

Submitted: 6 September 2021

Revised: 14 Oktober 2021

Accepted: 13 November 2021

PENGARUH SUHU UDARA PENGERING DAN KONSENTRASI MALTODEKSTRIN TERHADAP LAJU DEPOSISI PARTIKEL DI DINDING RUANG *SPRAY DRYER* SKALA PILOT

Hafid Alwan*, Jayanudin, Nicken Ayoe Fajrianto, Artika Sari Septiaziz

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jenderal Sudirman Km. 03 Cilegon, Indonesia

*Email: hafidalwan@untirta.ac.id

Abstrak

Metode *spray dryer* secara umum banyak digunakan di industri untuk mengeringkan produk makanan dan obat-obatan (farmasi). Dengan menggunakan metode ini waktu kontak antara bahan dengan medium pengering dapat berlangsung singkat. Sehingga dapat mengurangi kerusakan bahan karena terpapar panas medium pengering pada suhu tinggi secara terus menerus dalam waktu yang lama. Maltodekstrin memiliki karakteristik mudah rusak jika terpapar suhu tinggi dan dapat lengket pada kondisi operasi tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan investigasi pengaruh kondisi operasi pengeringan terhadap laju deposisi partikel di dinding ruang *spray dryer* skala pilot. Pada penelitian ini dilakukan uji coba eksperimental untuk mengukur deposisi partikel pada dinding ruang *spray dryer*. Variabel operasi yang digunakan dalam mengevaluasi laju deposisi partikel pada dinding ruang pengering terhadap konsentrasi umpan, suhu ruang pengering, dan laju alir udara. Konsentrasi umpan yang digunakan pada penelitian ini adalah 10, 20, dan 30%-b/b; suhu ruang pengering yang digunakan ditetapkan 160, 170, dan 180°C; serta laju alir udara pengering sebesar 410, 328, dan 246 m³/h. Hasil dari percobaan ini menunjukkan bahwa laju deposit partikel terbesar didapatkan pada konsentrasi umpan yang besar (30%-b/b) dengan suhu pengeringan yang minimum. Suhu udara pengeringan yang minimum didapatkan pada laju udara yang maksimal, dimana pada kondisi ini suhu udara hanya mencapai 80°C. Sedangkan laju deposit partikel maksimum didapatkan pada suhu ruang pengering yang rendah, yaitu 160°C. Pada kondisi ini laju deposit partikel pada dinding ruang *spray dryer* adalah 397.2 g/h.m². Deposit partikel banyak terjadi pada dinding *top cylinder* dekat nosel dan *cone section*. Karena pada bagian tersebut intensitas partikel bertumbukan dengan dinding terjadi secara masif.

Kata Kunci: *Spray Dryer*, Deposisi Partikel, Maltodekstrin, Kondisi Operasi

Abstract

The *spray dryer* method is generally widely used in industry to dry food and drug products (pharmaceuticals). By using this method, the contact time between the material and the drying medium can be short. So that it can reduce material damage due to exposure to the heat of the drying medium at high temperatures continuously for a long time. Maltodextrin has the characteristics of being easily damaged if exposed to high temperatures and can be sticky under certain operating conditions. This study aims to investigate the effect of drying operating conditions on the rate of particle deposition on the walls of the pilot-scale *spray dryer*. In this study, experimental trials were conducted to measure particle deposition on the walls of the *spray dryer*. The operating variables used in evaluating the particle deposition rate on the walls of the drying chamber include feed concentration, drying chamber temperature, and air flow rate. The feed concentrations used in this study were 10, 20, and 30%-w/w; the temperature of the drying chamber used is set at 160, 170, and 180°C; and drying air flow rates of 410, 328, and 246 m³/h. The results of this experiment showed that the largest particle deposition rate was obtained at a large feed concentration (30%-w/w) with a minimum drying temperature. The minimum drying air temperature is obtained at the maximum air rate, wherein in this condition the air temperature only reaches 80°C. While the maximum particle deposit rate is obtained at a low drying room temperature, which is 160°C. In this condition, the particle deposit rate on the walls of the *spray*

dryer is 397.2 g/h.m². Particle deposits mostly occur on the top cylinder section near the nozzle and cone section. Because in that section the intensity of the particles colliding with the wall occurs massively.

Keywords: Spray Dryer, Particle deposition, Maltodextrin, Operating Conditions.

1. PENDAHULUAN

Pengeringan sembur (*spray drying*) merupakan sebuah metode untuk memproses umpan yang berada pada fase likuid, baik itu partikelnya dalam bentuk suspensi maupun koloid, dengan cara mengabutkan cairan tersebut sehingga tercipta butiran-butiran halus yang kemudian mengering menjadi partikel solid (Mezhericher et al., 2014). Medium pengering yang umum digunakan adalah udara kering dengan kadar kelembapan tertentu. Pengeringan sembur telah banyak digunakan pada berbagai industri untuk menghasilkan produk berupa bubuk kering, seperti industri makanan, farmasi, dan mineral. Proses yang terjadi pada pengering sembur melibatkan empat tahapan proses, yaitu (1) atomisasi atau pengkabutan, (2) pengontakan antara droplet dengan medium pengering, (3) evaporasi kandungan air di dalam droplet, dan (4) pemisahan produk yang telah dikeringkan dari medium pengering.

