

Design of a cyclone separator with a circumfluent cyclone and a convergent vortex finder for spray drying

Awaludin Martin^a, Setyo Alvaro^a, Iwan Kurniawan^a, Anis Aprilia^{a,1}

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293

¹Email korespondensi: anisprlia@gmail.com

Abstract. Coconut milk is prone to spoilage due to its high-water content. Spray drying can extend shelf life, but conventional cyclone separators often suffer from re-entrainment and high pressure drop. This study proposes a cyclone separator design with a Circumfluent Cyclone (CFC) structure and a Convergent Vortex Finder (CVF) to improve particle separation. The design was based on analytical calculations involving swirl number and vortex behavior. A prototype with a diameter of 0.11 meters was fabricated and tested under varying air flow rates from 10 to 30 cubic meters per hour and temperatures from 120 to 150 degrees Celsius. The experimental results indicated complete particle collection under the tested conditions and a minimum pressure drop of 569 Pa. However, this apparent efficiency does not reflect the cyclone's intrinsic separation performance because the particles entering the system were relatively large, partially agglomerated, oily, and not fully dry, unlike the intended design condition of fine micron-sized particles. Therefore, the results mainly demonstrate the feasibility of the proposed cyclone geometry and its stable flow behavior rather than the true separation efficiency for fine particles. Future work should include detailed particle-size characterization, CFD validation, and testing with controlled fine particles to rigorously evaluate separator performance. However, this efficiency does not fully represent the cyclone separator's actual performance because the particles entering the system were large, agglomerated, and oily, which did not match the intended design conditions. Despite this, the modified design successfully reduced re-entrainment and improved flow stability.

Keywords: cyclone separator, spray drying, re-entrainment, circumfluent cyclone, convergent vortex finder.

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/y9vm1663>

PENDAHULUAN

Menurut Badan Pusat Statistik 2023, Indonesia memproduksi 2,89 juta ton kelapa pada tahun 2023, dengan Riau sebagai produsen terbesar yang menyumbang 14% dari total produksi [1]. Produksi ini diperkirakan fluktuatif dan mencapai 2,92 juta ton pada 2026. Salah satu produk turunannya yang banyak dimanfaatkan adalah santan kelapa karena kandungan air, lemak, dan proteinnya yang tinggi [2].

Santan kelapa merupakan emulsi dari air, minyak, dan zat berwarna putih susu yang diperoleh dari daging kelapa [3]. Pengolahan santan dalam skala rumah tangga umumnya memiliki masa simpan pendek akibat pertumbuhan mikroba, paparan cahaya, oksigen, dan suhu tinggi [4]. Salah satu solusi yang dikembangkan adalah mengubah santan menjadi bubuk karena kadar airnya yang rendah dapat memperpanjang masa simpan [5]. Berbagai metode telah diterapkan, seperti pengemasan, pembekuan, dan *spray drying* [3]. Di antara metode tersebut, *spray drying* dinilai paling efektif karena paparan panas hanya berlangsung singkat sehingga meminimalkan kerusakan nutrisi [6].

Spray drying telah terbukti efektif secara komersial dalam menghasilkan santan bubuk dengan umur simpan panjang dan kandungan nutrisi yang tetap terjaga [7]. Teknologi ini mengubah cairan menjadi partikel kering melalui proses penyemprotan ke dalam udara panas [8]. Prosesnya mencakup tiga tahap

utama: atomisasi, pengeringan tetesan cair, dan pengumpulan partikel kering [9].

Partikel kering yang tidak terpisah dari udara pengering biasanya disaring kembali menggunakan perangkat seperti *cyclone separator*, *bag filter*, *scrubber*, atau *electrostatic precipitator* [10]. *Cyclone separator* bekerja dengan memanfaatkan gaya sentrifugal untuk memisahkan partikel padat dari aliran gas dan terdiri dari dua bagian utama: silinder atas dan kerucut bawah [11][12]. Meskipun desainnya lebih kompleks dibandingkan dengan sistem pengendapan gravitasi, *cyclone* menawarkan efisiensi tinggi dan mampu menangani partikel berukuran 1–400 μm .

Cyclone separator dapat diklasifikasikan berdasarkan arah aliran masuk, yaitu tangensial, aksial, dan radial [12]. Aliran tangensial memiliki efisiensi pemisahan lebih tinggi dibanding aksial, namun menghasilkan *pressure drop* lebih besar [13][14]. *Pressure drop* tinggi ini dapat memicu *re-entrainment*, di mana partikel yang telah terkumpul kembali terbawa oleh *vortex* dalam.

