarti semakin tinggi nilai kandungan air di udara tersebut. Nilai H<sub>2</sub>O(l) ini sangat erat kaitannya dengan *droplet* yang disemprotkan melalui *nozzle*, karena *droplet* yang disemprotkan mengandung 60% H<sub>2</sub>O(l) *mass fraction*, sehingga pada distribusi H<sub>2</sub>O(l) ini akan terlihat bagaimana variasi aliran dan temperatur udara panas bisa mempengaruhi fraksi massa air pada udara akibat adanya perpindahan massa dari *droplet*. Pengamatan distribusinya menggunakan kontur yang berdasarkan distribusi H<sub>2</sub>O(l) *mass fraction* nya. Kontur ini dapat dilihat pada Gambar 7.



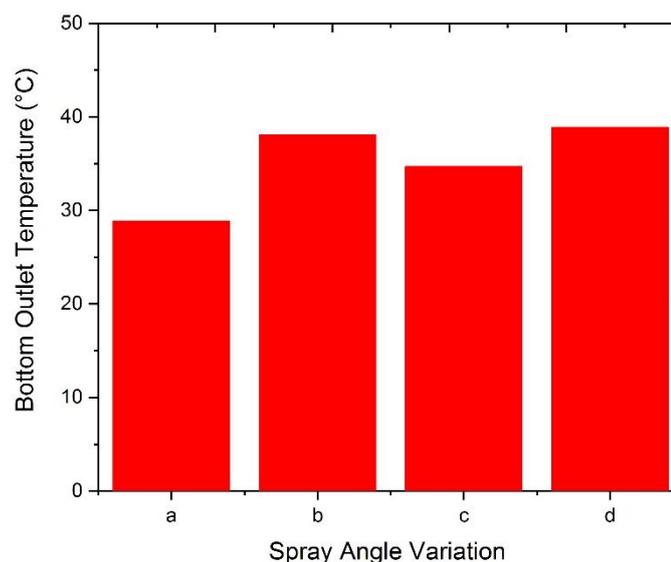
Gambar 7. Kontur Distribusi H<sub>2</sub>O Mass Fraction

Dari Gambar 7 terlihat bahwa pada sisi bawah keluaran *nozzle* memiliki nilai  $H_2O(l)$  *mass fraction* yang semakin tinggi, ditandai dengan berubahnya kontur dari warna merah menuju warna kekuningan [30], hal ini bisa terjadi karena *droplet* yang disempatkan dari *nozzle* mengandung banyak kandungan air, di mana kandungan air ini akan perlahan-lahan lepas dari *droplet* dan pindah ke udara. Pada sisi atas *drying chamber* terlihat bahwa  $H_2O(l)$  *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  $H_2O(l)$  *mass fraction* terus meningkat yang menunjukkan proses evaporasi terus berlangsung hingga mencapai kondisi kesetimbangan antara *droplet* dengan udara panas.

Nilai maksimum  $H_2O(l)$  *mass fraction* untuk variasi a, b, c dan d berturut-turut adalah 0.08, 0.03, 0.04 dan 0.09. Dari gambar ini juga terlihat bahwa di atas pipa *outlet* samping memiliki nilai  $H_2O(l)$  *mass fraction* yang tinggi, hal ini dikarenakan pada posisi tersebut terjadi penumpukan *droplet* akibat adanya daerah stagnansi oleh pipa, sehingga akan berujung pada peningkatan nilai  $H_2O(l)$  *mass fraction*. Pada Gambar 7 terlihat bahwa pada sisi tengah atau pusat dari semburan *nozzle* memiliki kandungan  $H_2O(l)$  *mass fraction* yang paling banyak karena pada daerah pusat semprotan ini terkandung lebih banyak *droplet* dibandingkan di wilayah luar sudut semprot mengingat jenis semburan *nozzle* yang digunakan pada simulasi ini adalah *full-cone*. Kemudian bisa dilihat bahwa pada daerah-daerah resirkulasi terutama untuk daerah-daerah resirkulasi dekat dengan sisi atas *drying chamber* nilai  $H_2O(l)$  *mass fraction* nya tidak terlalu tinggi bila dibandingkan dengan yang berada di pusat semprotan *nozzle*. *Droplet* yang ikut dalam aliran resirkulasi ini umumnya sudah memiliki waktu kontak dengan udara panas yang lebih lama sehingga telah terjadi kesetimbangan antara *droplet* dengan udara dan membuat penurunan laju evaporasi [31]. Sebaliknya pada daerah semprotan *nozzle*, di mana *droplet* pertama kali kontak dengan udara panas, akan terjadi proses *rapid evaporation* yang mampu melepas hingga 80% kelembaban dari *droplet* yang baru setelahnya diikuti dengan penurunan laju evaporasi hingga akhirnya terevaporasi sempurna.