Pengoperasian alat *spray dryer* yang tidak mudah sering menimbulkan beberapa permasalahan operasi. Salah satunya adalah masalah deposit partikel pada dinding ruang *spray dryer*. Deposit partikel pada dinding ruang pengering dapat mempengaruhi perolehan dan kualitas produk akhir. Perolehan produk akan berkurang karena banyaknya partikel yang menempel pada dinding. Dari sisi kualitas, produk akhir yang didapatkan akan tercemari oleh produk yang rusak akibat terpapar medium pemanas secara terus menerus di ruang pengering. Selain itu, deposit partikel pada dinding ruang pengering mengakibatkan frekuensi jadwal perawatan akan lebih sering, yaitu untuk membersihkan deposit yang menempel pada dinding ruang pengering.

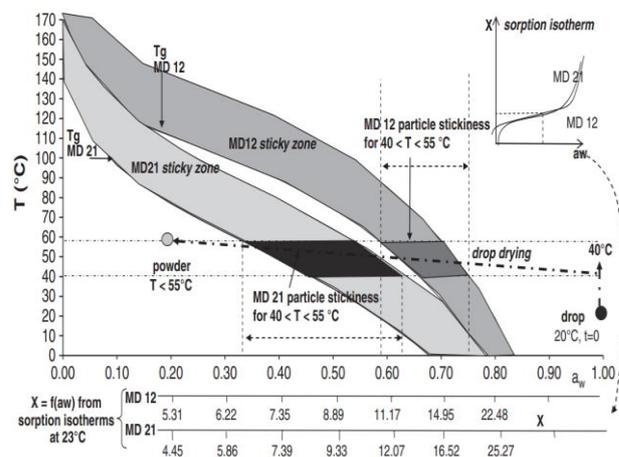
Selama proses pengeringan berlangsung droplet yang keluar dari nosel akan jatuh ke bawah melewati lintasan partikel hingga menuju area keluaran (*outlet*). Lintasan yang dilewati oleh droplet dipengaruhi oleh medium pengering yang masuk ke ruang pengering. Lintasan yang dilewati tersebut tidak selalu lurus, dan cenderung acak. Lintasan droplet yang acak dapat menimbulkan tabrakan atau tumbukan baik antara droplet dengan dinding ruang pengering maupun antara droplet dengan droplet lainnya. Probabilitas tumbukan tersebut akan lebih masif jika volume ruang semakin kecil, sudut semburan semakin lebar, dan laju alir umpan semakin besar (Alwan & Bindar, 2019).

Selain dari faktor di atas, deposit partikel dipengaruhi juga oleh kondisi operasi yang ditetapkan dan sifat atau karakteristik dari bahan dinding ruang pengering. Kondisi operasi tersebut meliputi suhu medium pengering, konsentrasi umpan, laju alir umpan, laju alir medium pengering, dan kelembapan medium pengering. Selain itu, material penyusun dinding ruang pengering juga dapat mempengaruhi

laju deposit partikel pada dinding. Keshani et al., (2013) melakukan pengujian terhadap ruang pengering sembur dengan material yang berbeda, yaitu *stainless steel* dan politetrafluoroetilena (teflon), hasilnya menunjukkan bahwa deposisi partikel pada *stainless steel* jauh lebih banyak terjadi dibandingkan pada teflon.

Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya adalah kekasaran permukaan teflon yang lebih kecil dibandingkan dengan *stainless steel* yang mengakibatkan gaya adhesi pada permukaan *stainless steel* jauh lebih besar dibandingkan pada teflon. Selain itu energi permukaan material *stainless steel* jauh lebih besar dibandingkan teflon, yaitu 40,1 mN/m dan 23,6 mN/m. Dari sifat bahannya *stainless steel* bersifat konduktor atau dapat menghantarkan panas dengan baik, sedangkan teflon bersifat dielektrik (Keshani et al., 2013). Sifat dapat menghantarkan panas ini yang menyebabkan droplet atau partikel yang bertumbukan dengan dinding ruang pengering akan menempel. Peristiwa ini disebut juga dengan fenomena lengketnya partikel.

Fenomena ini terjadi karena selama proses pengeringan berlangsung viskositas droplet terus meningkat akibat kandungan air yang terus berkurang dalam droplet dan suhu partikel cukup tinggi. Pada kondisi kandungan air tertentu, partikel memiliki kemungkinan menjadi lengket pada rentang temperatur 10 hingga 30°C di atas temperatur *glass* (Turchiuli et al., 2011). Pada rentang temperatur tersebut, jika partikel menabrak dinding maka partikel akan menempel pada dinding. Sedangkan jika bertumbukan dengan sesama partikel maka akan terjadi aglomerasi yang menyebabkan ukuran partikel semakin besar.



Gambar 1. Kurva evolusi droplet menjadi partikel di ruang pengering sembur dengan material maltodekstrin DE 12 dan DE 21 (Turchiuli et al., 2011)