Upaya mengurangi *re-entrainment* untuk meningkatkan efisiensi pengumpulan partikel telah dilakukan melalui modifikasi *Circumfluent Cyclone* (CFC), yang memperpendek jalur aliran gas [15]. Penambahan panjang *vortex finder* juga terbukti meningkatkan efisiensi hingga 8,83% [11]. Kombinasi CFC dan *vortex finder* mampu mengurangi aliran *shortcut* di dekat *inlet* [16], meskipun pengujian

terbatas pada kecepatan 22–30 m/s dan partikel 10,2 μm . Penambahan *Convergent Vortex Finder* (CVF) juga dilaporkan meningkatkan efisiensi hingga 9,5% [17], namun efisiensinya menurun pada temperatur tinggi. Hal ini tidak menjadi kendala pada *spray drying* santan kelapa yang beroperasi pada suhu sedang. Hingga kini, belum ada penelitian yang secara khusus mengkaji kombinasi CFC dan CVF pada *cyclone separator* dengan aliran tangensial untuk *spray drying* santan kelapa.

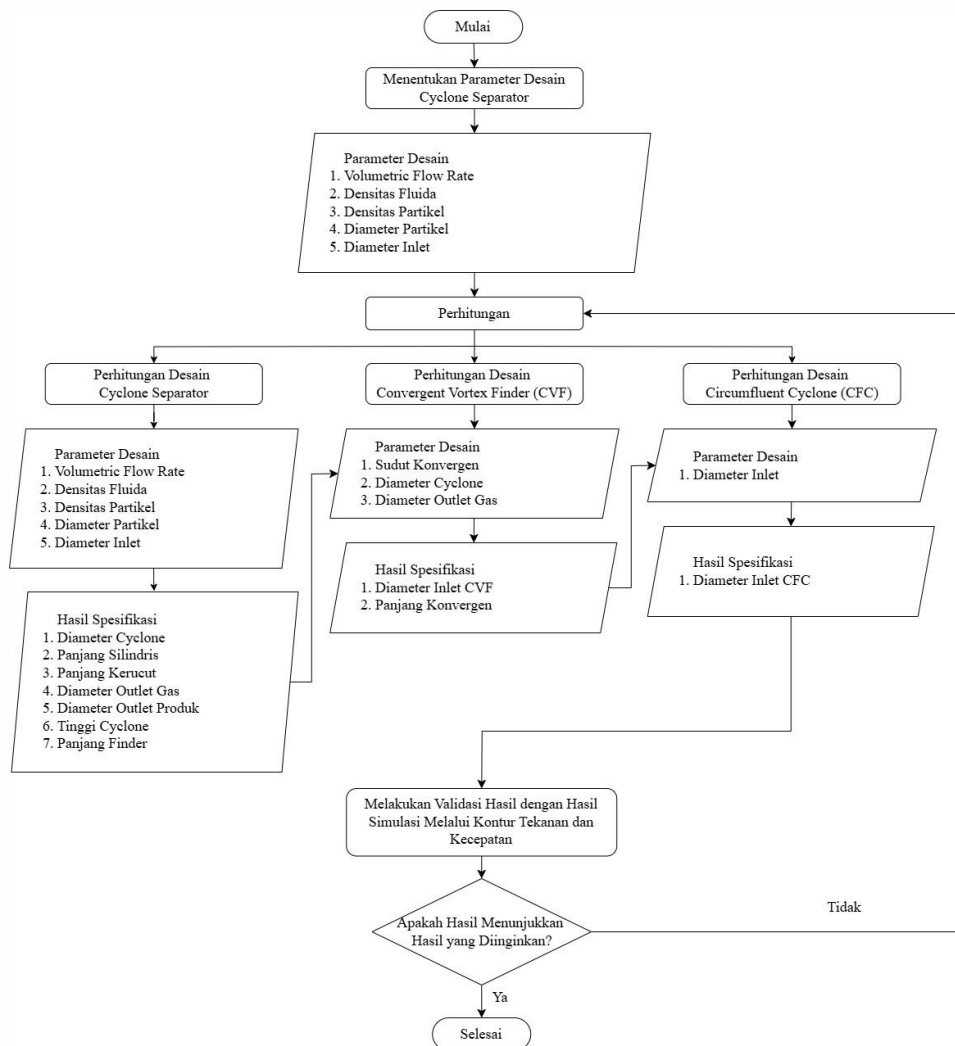
Berdasarkan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang *cyclone separator* dengan struktur CFC dan CVF secara analitik untuk digunakan dalam sistem *spray drying* santan kelapa berkapasitas 1 L/jam. Desain yang dihasilkan kemudian diuji secara eksperimental untuk melihat performa pemisahan partikel dan nilai *pressure drop* yang terjadi. Hasil pengujian akan digunakan untuk mengevaluasi efektivitas modifikasi desain terhadap efisiensi

pemisahan dan kestabilan aliran partikel dalam *cyclone separator*.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau, meliputi kegiatan proses perancangan, fabrikasi, instalasi, dan pengujian *cyclone separator* dalam sistem *spray drying*.