### 3.4 Karakteristik Outle Drying Chamber

Selain daripada data dalam domain fluida utama, 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. Temperatur *outlet* merupakan hasil dari kesetimbangan panas dan massa di dalam *drying chamber*. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Maas dkk. [33], temperatur *outlet* memiliki pengaruh terhadap kadar air akhir dan topografi permukaan produk yang dihasilkan. Bila temperatur *outlet* terlalu tinggi akan membuat partikel yang keluar juga memiliki temperatur yang tinggi, bila temperatur partikel jauh lebih tinggi dari kondisi ambien sedangkan kandungan air di partikel telah rendah, maka kemungkinan besar partikel akan kembali menyerap kandungan air dari udara ambien [34]. Hasil plot data temperatur *outlet* untuk tiap variasi pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Temperatur *outlet Drying Chamber*

Dari Gambar 8 terlihat bahwa temperatur *outlet* bawah (yang ditunjukkan garis *solid*) lebih rendah dibandingkan dengan *outlet* samping (yang ditunjukkan garis putus putus). Kemudian variasi temperatur udara panas masuk yang digunakan secara langsung berkaitan dengan temperatur *outlet*, di mana semakin tinggi temperatur udara masuk, maka akan semakin tinggi temperatur *outlet* nya. Penurunan temperatur yang terjadi antara temperatur udara panas masuk

dengan temperatur sisi *outlet* untuk variasi sudut semprot a, b, c dan d, secara berturut-turut adalah 28.9, 38.1, 34.7 dan 38.9°C. Penurunan temperatur yang besar menunjukkan kalor yang ada di udara panas berpindah atau digunakan dengan sangat baik menuju ke partikel untuk melepaskan kandungan air di dalam partikel Xu dkk. [22]. Hasil ini menunjukkan bahwa variasi d memiliki perpindahan panas dari udara menuju partikel yang paling baik diantara semua variasi yang dilakukan.