Dalam beberapa dekade terakhir dengan masifnya perkembangan teknologi, baik dari sisi perangkat keras dan perangkat lunak, analisis deposisi partikel pada dinding ruang pengering banyak dilakukan melalui pendekatan komputasi. Teknik rekayasa komputasi tersebut menggunakan metode CFD (*computational fluid dynamic*). Metode CFD telah banyak digunakan oleh para peneliti dalam menganalisis pola aliran pengontakkan partikel atau droplet dengan medium pengering di dalam ruang pengering. Pola pengontakkan ini berperan penting dalam memprediksi produk akhir yang dihasilkan. Secara eksperimental untuk mengamati pola pengontakkan tersebut sangatlah rumit dan dibutuhkan alat ukur yang handal. Beberapa peneliti yang telah memanfaatkan penggunaan CFD pada pengering sembur diantaranya adalah (Kuriakose & Anandharamakrishnan, 2010) dimana pada studinya untuk memprediksi pola aliran gas serta mengamati rekam jejak partikel di dalam ruang pengering seperti, temperatur, kecepatan, waktu tinggal, serta lintasan yang dilalui partikel menggunakan metode CFD. Pada skala industri Jin & Chen (2011) menggunakan CFD untuk menganalisis produksi entropi selama proses pengeringan susu dan mengamati pola aliran udara. (Alwan & Bindar (2019) dalam penelitiannya mengamati proses pengeringan susu pada berbagai ukuran ruang pengering dan sudut semburan menggunakan CFD. Secara eksperimental Kieviet et al., (1997) telah melakukan penelitian dalam mengeringkan maltodextrin menggunakan *spray dryer* skala pilot (tinggi 3,725 m dan diameter 2,2 m) dengan mengambil data kecepatan, temperatur medium pengering serta kelembapan dalam ruang pengering. Data yang telah diperoleh oleh Kieviet telah banyak digunakan oleh para peneliti sebagai dasar untuk memvalidasi model dalam CFD (Alwan & Bindar, 2019; Kuriakose & Anandharamakrishnan, 2010; Mezhericher et al., 2010).

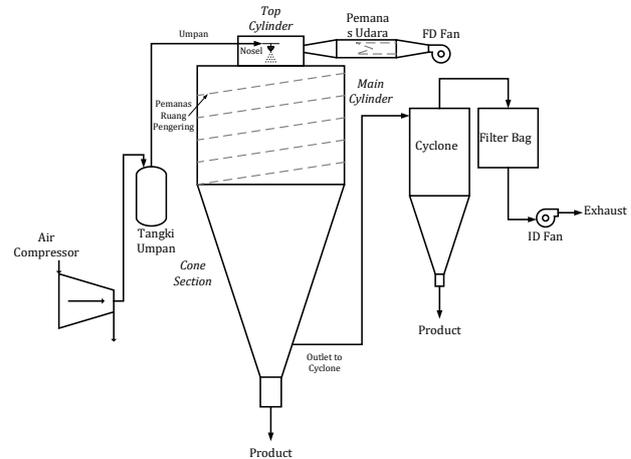
Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh konsentrasi umpan maltodekstrin, suhu dan laju alir udara pengering terhadap laju deposit partikel pada dinding ruang pengering sembur jenis *cylinder-on-cone* skala pilot. Evaluasi kondisi operasi ini selanjutnya digunakan untuk memetakan pola operasi pengeringan maltodekstrin yang menghasilkan deposit partikel minimum pada dinding ruang pengering. Selain itu produk maltodekstrin yang dihasilkan harus memenuhi standar baku mutu produk maltodekstrin yang mengacu pada SNI 7599-2010.

2. METODE

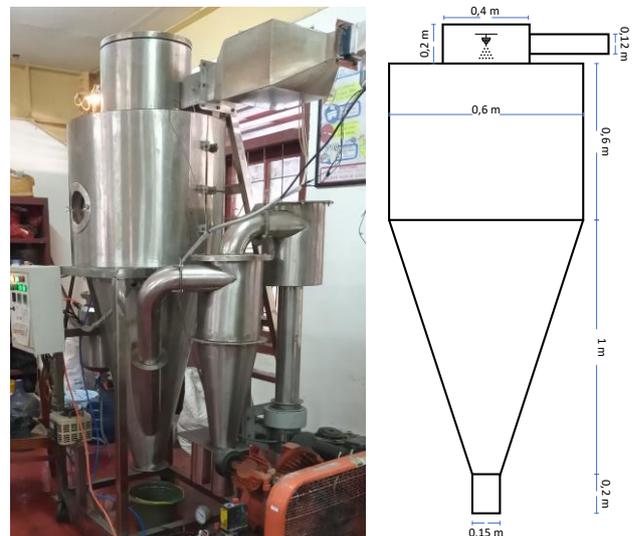
2.1 Rancangan Alat Percobaan

Evaluasi pengaruh kondisi operasi pengeringan maltodekstrin DE 11-12 terhadap deposisi partikel di dinding ruang pengering dilakukan secara eksperimental menggunakan *spray dryer* jenis *cylinder-on-cone* skala pilot. *Spray dryer* ini memiliki rasio tinggi terhadap diameter kurang dari 2, atau bisa dikatakan *spray dryer* ini termasuk kedalam *spray dryer* jenis pendek (*short spray dryer*). Diameter dan tinggi silinder

utama (*main cylinder*) *spray dryer* adalah 0,6 m. Tinggi dari kerucut (*cone section*) adalah 1 m. secara keseluruhan ketinggian alat *spray dryer* dari nosel sampai bagian bawah *cone section* yaitu 2 m. Rangkaian alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat Gambar 2. Luas permukaan dari alat *spray dryer* dihitung berdasarkan luas permukaan setiap bagian. Ukuran detail setiap bagian dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian alat utama *spray dryer* jenis *cylinder-on-cone* skala pilot



Gambar 3. Ukuran alat *spray dryer* jenis *cylinder-on-cone* skala pilot

Pada alat *spray dryer*, droplet diinjeksi melalui sebuah nosel yang terletak pada bagian atas silinder. Droplet tersebut diinjeksi dengan arah yang sama (*co-current*) dengan udara pengering. Nosel ditempatkan di tengah pada bagian *top cylinder* dengan jarak sekitar 10 cm di atas silinder utama (*main cylinder*). Droplet keluar dari nosel dibantu oleh udara bertekanan yang dihasilkan dari sebuah kompresor. Udara bertekanan tersebut digunakan untuk mengubah umpan dalam fase likuid menjadi droplet dengan ukuran yang kecil dan halus. Tekanan dari udara terkompresi ditetapkan berbeda pada setiap variasi konsentrasi. Perbedaan tekanan tersebut dilakukan untuk mendapatkan laju

alir umpan yang sama pada setiap variasi konsentrasi, yaitu sebesar 0,2 Liter/menit (LPM).