Perancangan *cyclone separator* untuk proses *spray drying* santan kelapa kapasitas 1 L/jam dengan memodifikasi desain *cyclone separator* dengan menambahkan *Circumfluent Cyclone* (CFC) dan *Convergent Vortex Finder* (CVF) untuk meningkatkan efisiensi pemisahan partikel halus, mengurangi fenomena *re-entrainment*, dan menjaga *pressure drop* pada level rendah. Diagram alir perancangan *cyclone separator* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Desain *Cyclone Separator*

Tahapan perancangan *cyclone separator* dilakukan secara sistematis untuk memastikan kinerja optimal sesuai tujuan penelitian. Proses diawali dengan identifikasi parameter operasi yang meliputi laju aliran udara, ukuran partikel target, dan sifat fluida pada temperatur kerja. Laju aliran udara ditetapkan pada kisaran 10–30 m³/jam berdasarkan kapasitas *blower* dan kebutuhan proses pengeringan. Ukuran partikel target dipilih ±23 μm merujuk pada karakteristik bubuk santan kering yang dilaporkan dalam literatur [18], sedangkan sifat fluida seperti densitas dan viskositas udara pada temperatur 120–150°C diperoleh dari data termodinamika [19]. Perancangan *cyclone separator* ini menggunakan beberapa parameter desain yang ditentukan sebelum perancangan dimana parameter tersebut adalah sebagai berikut.

Setelah parameter operasi ditentukan, dilakukan perhitungan geometri dasar menggunakan persamaan desain standar Master [10] yang dimodifikasi dengan korelasi empiris dari Zhang [16] dan Hoekstra [20]. Parameter yang ditentukan meliputi diameter badan, tinggi silindris, tinggi konis, panjang *vortex finder*, serta ukuran *inlet* dan *outlet* gas. Tahap berikutnya adalah optimasi sudut tangensial, di mana sudut *inlet* sebesar 17° dipilih untuk menghasilkan *swirl number* 1,64. Nilai ini berada pada kisaran optimal untuk pemisahan partikel halus tanpa meningkatkan resistansi aliran secara signifikan. Berikut ini merupakan persamaan-persamaan yang digunakan dalam perancangan *cyclone separator*:

Modifikasi desain dilakukan dengan menerapkan *Circumfluent Cyclone* (CFC) untuk memperhalus distribusi aliran di sekitar *vortex finder* dan mencegah *shortcut flow*, serta menambahkan *Convergent Vortex Finder* (CVF) dengan sudut konvergen 60° untuk memperkuat gaya sentrifugal tanpa menimbulkan *pressure drop* signifikan [21]. Untuk memastikan kesesuaian rancangan, dilakukan analisis gaya-gaya

dominan yang bekerja pada partikel, yaitu gaya sentrifugal, gravitasi, dan gaya angkat. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa partikel berdiameter 23 μm akan terdorong menuju dinding *siklon* dan terkumpul pada *outlet debu*.

Desain akhir yang dihasilkan memiliki dimensi: diameter badan 0,11 m, tinggi silindris 0,11 m, tinggi konis 0,16 m, diameter *inlet* 0,02 m, diameter *outlet* gas 0,04 m, diameter *discharge* 0,01 m, tinggi total 0,27 m, dan panjang *vortex finder* 0,088 m. Spesifikasi ini dipilih untuk menghasilkan pemisahan partikel yang efisien dengan *pressure drop* minimal pada rentang operasi yang telah direncanakan. Hasil dari perancangan dan perhitungan dari dimensi *cyclone separator* tersaji dalam tabel berikut ini.

Setelah parameter operasi dan dimensi utama *cyclone separator* ditentukan melalui perhitungan pada metodologi perancangan, langkah selanjutnya adalah menggambarkan rancangan secara visual. Gambar teknis diperlukan untuk memastikan bahwa setiap komponen sesuai dengan spesifikasi desain serta mempermudah proses fabrikasi dan instalasi. Berikut ini merupakan gambar 2D dari *cyclone separator* yang sesuai dengan tabel dimensi *cyclone separator* di atas. Dimensi ini dihitung berdasarkan parameter-parameter yang mempengaruhi pola aliran udara yang terjadi di dalam *cyclone separator*.

