Jurnal Penelitian Karet, 2026, 44 (1) : 65 - 76
Indonesian J. Nat. Rubb. Res. 2025, 43 (2) : 65 - 76
DOI :10.22302/ppk.jpk.v44i1.1259

MODELASI PENGERINGAN LATEKS KARET ALAM DENGAN TEKNOLOGI PENGERINGAN SEMPROT MENGGUNAKAN ASPEN PLUS

Modeling of Natural Rubber Latex Drying Using Spray Drying Technology with Aspen Plus

Hafis Pratama Rendra GRAHA[1], Afrizal VACHLEPI[1,2], dan Akhmad Zainal ABIDIN[1], Tjocorde Walmiki SAMADHI[1]

[1]Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung, Jawa Barat

[2]Pusat Penelitian Karet, Jalan Raya Palembang – P. Balai Km 29, Banyuasin 30953 Sumatera Selatan

Email : AfrizalVachlepi@gmail.com

Diterima: November 2025 / Disetujui: Mei 2026

Abstrak

Tahapan pengolahan karet alam konvensional secara umum masih panjang dan memerlukan waktu yang lama. Proses pengeringan menjadi tahapan utama dalam proses pengolahan karet alam. Teknologi pengeringan semprot dapat menjadi solusi untuk mengurangi proses pengolahan karet alam yang panjang. Penentuan dan perancangan ruang pengering serta kondisi operasi pengeringan semprot dapat dilakukan menggunakan simulasi komputasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengkaji kondisi operasi dari proses pengeringan lateks karet alam menggunakan teknik pengeringan semprot melalui simulasi komputasi. Variabel perlakuan yang diberikan berupa laju alir umpan lateks (0,2; 0,4; 0,6; dan 0,8 kg/jam), kadar air umpan (70%, 75%, 80% dan 85%) dan suhu udara pengering (140 °C, 160 °C, 180 °C dan 200 °C). Hasil penelitian menunjukkan bahwa variabel perlakuan yang diberikan memberikan pengaruh terhadap ukuran diameter droplet, laju pengeringan, serta bobot massa, kadar air, dan temperatur produk akhir. Berdasarkan hasil simulasi komputasi diperoleh bahwa kondisi operasi terbaik yang dapat dipilih untuk proses pengeringan semprot lateks karet alam yaitu laju alir umpan maksimum 0,4 kg/jam dengan temperatur udara pengering sekitar 180 °C. Kondisi operasi ini bisa diterapkan untuk ruang (chamber) pengering dengan dimensi bagian silinder berdiameter 35 cm dan ketinggian 63 cm serta ketinggian bagian kerucut sekitar 40 cm.

Kata kunci: karet, pengeringan semprot, simulasi, Aspen plus

Abstract

Conventional processing of natural rubber is generally lengthy and time-consuming, with the drying stage representing one of the most critical operations. Spray drying technology offers a promising alternative to shorten the overall processing time. Determining and designing the drying chamber and spray drying operation conditions can be carried out using computational simulation. This study aims to evaluate and analyze the operational conditions of the natural rubber latex drying process using spray drying technology through computational simulation. The treatment variables applied include latex feed flow rate (0.2, 0.4, 0.6, and 0.8 kg/hour), feed moisture content (70%, 75%, 80%, and 85%), and drying air temperature (140°C, 160°C, 180°C, and 200°C). The results of the study demonstrate that the treatment variables affect the droplet diameter size, drying rate, as well as the mass weight, moisture content, and final product temperature. Based on the computational simulation results, the optimum operating conditions for the spray drying of natural rubber latex were identified as a maximum feed flow rate of 0.4 kg/h and a drying air temperature of approximately 180 °C. These operating conditions are suitable for a spray dryer chamber with a cylindrical section measuring 35 cm in diameter and 63 cm in height, along with a conical section approximately 40 cm in height.

Keywords: rubber, spray drying, simulation,

Aspen plus

PENDAHULUAN

Karet alam merupakan salah satu komoditi perkebunan strategis bagi Indonesia (Zuhdi & Anggraini, 2020). Produk karet alam Indonesia saat ini masih didominasi oleh karet remah yang dikenal sebagai *Standard Indonesian Rubber* (SIR) terutama jenis mutu SIR 20. Total produk karet remah Indonesia sekitar 91,6% dari total ekspor Indonesia yang mencapai 2,72 juta ton pada tahun 2022 (Badan Pusat Statistik, 2023). Bahan baku karet remah umumnya berupa bahan olah karet (bokar) lum mangkok dan sleb yang berasal dari perkebunan karet rakyat. Kedua jenis bahan olah karet ini yang paling banyak dihasilkan oleh petani.

Karet remah SIR 20 merupakan jenis mutu paling rendah di antara standar mutu karet SIR seperti yang tercantum dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 1903 : 2017 (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Pengolahan karet remah konvensional hanya bisa dilakukan dalam skala industri oleh pabrik pengolahan karet. Hal ini dikarenakan proses pengolahan karet remah memerlukan peralatan yang banyak, biaya olah yang besar dan sarana pendukung lainnya yang juga banyak sehingga diperlukan biaya investasi yang besar. Selain itu, proses pengolahan karet remah juga memerlukan waktu yang lama sekitar 14-20 hari dimulai dari perkebunan karet rakyat sampai produk karet remah siap dikirim negara ke konsumen. Teknologi pengolahan karet alam berbasis karet remah ini sudah diterapkan sejak tahun 1980-an. Tahapan proses pengolahan karet remah meliputi penggumpalan, penggilingan, penggantungan dan penngeringan.