Udara pemanas masuk ke ruang pengering melalui sebuah saluran udara dengan diameter sebesar 12 cm yang terletak di sisi samping *top cylinder*. Arah aliran udara masuk tegak lurus dengan arah aliran umpan. Sebelum udara masuk ke dalam ruang pengering, udara dipanaskan oleh pemanas listrik yang terletak di dalam saluran udara dengan daya tetap. Sehingga dengan adanya perubahan laju alir udara yang masuk ke pemanas akan menyebabkan temperatur udara masuk akan berubah. Udara pengering keluar dari ruang pengering melalui sebuah pipa outlet yang terletak di bagian bawah *cone section* dengan ukuran pipa sebesar 2,5 in. Larutan maltodekstrin yang terdiri dari air dan maltodekstrin DE 11-12 dengan variasi konsentrasi awal dibuat dan diinjeksikan melalui nosel pada suhu 25°C.

2.2 Prosedur Percobaan

Pengoperasian *spray dryer* dimulai dengan memasukkan udara pengering pada laju alir 410 m³/jam tanpa adanya droplet yang disemprotkan dari nosel dan membiarkannya mencapai kondisi tunak selama 20-30 menit. Umpan disemprotkan pada tiga konsentrasi yang berbeda: 10, 20, dan 30-%b/b. Untuk setiap variasi laju aliran udara pengering dipertahankan laju aliran umpan konstan pada 0,2 LPM. Pengaruh konsentrasi awal maltodekstrin terhadap deposit partikel pada ruang *spray dryer* ditentukan dengan memilih tiga tingkat suhu dan laju alir udara pengering masing-masing 160, 170, dan 180°C serta 410, 328, dan 246 m³/jam, untuk laju aliran umpan konstan di 0,2 LPM.

Pada setiap percobaan, *spray dryer* dijalankan selama 30 menit. Setelah itu, sejumlah sampel partikel maltodekstrin yang terdeposit pada dinding ruang pengering dikumpulkan. Waktu pengambilan sampel tidak boleh terlalu lama atau terlalu cepat sehingga partikel yang terkumpul bisa ditempatkan langsung pada wadah tertutup. Pengambilan sampel dilakukan secara hati-hati untuk meminimalkan sampel deposit hilang. Pada akhir setiap percobaan, sampel dikeluarkan dengan hati-hati dari wadah dan ditimbang untuk menentukan jumlah deposisi partikel. Untuk meningkatkan ketepatan hasil, setiap percobaan diulang dua kali.

Analisis kandungan air pada produk mengikuti standar SNI 01-2891-1992 tentang cara uji makanan dan minuman. Produk maltodekstrin seberat 1-2 gram dimasukkan ke dalam kurs porselin yang telah dikeringkan, kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu sebesar 105°C selama 3 jam, setelah itu produk didinginkan ke dalam desikator dan ditimbang. Kadar air dalam bahan dihitung berdasarkan persamaan (1).

$$X_0(\%) = \left(\frac{W_i - W_f}{W_f} \right) \times 100\% \quad (1)$$

X_0 merupakan kadar air dalam basis kering (*dry basis*), W_i merupakan berat bahan mula-mula (gram), dan W_f merupakan berat akhir bahan(gram).

Pengujian deposisi partikel digunakan untuk melihat seberapa banyak penumpukan partikel bubuk di dinding *spray dryer*, analisa ini dapat dihitung dengan cara menimbang deposit partikel yang telah dikumpulkan menggunakan neraca analitik. Dan menghitung nilai fluks deposit melalui persamaan (2).

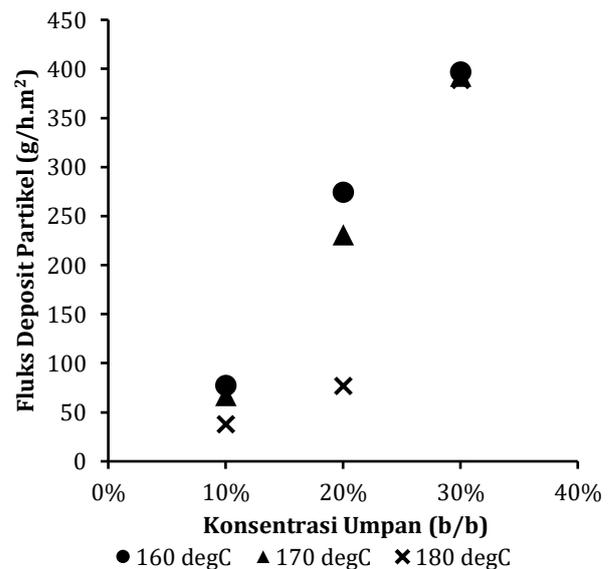
$$N_p = \frac{m_{md}}{A_s \cdot t} \quad (2)$$