Prosedur Pengujian

Pengujian kinerja *cyclone separator* dilakukan dengan memvariasikan dua parameter operasi, yaitu laju aliran udara dan temperatur udara masuk. Laju aliran udara diatur pada tiga tingkat, yaitu 10, 20, dan 30 m³/jam, sedangkan temperatur udara masuk divariasikan pada lima tingkat, yaitu 120, 130, 140, 145, dan 150°C. Pada setiap kombinasi kondisi operasi, dilakukan dua jenis pengukuran utama, yaitu efisiensi pengumpulan partikel dan *pressure drop*.

Tabel 1. Parameter desain

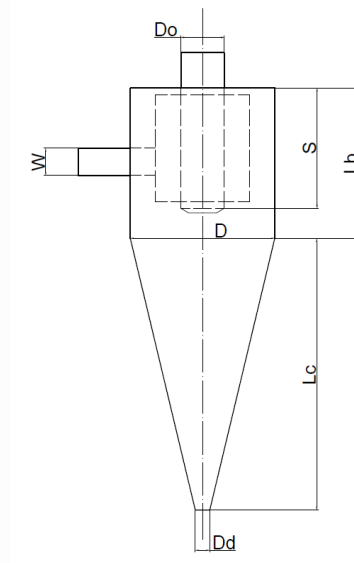
Parameter	Nilai
Laju Aliran Udara (Q)	$8,33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
Densitas Fluida (ρ_f)	$0,874 \text{ kg/m}^3 @130,96^\circ\text{C}$
Densitas Uap Air (ρ_U)	$0,581 \text{ kg/m}^3 @105^\circ\text{C}$
Viskositas Dinamik (μ)	$2,33 \times 10^{-5} \text{ Pa s}$
Densitas Partikel (ρ_p)	400 kg/m^3
Diameter Partikel (d)	$23 \times 10^{-6} \text{ m}$
Diameter Uap Air (d_u)	$70 \times 10^{-6} \text{ m}$
Diameter Inlet (W)	$0,02 \text{ m}$

Tabel 2. Persamaan yang digunakan

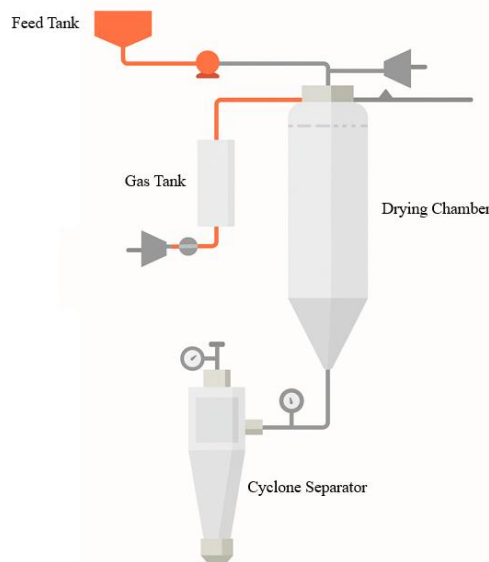
Parameter yang Dihitung	Persamaan yang Digunakan
Kecepatan <i>Inlet</i>	$v_i = \frac{Q}{A}$
Volume Partikel	$V_p = \frac{4}{3}\pi(r_p)^3$
Massa Partikel	$m = \rho_p V$
Gaya Sentrifugal	$F_{cf} = m \frac{v_t^2}{r}$
Gaya Sentripetal	$F_{cp} = m \frac{v_x^2}{r}$
Kecepatan Tangensial	$v_t = v_i \cos \theta$
Kecepatan Aksial	$v_x = v_i \sin \theta$
Gaya Gravitasi Partikel	$F_{mgp} = mg$
Kecepatan Relatif Partikel dan Udara	$v_{rel} = \sqrt{\frac{\rho_p d v_i}{2 C_d \rho_f r}}$
Bilangan Reynold	$Re_p = \frac{\rho_f v_i d}{\mu}$
Koefisien Hambatan	$C_d = \frac{24}{Re_p} (1 + 0,15 Re_p^{0,687})$
<i>Swirl Number</i>	$S_n = \frac{v_t r_e}{v_x r}$
Vortisitas	$\omega = \frac{S_n v_x}{r}$
Gaya Lift Partikel	$F_{LP} = \rho_g V_P v_{rel} \omega$
Gaya Gravitasi Uap Air	$F_{LU} = \rho_U V_U v_{rel} \omega$
Pembuktian Gaya Gravitasi dan Gaya Angkat Partikel dan Uap Air	$F_{mgp} > F_{LP}$ $F_{LU} > F_{mgU}$ $F_{LU} > F_{LP}$