#### 4. Kesimpulan

Simulasi numerik menggunakan bantuan perangkat lunak Ansys dan analisis terhadap aliran di dalam *drying chamber spray dryer* dengan kombinasi sudut semprot telah dilakukan pada penelitian ini, menghasilkan beberapa gambaran fenomena aliran berkaitan dengan perpindahan panas dan massa yang terjadi di dalam *drying chamber*. Variasi kombinasi sudut semprot berpengaruh pada distribusi temperatur, perpindahan massa, dan karakteristik *outlet spray dryer*. Pengaruh kombinasi sudut semprot pada distribusi temperatur terlihat pada kisaran elevasi Y2, dimana pada variasi d distribusi temperatur lebih cepat stabil dengan temperatur yang lebih rendah dibandingkan variasi a, b, ataupun c. Pengaruh kombinasi sudut semprot pada nilai H<sub>2</sub>O *mass fraction* dapat dilihat pada elevasi Y2 dan *outlet*, di mana variasi c memiliki nilai paling rendah dan variasi d memiliki nilai paling tinggi, nilai maksimum H<sub>2</sub>O *mass fraction* nya pada elevasi Y2 untuk variasi a, b, dan c berturut-turut adalah 0.324, 0.322, 0.321 dan 0.323. Pengaruh kombinasi aliran menyebabkan perbedaan pada nilai H<sub>2</sub>O(l) *mass fraction*, di mana variasi a memiliki nilai H<sub>2</sub>O(l) *mass fraction* paling besar, dan variasi b memiliki nilai H<sub>2</sub>O(l) *mass fraction* paling kecil, di mana nilai maksimum H<sub>2</sub>O(l) *mass fraction* untuk variasi a, b, dan c berturut-turut adalah 0.08, 0.03, 0.04, dan 0.09. Pengaruh kombinasi aliran menyebabkan perbedaan karakteristik *outlet*, di mana variasi a memiliki nilai temperatur *outlet* paling rendah, dan variasi d memiliki nilai temperatur *outlet* paling tinggi, di mana nilai penurunan temperatur *outlet* bawah untuk variasi a, b, dan c berturut-turut adalah 28.9, 38.1, 34.7 dan 38.9°C.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] M. Basorudin, A. Rizqi, S. Murdaningrum, and W. Maharani, "Kajian Persebaran Komoditas Teh: Pengembangan Kawasan Perkebunan Teh Di Provinsi Jawa Barat," *J. Sos. Ekon. Pertan.*, vol. 15, no. 3, p. 205, 2019, doi: 10.20956/jsep.v15i3.6792.
- [2] A. A. Susanti and Akbar, *Buku Outlook Komoditas Perkebunan Teh*. 2019. [Online]. Available: <http://pusdatin.setjen.pertanian.go.id/>
- [3] I. R. Dewi Anjarsari, "Katekin teh Indonesia : prospek dan manfaatnya," *Kultivasi*, vol. 15, no. 2, pp. 99–106, 2016, doi: 10.24198/kultivasi.v15i2.11871.
- [4] L. Trimio and S. Hidayat, "Agroindustri Berbasis Teh Rakyat Sebagai Usaha Meningkatkan Kesejahteraan Petani Teh," *Agricore J. Agribisnis dan Sos. Ekon. Pertan. Unpad*, vol. 4, no. 1, 2019, doi: 10.24198/agricore.v4i1.23209.
- [5] Kementerian Pertanian, "Perkebunan Teh Menoreh kedatangan Guru Besar Korsel dan Kamboja," *Kementeri. Pertan. Republik Indones.*, no. 3, 2021, [Online]. Available: <https://www.pertanian.go.id/home/?show=news&act=view&id=3531>
- [6] 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, no. March, 2021, doi: 10.1016/j.lwt.2021.111288.
- [7] C. Anandharamakrishnan and S. Padma Ishwarya, "Spray Drying Techniques for Food Ingredient Encapsulation," *Spray Dry. Tech. Food Ingred. Encapsulation*, no. July, pp. 1–296, 2015, doi: 10.1002/9781118863985.
- [8] 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, 2020, doi: 10.1016/j.ces.2020.115938.
- [9] F. de Melo Ramos, J. Ubbink, V. Silveira Júnior, and A. S. Prata, "Drying of Maltodextrin solution in a vacuum spray dryer," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 146, pp. 78–86, 2019, doi: 10.1016/j.cherd.2019.03.036.
- [10] I. M. Cotabarren, D. Bertín, M. Razuc, M. V. Ramírez-Rigo, and J. Piña, "Modelling of the spray drying process for particle design," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 132, pp. 1091–1104, 2018, doi: 10.1016/j.cherd.2018.01.012.
- [11] M. Mezhericher, A. Levy, and I. Borde, "Three-Dimensional Spray-Drying Model Based on Comprehensive Formulation of Drying Kinetics," *Dry. Technol.*, vol. 30, no. 11–12, pp. 1256–1273, 2012, doi: 10.1080/07373937.2012.686136.
- [12] M. Jaskulski, P. Wawrzyniak, and I. Zbiciński, "CFD model of particle agglomeration in spray drying," *Dry. Technol.*, vol. 33, no. 15–16, pp. 1971–1980, 2015, doi: 10.1080/07373937.2015.1081605.
- [13] M. Jaskulski, P. Wawrzyniak, and I. Zbiciński, "CFD simulations of droplet and particle agglomeration in an industrial counter-current spray dryer," *Adv. Powder Technol.*, vol. 29, no. 7, pp. 1724–1733, 2018, doi: 10.1016/j.apt.2018.04.007.
- [14] B. A. Olufemi and M. K. Ayomoh, "Parametric optimization and statistical evaluation of a spray dryer for the evaporation of caustic soda solution," *Heliyon*, vol. 5, no. 7, p. e02026, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02026.
- [15] H. Jubaer *et al.*, "Computationally inexpensive simulation of agglomeration in spray drying while preserving

- structure related information using CFD,” *Powder Technol.*, vol. 372, pp. 372–393, 2020, doi: 10.1016/j.powtec.2020.05.111.
- [16] 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, 2019, doi: 10.1016/j.powtec.2019.07.017.
- [17] 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, 2018, doi: 10.1021/acs.iecr.8b02202.
- [18] K. Elsayed and C. Lacor, “Numerical modeling of the flow field and performance in cyclones of different cone-tip diameters,” *Comput. Fluids*, vol. 51, no. 1, pp. 48–59, 2011, doi: 10.1016/j.compfluid.2011.07.010.
- [19] M. Mezhericher, A. Levy, and I. Borde, “Droplet-droplet interactions in spray drying by using 2D computational fluid dynamic,” *Dry. Technol.*, vol. 26, no. 3, pp. 265–282, 2008, doi: 10.1080/07373930801897523.
- [20] H. Jubaer, S. Afshar, J. Xiao, X. D. Chen, C. Selomulya, and M. W. Woo, “On the effect of turbulence models on CFD simulations of a counter-current spray drying process,” *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 141, pp. 592–607, 2019, doi: 10.1016/j.cherd.2018.11.024.
- [21] S. Biringen and C. Y. Chow, *An introduction to computational fluid mechanics by example*. 2011. doi: 10.1002/9780470549162.
- [22] A. Ziaee, A. B. Albadarin, L. Padrela, T. Femmer, E. O’Reilly, and G. Walker, “Spray drying of pharmaceuticals and biopharmaceuticals: Critical parameters and experimental process optimization approaches,” *Eur. J. Pharm. Sci.*, vol. 127, no. October 2018, pp. 300–318, 2019, doi: 10.1016/j.ejps.2018.10.026.