Dengan N_p merupakan fluks deposit partikel (g/h.m²), m_{md} merupakan massa partikel maltodekstrin yang terdeposit di dinding ruang pengering (gram), A_s merupakan luas permukaan dinding ruang *spray dryer* (m²), dan t adalah waktu operasi pengeringan (jam).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Konsentrasi Umpan Maltodekstrin Terhadap Deposit Partikel

Seiring meningkatnya konsentrasi umpan maltodekstrin DE 11-12 yang digunakan, diikuti dengan meningkatnya deposit partikel pada dinding ruang pengering (Gambar 4). Fenomena ini menunjukkan bahwa konsentrasi umpan mempengaruhi kuantitas padatan yang terdeposit pada dinding ruang pengering. Terlihat pada gambar 4, partikel yang terdeposit berurutan pada konsentrasi 10; 20; dan 30%-b/b dengan suhu udara pengering maksimum (102°C) yaitu sebesar 38; 76,9; dan 388,9 g/h.m².



Gambar 4. Fluks deposisi partikel pada dinding ruang pengering dengan laju alir umpan dan udara pengering tetap 0,2 L/menit dan 420 m³/h.

Pada suhu udara pengering di bawah 180°C partikel yang terdeposit pada dinding ruang pengering semakin besar. Hal ini disebabkan oleh kandungan energi yang dibawa oleh udara pengering lebih kecil, sehingga laju pengeringan menjadi lambat. Laju pengeringan yang lambat ini menyebabkan beberapa

droplet yang bertumbukan dengan dinding pada kondisi kandungan air yang cukup banyak, terdeposit pada dinding ruang pengering. Fenomena ini terjadi karena partikel berada pada area lengket (*sticky area*) pada saat bertumbukan dengan dinding. Pada daerah ini viskositas partikel mencapai pada titik yang kritis yaitu berada pada rentang 106–108 Pa.s. Gaya adhesi pada viskositas sebesar ini sangat dominan (Turchiuli et al., 2011). Pada penelitian yang dilakukan oleh Alwan & Bindar, (2019) area lengket merupakan area yang teletak di bawah kurva temperatur lengket (*sticky temperature*) dan di atas kurva temperatur glass (*glass temperature*). Untuk menentukan kurva temperatur lengket, Ozmen dan Langrish (2002) dalam Langrish, (2009) memberikan sebuah persamaan untuk temperatur bahan ketika menjadi lengket.

$$T_{st} [^{\circ}C] = \frac{[(1-X_o)T_{gi} + X_o T_{gw}]}{(1+7,48X_o)} + 23.3 \quad (3)$$

Dimana T_{st} merupakan temperatur lengket (*sticky*) ($^{\circ}C$), X_o adalah kadar air akhir partikel, T_{gi} adalah temperatur gelas maltodekstrin ($^{\circ}C$), T_{gw} adalah temperatur gelas air ($^{\circ}C$). Untuk menentukan temperatur *glass* (T_g) maltodekstrin, Brooks (2000) dalam Walmsley et al., (2014) memberikan sebuah persamaan T_g sebagai fungsi dari aktivitas air (a_w)

$$T_g = 530,66a_w^3 + 652,06a_w^2 - 366,33a_w + 99,458 \quad (4)$$

Penelitian yang dilakukan oleh Kota & Langrish, (2006) menunjukkan bahwa deposit partikel banyak terjadi pada dinding ruang pengering di area *cone section*. Pada penelitian tersebut digunakan umpan dengan konsentrasi 30%-b/b dengan laju alir umpan 27 ml/menit, fluks deposit partikel yang dihasilkan mencapai 281 g/h.m². Semakin kecil laju alir umpan, polanya menunjukkan semakin kecil juga fluks deposit partikel yang terjadi. Hal ini menunjukkan pola yang mirip dengan penelitian yang telah dilakukan. Jika dibandingkan dengan penelitian ini deposit partikel yang terbentuk di dinding ruang pengering relatif lebih besar hampir dua kali lipat, karena laju alir umpan yang digunakan juga cukup besar, yaitu 0,2 LPM.

3.2 Pengaruh Laju Alir Udara Pengering Terhadap Deposit Partikel

Parameter operasi lainnya yang mempengaruhi deposit partikel pada dinding ruang pengering adalah laju alir udara pengering. Pada penelitian ini laju alir udara divariasikan dengan cara mengatur putaran motor listrik *force draft* (FD) *fan* menggunakan Inverter VFD Andeli 2.2 kW 220 volt. Melalui alat tersebut laju alir udara dapat dikendalikan dengan variasi laju alir udara yang digunakan sebesar 410, 328; dan 246 m³/h.