Tabel 3. Dimensi *cyclone separator*

Diameter (D)	Cylindrical height (Lb)	Conical height (Lc)	Inlet Diameter (W)	Outlet Diameter (Do)	Discharge Outlet (Dd)	Overall height	Outlet length (S)
0,11	0,11	0,16	0,02	0,04	0,01	0,27	0,088



Gambar 2. Geometri *Cyclone Separator*



Gambar 3. *Set Up* Pengujian

Tahap berikutnya adalah pengoperasian sistem *spray drying*, yang diawali dengan pemanasan awal udara melalui pemanas listrik hingga mencapai temperatur yang telah ditentukan, kemudian diikuti penyaluran umpan santan melalui *nozzle* ke dalam *drying chamber*. Setelah sistem berjalan stabil, dilakukan pengukuran data, meliputi massa partikel yang terkumpul di *dust outlet* untuk perhitungan efisiensi, serta pengukuran tekanan pada *inlet* dan *outlet cyclone* untuk mendapatkan *pressure drop*

Tahap terakhir adalah analisis data, yang mencakup perhitungan efisiensi pemisahan, evaluasi *pressure drop*, dan perbandingan hasil penelitian dengan

literatur terkait untuk menilai kinerja desain *cyclone separator* yang diuji.

Efisiensi pengumpulan partikel ditentukan dengan menimbang massa partikel yang terkumpul pada *outlet*. Massa total partikel yang masuk ke *cyclone* dihitung berdasarkan berat umpan santan kering sebagian yang keluar dari *drying chamber*. Nilai efisiensi dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{m_{\text{terkumpul}}}{m_{\text{masuk}}} \times 100\%$$

di mana $m_{terkumpul}$ adalah massa partikel yang terpisahkan di *cyclone* dan m_{masuk} adalah massa total partikel yang masuk.

Pengukuran *pressure drop* dilakukan dengan mencatat tekanan pada *inlet* dan *outlet cyclone* menggunakan *pressure transmitter*. Nilai *pressure drop* diperoleh dari selisih antara tekanan *inlet* dan *outlet*. Data hasil pengukuran kemudian digunakan untuk mengevaluasi pengaruh variasi laju aliran udara dan temperatur udara masuk terhadap kinerja *cyclone separator*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Efisiensi Pengumpulan Partikel

Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi pengumpulan partikel mencapai 100% pada seluruh variasi laju aliran udara dan temperatur, yang secara sekilas menunjukkan performa pemisahan sangat baik. Namun, nilai ini belum dapat dijadikan representasi akurat kinerja aktual *cyclone separator*. Perbedaan ini terjadi karena karakteristik partikel uji tidak sesuai dengan spesifikasi desain awal yang ditujukan untuk partikel mikronik hasil *spray drying* santan kelapa. Partikel yang masuk cenderung menggumpal, berukuran besar, berminyak, dan lengket akibat kandungan lemak tinggi, sehingga lebih mudah terendapkan oleh gaya sentrifugal. Kondisi ini membuat efisiensi terlihat maksimal meskipun kemampuan pemisahan partikel halus belum teruji optimal. Sejalan dengan Cortes dan Gil, ukuran, densitas, dan sifat fisik partikel sangat mempengaruhi kinerja *cyclone* [22]. Oleh karena itu, pengujian lanjutan menggunakan partikel halus, kering, dan tidak menggumpal diperlukan untuk memperoleh evaluasi yang lebih representatif.

Selain dipengaruhi oleh sifat fisik partikel uji, capaian efisiensi juga sangat berkaitan dengan dimensi *cyclone separator* yang dihasilkan pada tahap perancangan. Dengan diameter *body* 0,11 m dan tinggi silindris 0,11 m, volume ruang siklon relatif kecil sehingga mempercepat partikel terdorong ke dinding akibat gaya sentrifugal. Tinggi konis 0,16 m mendukung terjadinya pemisahan lanjutan, karena partikel yang sudah mendekati dinding terdorong lebih jauh ke bawah menuju *outlet*.

Konfigurasi *vortex finder* sepanjang 0,088 m dengan sudut konvergen 60° juga memberikan kontribusi penting. Panjang dan bentuk *vortex finder* ini menekan *re-entrainment* sehingga partikel yang sudah terpisah tidak mudah tersedot kembali ke aliran inti. Selain itu, diameter *discharge* 0,01 m memastikan partikel yang jatuh ke bagian bawah tidak tertahan terlalu lama, sehingga mengurangi kemungkinan resuspensi.

Dengan kombinasi dimensi ini, tidak mengherankan jika pada pengujian partikel kasar dan menggumpal, efisiensi pengumpulan terlihat mencapai 100%. Namun, sesuai target desain yang difokuskan pada partikel mikronik $\pm 23 \mu\text{m}$, dimensi ini perlu diuji ulang menggunakan partikel halus untuk memastikan kemampuan pemisahan sebenarnya.