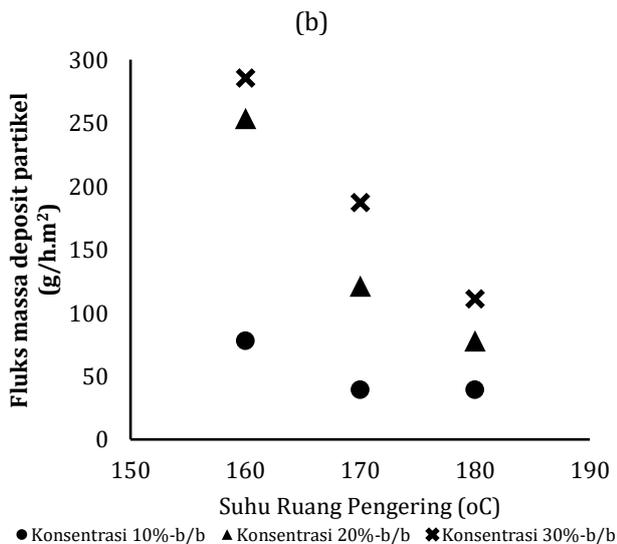
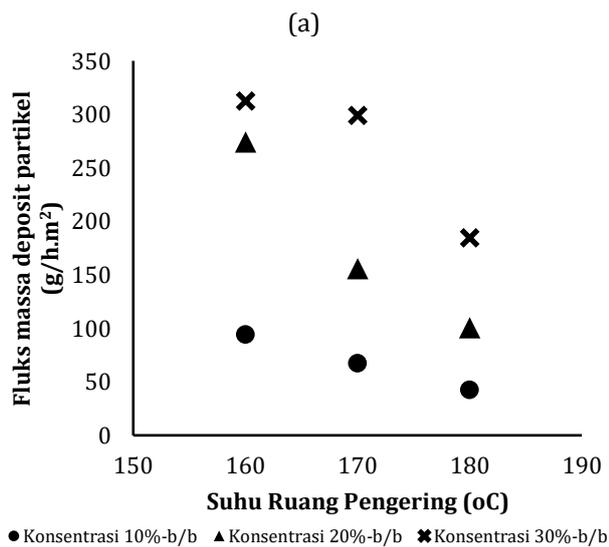
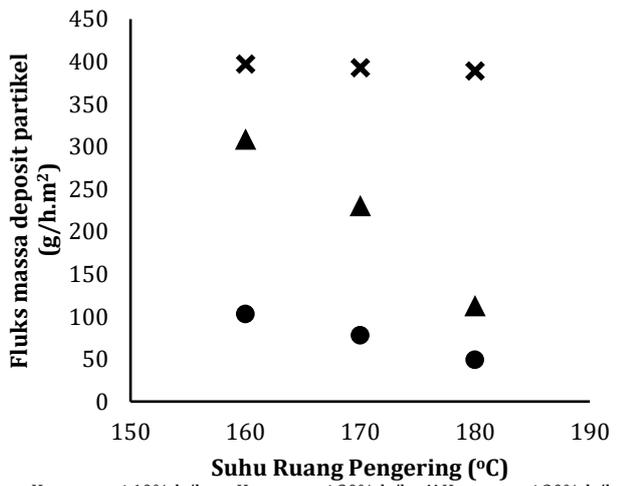
Pada penelitian ini, daya pemanas udara (*heater*) ditetapkan (konstan), sehingga suhu udara masuk akan bervariasi mengikuti jumlah udara yang masuk. Suhu udara diukur secara langsung menggunakan termokopel tipe K. Suhu udara pengering masuk ke ruang pengering pada laju alir 410, 328; dan 246 m³/h secara berurutan yaitu 80, 95, dan 102 $^{\circ}C$.



Gambar 5. Deposit partikel pada area dekat nosel di bagian *top cylinder* pada kondisi konsentrasi 30%-b/b dan laju alir udara 410 m³/h.

Lokasi input udara pemanas yang digunakan pada proses pengeringan menggunakan *spray dryer* dapat mempengaruhi lokasi dan jumlah deposit partikel. Lokasi deposit partikel erat kaitannya dengan lintasan yang dilalui oleh partikel atau droplet yang dipengaruhi oleh pola aliran udara. Pada penelitian ini udara yang masuk dari sisi samping *top cylinder* (Gambar 3.) dan tegak lurus dengan arah semburan menyebabkan droplet terdorong ke sisi yang berlawanan dengan inlet udara. Akibatnya deposit partikel banyak terdapat pada area *top cylinder* dekat dengan nosel (Gambar 5).

Gambar 6 menggambarkan secara kuantitatif fluks deposit partikel di dinding ruang pengering pada berbagai konsentrasi umpan dan laju alir udara pengering. Pada laju alir udara yang rendah laju deposit partikel pada dinding ruang pengering cenderung berkurang dibandingkan pada laju alir udara yang tinggi. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, laju alir udara yang rendah menyebabkan suhu udara pemanas masuk lebih tinggi. Energi yang dibawa oleh udara pemanas menjadi lebih besar, sehingga laju pengeringan menjadi lebih cepat. Laju pengeringan yang cepat meminimalisir partikel berada pada area lengket (*sticky area*) dengan cara menggeser nilai aktivitas air (a_w) berada pada kondisi terendah, yaitu berada pada rentang di bawah 0,2 pada temperatur partikel di atas 80 $^{\circ}C$ (Gambar 1) (Turchiuli et al., 2011).



(c)

Gambar 6. Fluks deposit partikel pada laju alir udara (a) 410 m³/h; (b) 328 m³/h; dan (c) 246 m³/h.

3.3 Pengaruh Suhu Ruang Pengering terhadap Deposit Partikel

Suhu ruang pengering berbeda dengan suhu udara pengering. Suhu ruang pengering dapat diatur nilainya

melalui *controller* yang ada pada panel box dengan mengatur daya pemanas (*heater*) pada bagian *main cylinder*. Pemanas pada bagian ini ditempatkan dengan tujuan untuk menjaga suhu ruang pengering berada pada rentang suhu yang diinginkan. Suhu ruang pengering yang digunakan pada penelitian ini adalah 160, 170, dan 180°C. Terdapat kelebihan dan kekurangan dalam penempatan pemanas di bagian *main cylinder*. Kelebihan penempatan pemanas pada dinding ruang pengering adalah suhu ruang pengering dapat terjaga pada kondisi yang ditetapkan dan meningkatkan laju pengeringan. Kekurangannya adalah tidak efisien dalam penggunaan energi, karena terdapat dua *heater*; dan meningkatkan deposit partikel di dinding ruang pengering, karena partikel yang telah kering dapat terperangkap pada area lengket karena suhu dinding yang dijaga konstan, yaitu menggeser kurva lengket ke sisi kiri (Gambar 1). Sehingga pada kondisi kandungan air yang kecil sekalipun, akan tetap berada pada area lengket karena suhu partikel yang tinggi.

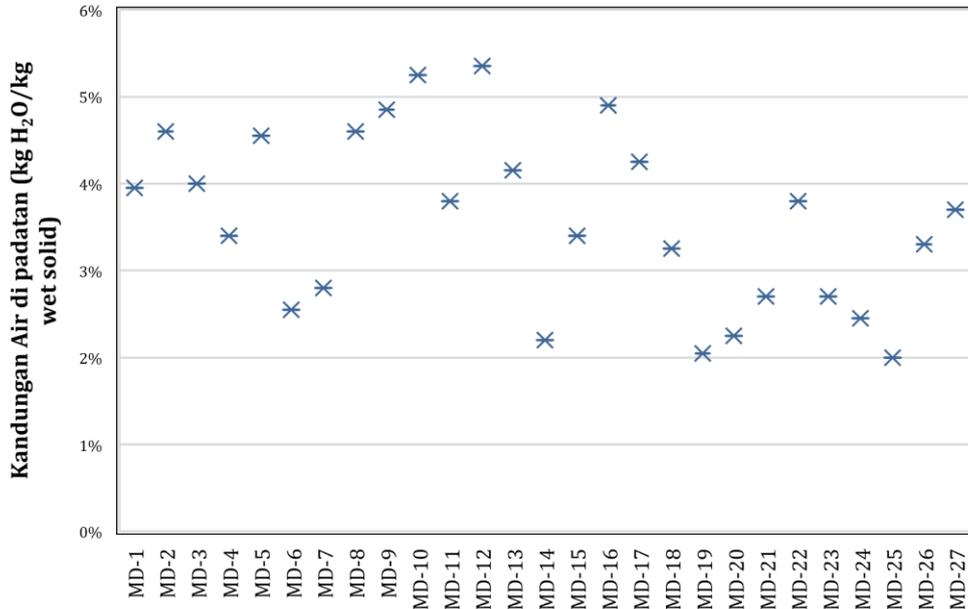
Gambar 6 menunjukkan laju deposit partikel yang dipengaruhi oleh suhu ruang pengering. Pada laju alir udara maksimum, fluks deposit partikel semakin berkurang seiring dengan naiknya suhu ruang pengering. Naiknya suhu ruang pengering menyebabkan laju pengeringan meningkat. Sehingga kandungan air di dalam partikel cepat berkurang. Kondisi ini membuat partikel tidak berada di area lengket (*sticky area*) ketika bertumbukan dengan dinding ruang pengering, sehingga mengurangi deposit partikel.

3.4 Analisis Kandungan Air di Produk

Kandungan air di produk merupakan salah satu parameter utama untuk menentukan kualitas produk bubuk. Parameter tersebut berhubungan dengan daya tahan dan daya simpan produk. Semakin rendah kandungan air suatu produk maka produk itu tidak mudah rusak. Dengan kandungan air yang rendah dapat mencegah terjadinya pertumbuhan mikroorganisme seperti jamur dan bakteri yang dapat menyebabkan kerusakan produk. Nilai kadar air produk bubuk maltodekstrin yang didapatkan dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 3.1. Kode sampel maltodekstrin

Laju alir udara (m ³ /h)	410			328			246		
Suhu ruang pengering (°C)	160	170	180	160	170	180	160	170	180
Konsentrasi									
10%	MD-1	MD-4	MD-7	MD-10	MD-13	MD-16	MD-19	MD-22	MD-25
20%	MD-2	MD-5	MD-8	MD-11	MD-14	MD-17	MD-20	MD-23	MD-26
30%	MD-3	MD-6	MD-9	MD-12	MD-15	MD-18	MD-21	MD-24	MD-27



Gambar 7. Kandungan air produk maltodekstrin hasil pengeringan menggunakan *spray dryer*

Berdasarkan gambar 7 di atas menunjukkan bahwa nilai kadar air maltodekstrin yang telah dikeringkan secara keseluruhan telah memenuhi standar baku mutu produk maltodekstrin yang ditetapkan pemerintah melalui SNI 7599-2010 tentang maltodekstrin, yaitu tidak lebih dari 5%. Rata-rata nilai kandungan air (\bar{X}_{wb}) pada proses pengeringan menggunakan metode *spray dryer* sebesar 3,59%. Dari hasil yang didapatkan tidak dapat disimpulkan apa pengaruh dari variabel konsentrasi maltodekstrin, laju alir udara dan suhu ruang pengering pada kadar air produk maltodekstrin. Karena dari hasil pengujian yang dilakukan untuk seluruh sampel percobaan dihasilkan kadar air di bawah 5%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar air $\leq 5\%$ merupakan kadar air kesetimbangan (*equilibrium*) pada bubuk maltodekstrin. Menurut Geankoplis et al., (2018) dalam bukunya menyatakan bahwa kadar air $\leq 5\%$ pada makanan dapat menurunkan potensi pertumbuhan mikroorganisme dan dapat menjaga kualitas makanan baik dari segi rasa dan aromanya.