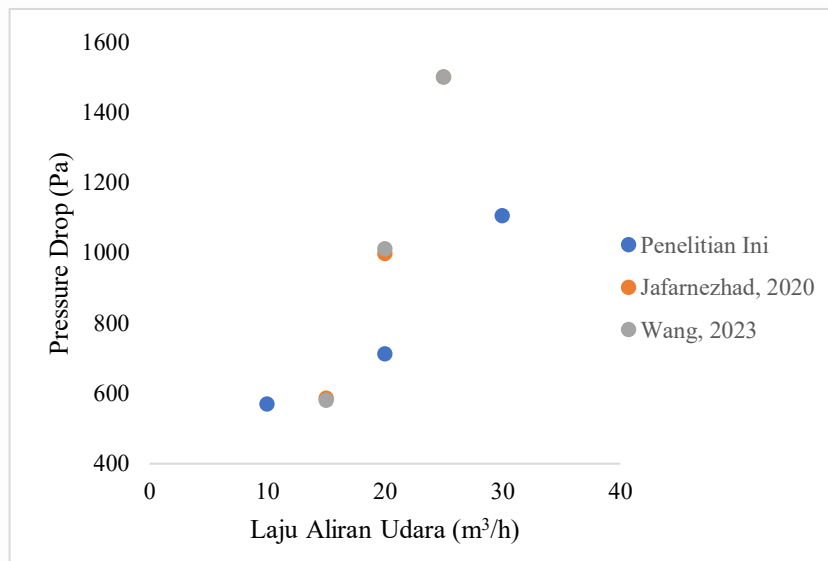
Pressure Drop

Analisis grafik menunjukkan bahwa *pressure drop* meningkat seiring bertambahnya laju aliran udara akibat peningkatan gesekan dan turbulensi [23]. Sebaliknya, peningkatan temperatur cenderung menurunkan *pressure drop* karena penurunan densitas udara pada kondisi aliran konstan [19]. Berikut ini merupakan grafik perbandingan *pressure drop* dan laju aliran udara pada temperatur 140°C :

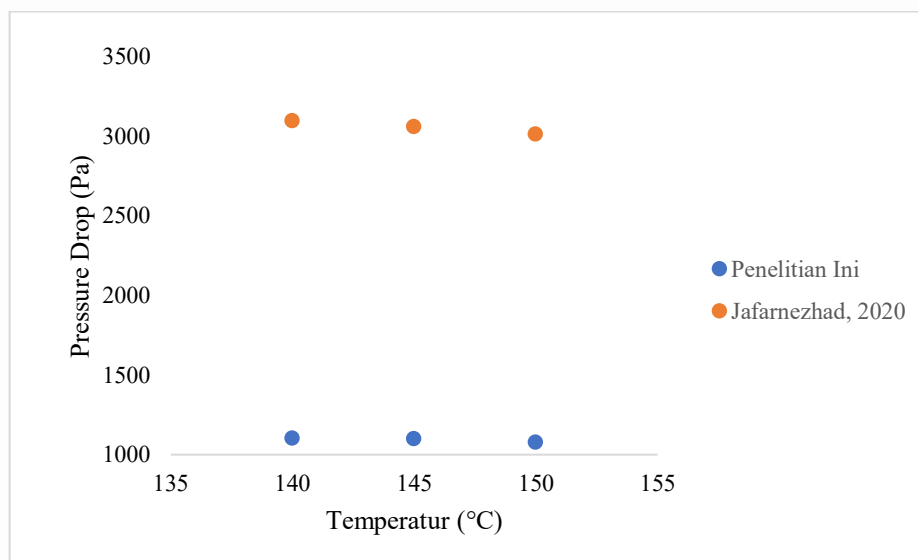
Grafik di bawah ini menunjukkan bahwa *pressure drop* cenderung menurun seiring peningkatan temperatur pada kedua penelitian. Namun, pada temperatur tinggi ($140\text{--}150^\circ\text{C}$), desain *cyclone* pada penelitian ini secara konsisten menghasilkan *pressure drop* lebih rendah dibandingkan penelitian Jafarnezhad [17]. Pada 150°C , nilai *pressure drop* hanya 1077 Pa, jauh di bawah 3012 Pa yang dilaporkan Jafarnezhad. Perbedaan ini berkaitan dengan pendekatan desain. Jafarnezhad memfokuskan pada penggunaan *Convergent Vortex Finder (CVF)* untuk meningkatkan efisiensi pemisahan partikel halus pada temperatur tinggi, yang terbukti mampu meningkatkan kecepatan tangensial hingga 2,2 kali kecepatan masuk dan efisiensi hingga 9,5% untuk partikel $2 \mu\text{m}$. Namun, geometri CVF dengan penampang sempit meningkatkan resistansi dan turbulensi, memicu lonjakan *pressure drop* serta risiko *re-entrainment*.

Sebaliknya, penelitian ini menggabungkan CVF dengan *Circumfluent Cyclone (CFC)* dan aliran tangensial, menghasilkan distribusi aliran yang lebih halus di sekitar *vortex finder*, mengurangi *shortcut flow*, dan mendorong partikel menuju dinding tanpa tertarik kembali ke aliran tengah. Kombinasi ini mampu menjaga efisiensi pemisahan sekaligus menekan *pressure drop*.

Secara umum, *pressure drop* terendah dicapai pada laju aliran udara $10 \text{ m}^3/\text{jam}$, yang menunjukkan resistansi aliran rendah dan konsumsi energi minimal. Kondisi ini juga menguntungkan dari sisi pemisahan, karena aliran yang stabil dan minim turbulensi dapat mengurangi risiko *re-entrainment* [24]. Dengan demikian, pemilihan laju alir optimal menjadi kunci untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi pemisahan dan efisiensi energi. Berikut ini merupakan grafik perbandingan *pressure drop* dan temperatur pada laju aliran udara $30 \text{ m}^3/\text{h}$:



Gambar 4. Grafik Hubungan *Pressure Drop* dan Laju Aliran Udara



Gambar 5. Grafik Hubungan *Pressure Drop* dan Temperatur

Nilai *pressure drop* yang relatif rendah pada desain ini juga erat kaitannya dengan dimensi geometri. Diameter *inlet* 0,02 m dan sudut tangensial 17° menghasilkan *swirl number* 1,64 yang cukup untuk memperkuat gaya sentrifugal, namun tidak menimbulkan resistansi berlebih. Selain itu, tinggi konis 0,16 m memberikan ruang yang cukup untuk memperhalus aliran menuju *outlet*, sehingga tekanan hilang dapat ditekan. Hal ini menunjukkan bahwa dimensi *cyclone* yang dirancang sesuai metodologi berhasil menjaga keseimbangan antara efisiensi pemisahan dan *pressure drop*.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membuat *cyclone separator* untuk proses *spray drying* santan kelapa kapasitas 1 L/jam dengan modifikasi *Circumfluent Cyclone* (CFC) dan *Convergent Vortex Finder* (CVF). Desain yang dihasilkan memiliki dimensi utama: diameter 0,11 m, tinggi silindris 0,11 m, tinggi konis 0,16 m, diameter *inlet* 0,02 m, diameter *outlet gas* 0,04 m, diameter *discharge* 0,01 m, dan panjang *finder* 0,088 m.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh partikel yang masuk ke *cyclone* berhasil tertangkap selama pengujian, sehingga secara pengamatan terlihat efisiensi pengumpulan mencapai 100% pada seluruh

variasi laju aliran udara dan temperatur. Namun, nilai ini tidak dapat secara langsung diinterpretasikan sebagai efisiensi pemisahan aktual dari cyclone separator.

Hal ini disebabkan karena karakteristik partikel uji tidak sepenuhnya sesuai dengan asumsi desain awal yang ditujukan untuk partikel mikronik sekitar $\pm 23 \mu\text{m}$ hasil proses *spray drying* santan kelapa. Partikel yang masuk ke *cyclone* cenderung menggumpal, berukuran lebih besar, berminyak, dan sebagian belum kering sempurna akibat kandungan lemak yang tinggi.

Kondisi tersebut menyebabkan partikel lebih mudah terpisahkan oleh gaya sentrifugal sehingga efisiensi yang teramati menjadi sangat tinggi.