Fenomena kadar air $\leq 5\%$ pada bubuk maltodekstrin hasil percobaan menunjukkan bahwa pada rentang variasi yang telah dilakukan, tidak mempengaruhi kadar air produk akhir maltodekstrin. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi laju pengeringan yang rendah sekalipun (suhu pengeringan rendah & kadar air tinggi) alat *spray dryer* masih bisa menghasilkan produk akhir maltodekstrin dengan

kadar air di bawah 5%. Menurut Tonon et al., (2008) variabel suhu pengeringan sebetulnya memiliki peran dalam laju pengeringan. Pada suhu pengeringan yang semakin tinggi, terdapat gradien suhu yang lebih besar antara droplet dengan udara pengering sehingga proses evaporasi antara air dan bahan di dalam *spray dryer* menjadi cepat. Proses evaporasi merupakan peristiwa perpindahan massa secara difusional, dimana laju perpindahan massa secara difusi semakin cepat seiring dengan naiknya suhu ruang pengering. Oleh karena itu bubuk yang dihasilkan memiliki nilai kadar air yang rendah, karena adanya peningkatan padatan dan jumlah total uap air yang dievaporasi berkurang.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini melakukan investigasi secara eksperimen untuk mengetahui pengaruh kondisi operasi terhadap laju deposisi partikel di dinding ruang *spray dryer* skala pilot menggunakan bahan maltodekstrin DE 11-12. Parameter tersebut meliputi konsentrasi maltodekstrin, laju alir udara pengering dan suhu ruang pengering. Laju deposit partikel terkecil didapatkan pada konsentrasi umpan yang kecil (10%-b/b) dengan suhu pengeringan yang maksimal. Suhu udara pengeringan yang maksimal didapatkan pada laju udara yang minimum, dimana pada kondisi ini suhu udara mencapai 102°C. sedangkan untuk mendapatkan laju deposit partikel minimum suhu

ruang pengering harus ditetapkan maksimum, sebesar 180°C. Pada kondisi ini laju deposit partikel pada dinding ruang *spray dryer* adalah 39.4 g/h.m².

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada LPPM Universitas Sultan Ageng Tirtayasa untuk Hibah penelitian yang telah diberikan berdasarkan Kontrak Penelitian Skim Penelitian Dosen Pemula (PDP) Nomor B/177/UN.43.3/PT.01.03/2021 Tahun Anggaran 2021.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Alwan, H., & Bindar, Y. (2019). Flow pattern analysis on sticky regime and effectiveness of volume chamber for milk production using CFD method. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 673(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/673/1/012019>
- Geankoplis, C. J., Hersel, A., & Lepek, D. H. (2018). Transport Processes and Separation Process Principles (5th ed.). Prentice Hall.
- Jin, Y., & Chen, X. D. (2011). Entropy production during the drying process of milk droplets in an industrial spray dryer. International Journal of Thermal Sciences, 50(4), 615–625. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2010.10.013>
- Keshani, S., Daud, W. R. W., Woo, M. W., Nourouzi, M. M., Talib, M. Z. M., Chuah, A. L., & Russly, A. R. (2013). Reducing the deposition of fat and protein covered particles with low energy surfaces. Journal of Food Engineering, 116(3), 737–748. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.003>
- Kieviet, F. G., van Raaij, J., de Moor, P. P. E. A., & Kerkhof, P. J. A. M. (1997). Measurement and modelling of the air flow pattern in a pilot-plant spray dryer. Chemical Engineering Research and Design, 75(3), 321–328. <https://doi.org/10.1205/026387697523778>

- Kota, K., & Langrish, T. A. G. (2006). Fluxes and patterns of wall deposits for skim milk in a pilot-scale spray dryer. Drying Technology, 24(8), 993–1001. <https://doi.org/10.1080/07373930600776167>
- Kuriakose, R., & Anandharamakrishnan, C. (2010). Computational fluid dynamics (CFD) applications in spray drying of food products. In Trends in Food Science and Technology (Vol. 21, Issue 8, pp. 383–398). <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.009>
- Langrish, T. A. G. (2009). Multi-scale mathematical modelling of spray dryers. Journal of Food Engineering, 93(2), 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.01.019>
- Mezhericher, M., Levy, A., & Borde, I. (2010). Spray drying modelling based on advanced droplet drying kinetics. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 49(11), 1205–1213. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2010.09.002>
- Mezhericher, M., Levy, A., & Borde, I. (2014). Theoretical modelling and numerical simulation of spray drying processes.
- Tonon, R. v., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (Euterpe oleracea Mart.) powder produced by spray drying. Journal of Food Engineering, 88(3), 411–418. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.02.029>
- Turchiuli, C., Gianfrancesco, A., Palzer, S., & Dumoulin, E. (2011). Evolution of particle properties during spray drying in relation with stickiness and agglomeration control. Powder Technology, 208(2), 433–440. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.08.040>
- Walmsley, T. G., Walmsley, M. R. W., Atkins, M. J., Neale, J. R., & Sellers, C. M. (2014). An experimentally validated criterion for skim milk powder deposition on stainless steel surfaces. Journal of Food Engineering, 127, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.025>