Dengan demikian, hasil ini lebih menunjukkan bahwa desain siklon mampu beroperasi secara stabil dan efektif dalam menangani partikel kasar, namun belum dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan pemisahan partikel halus secara kuantitatif. Seperti dilaporkan oleh Cortes dan Gil [22], ukuran partikel, densitas, dan sifat fisik partikel sangat mempengaruhi performa pemisahan siklon.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik. Statistik Kelapa Indonesia 2023; BPS: Jakarta, Indonesia, 2023.
- [2] Sandra, S., Susilo, B., Alfian, R. N., & Choirunnisa, N. Pengaruh Suhu Penyimpanan Daging Buah Kelapa (*Cocos nucifera* L.) Terhadap Karakteristik Kimia Santan Kelapa. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*. 2023, 11(1), 125–134.
- [3] Duangchuen, J.; Pathaveerat, S.; Noypitak, S.; & Jermwongruttanachai, P. Effect of spray drying air temperature to the changes of properties of skimmed coconut milk powder. *Applied Science and Engineering Progress*. 2021, 14(2), 187-195.
- [4] Nugroho, L. B., Pranata, F. S., & Purwijantiningsih, L. E. Biopreservasi Santan Kelapa (*Cocos nucifera* L.) dengan Serbuk Bakteriosin dari *Lactobacillus plantarum*. *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*. 2022, 160–171.
- [5] Yulistiani, F., Nuraeni, A., Mardiah, S. A. S., Hidayatulloh, I., & Elizabeth, L. The effect of maltodextrin concentration and spray dryer drying temperature on the characteristics of coconut milk powder. *Fluida*. 2023, 16(1), 43–48.
- [6] George, S., Thomas, A., Ghodke, P. K., & Kumar, M. V. P. Optimization of spray drying for coconut milk powder using response surface methodology and investigation of the powder properties. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*. 2022, 14(4).
- [7] Fournaise, T.; Burgain, J.; Perroud, C.; Scher, J.; Gaiani, C.; Petit, J. Impact of formulation on reconstitution and flowability of spray-dried milk powders. *Powder Technology*. 2020, 372, 107–116.
- [8] Sukis, E. Y. Simulasi Pengaruh Temperatur Heater Selama Proses Pemanasan Udara sebagai Inlet pada Spray Dryer. *Jurnal CRANKSHAFT*. 2024, 7(2).
- [9] Santos, D., Mauricio, A. C., Sencadas, V., Santos, J. D., Fernandes, M. H., & Gomes, P. S. Spray drying: an overview. *Biomaterials-Physics and Chemistry-New Edition*. 2018, 9–35.
- [10] Masters, K. *Spray Drying Handbook*, 5th ed.; Longman Scientific & Technical: Essex, UK, 1985.
- [11] Iskandar, N., & Iliyas, M. Effect of Vortex Finder Addition Modification on Cyclone Separator Performance in the Rice Milling Industry. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*. 2023, 7(5), 11.
- [12] Bashir, K. Design and Fabrication of Cyclone Separator. Bachelor's Thesis, China University of Petroleum, Beijing, China, 2015.
- [13] Mao, Y., Chertovskih, R., & Cai, L. Numerical Study of the Gas–Solid Separation Performance of Axial Flow Cyclone Separators. *Inventions*. 2024, 9(2), 34.
- [14] Lim, J.-H., Park, S.-I., Lee, H.-J., Zahir, M. Z., & Yook, S.-J. Performance evaluation of a tangential cyclone separator with additional inlets on the cone section. *Powder Technology*. 2020, 359, 118–125.
- [15] Li, X., Zhang, P., Chen, G., Wang, W., & Li, J. Waste minimization and efficient disposal of particles in optimized organic silicon production. *Journal of Cleaner Production*. 2020, 242, 118445.
- [16] Zhang, P.; Duan, J.; Chen, G.; Wang, W. Numerical investigation on gas–solid flow in a circumfluent cyclone separator. *Aerosol Air Qual. Res*. 2019, 19(5), 971–980.
- [17] Jafarnezhad, A.; Salarian, H.; Kheradmand, S.; & Khaleghinia, J. Performance improvement of a cyclone separator using different shapes of vortex finder high-temperature operating condition. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 2021, 15, 1-12.

- [18] Sandarekha, K. A. S. M., Perera, G. A. A. R., Gamage, K. J., Kahandage, K. M. P., & Dilshan, N. D. T. Evaluation of potential methods to minimize solid loss during the manufacture of coconut milk powder. *Journal of Agriculture and Value Addition*. 2021, 4(1).
- [19] Çengel, Y. A., Boles, M. A. *Thermodynamics an engineering approach*, 8th ed. New York: McGraw Hill, 2015.
- [20] Hoekstra, A. J., Derksen, J. J., & Van Den Akker, H. E. A. An experimental and numerical study of turbulent swirling flow in gas cyclones. *Chemical engineering science*. 1999, 54(13-14), 2055-2065.
- [21] Wang, M., Feng, D., Wang, J., Hou, L., & Miao, E. CFD investigation on the performance of cyclone separators with divergent or convergent insertion pipes. *Processes*. 2023, 11(7), 2061.
- [22] Cortés, C., & Gil, A. Modeling the gas and particle flow inside cyclone separators. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2007, 33(5), 409–452.
- [23] Perry, R. H., & Green, D. W. *Perry's chemical engineers' handbook* (8th ed.). McGraw-Hill. 2008.
- [24] Zenz, F. A., & Othmer, D. F. *Fluidization and Fluid-Particle Systems*. Reinhold Publishing. 1960.