Pengolahan karet remah yang panjang dan lama membuat biaya olah menjadi lebih tinggi. Hal ini akan berdampak pada harga beli di tingkat petani yang cenderung rendah dimana biaya olah tersebut dibebankan pada petani selaku produsen utama. Kondisi seperti ini dapat menurunkan minat petani dalam melanjutkan usaha perkebunan karetnya. Untuk itu perlu upaya mengurangi waktu proses pengolahan karet alam yang panjang menjadi lebih singkat dengan biaya olah yang relatif rendah. Salah satunya dengan memangkas tahapan proses dalam pengolahan karet alam sehingga menjadi lebih singkat. Proses pengolahan karet alam yang lebih singkat terutama berdampak pada pengurangan konsumsi bahan bakar atau listrik yang selanjutnya akan menurunkan biaya pokok produksi.

Proses utama pengolahan karet alam adalah pengeringan dengan maksud untuk memisahkan partikel karet alam (padatan) dari bahan pelarut berupa air dan bahan bukan karet lainnya. Tahapan proses lain pada pengolahan karet alam dilakukan hanya untuk memudahkan pada saat proses pengeringan. Agar proses pengolahan karet alam lebih efektif dan efisien, proses pengolahan lebih fokus pada tahapan pengeringan. Teknologi pengeringan yang dapat menghilangkan kadar air dari bahan dengan cepat menjadi solusi dalam proses pengolahan karet alam.

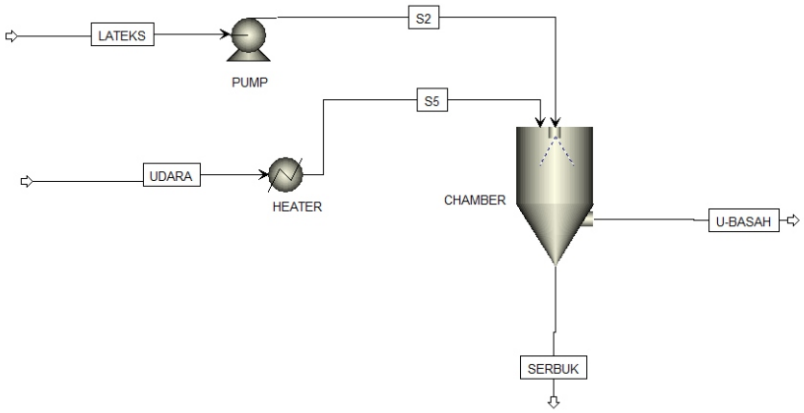
Pengeringan semprot (*spray drying*) merupakan proses untuk mengubah umpan cairan menjadi tepung kering dengan penguapan pelarut. Jika dibandingkan dengan proses penguapan lain, pengeringan semprot mempunyai keuntungan dimana produk dikeringkan tanpa banyak kehilangan zat-zat yang labil dan mudah menguap pada proses pemanasan. Oleh karena itu, pengeringan semprot merupakan proses yang digunakan secara luas dalam industri terutama industri makanan (Kieviet, 1997). Teknologi pengeringan semprot sebenarnya sudah lama dikomersialkan dalam beberapa proses pengeringan pada berbagai industri misalnya produk makanan, produk kimia, produk obat dan farmasi serta banyak lainnya (Sundararajan et al., 2023).

Dengan keunggulan tersebut, teknologi pengeringan semprot mempunyai potensi dapat diterapkan dalam pengolahan karet alam. Penelitian penerapan teknologi pengeringan semprot dapat diawali dengan perancangan alat pengeringan (*drying chamber*), sistem aliran bahan baku dan udara pengeringan serta kondisi operasi yang diperlukan (Abidin et al., 2019; Vachlepi et al., 2013; Jaiphuephae et al., 2014; Hasanachai et al., 2019 dan Tang et al., 2020). Penentuan dan perancangan ruang pengering serta kondisi operasi pengeringan semprot dapat dilakukan menggunakan simulasi komputasi dan pemodelan numerik aliran granular (Bushnaq et al., 2022; Buchholz et al., 2024) sehingga menjadi lebih efektif dan efisien.

Salah satu perangkat lunak yang banyak digunakan untuk simulasi proses adalah Aspen Plus, yang mampu memodelkan berbagai operasi perpindahan massa dan perpindahan panas dalam suatu sistem secara terintegrasi. Penggunaan Aspen Plus memungkinkan proses perancangan dan evaluasi unit pengeringan semprot dilakukan secara lebih cepat dibandingkan dengan pendekatan eksperimental, karena berbagai parameter operasi seperti laju alir umpan, kadar air bahan, suhu udara pengering, serta karakteristik produk dapat dianalisis melalui simulasi tanpa memerlukan pengujian berulang. Selain itu, perangkat lunak ini juga menyediakan berbagai model termodinamika dan unit operasi yang dapat disesuaikan dengan karakteristik proses, sehingga memudahkan optimasi desain ruang pengering dan penentuan kondisi operasi yang paling efektif sebelum dilakukan implementasi pada skala nyata. Dengan demikian, penggunaan Aspen Plus tidak hanya mengurangi waktu dan biaya pengembangan proses, tetapi juga meningkatkan akurasi dalam pengambilan keputusan pada tahap perancangan sistem pengeringan semprot.Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengkaji kondisi operasi dari proses pengeringan lateks karet alam dengan teknik pengeringan semprot melalui simulasi komputasi menggunakan perangkat lunak Aspen Plus.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Aspen Plus V14 seperti terlihat pada Gambar 1. Peralatan pengeringan semprot dirancang dengan dimensi ruang pengering (*chamber*) diameter silinder 35 cm dengan ketinggian bagian silinder 63 cm dan bagian kerucut



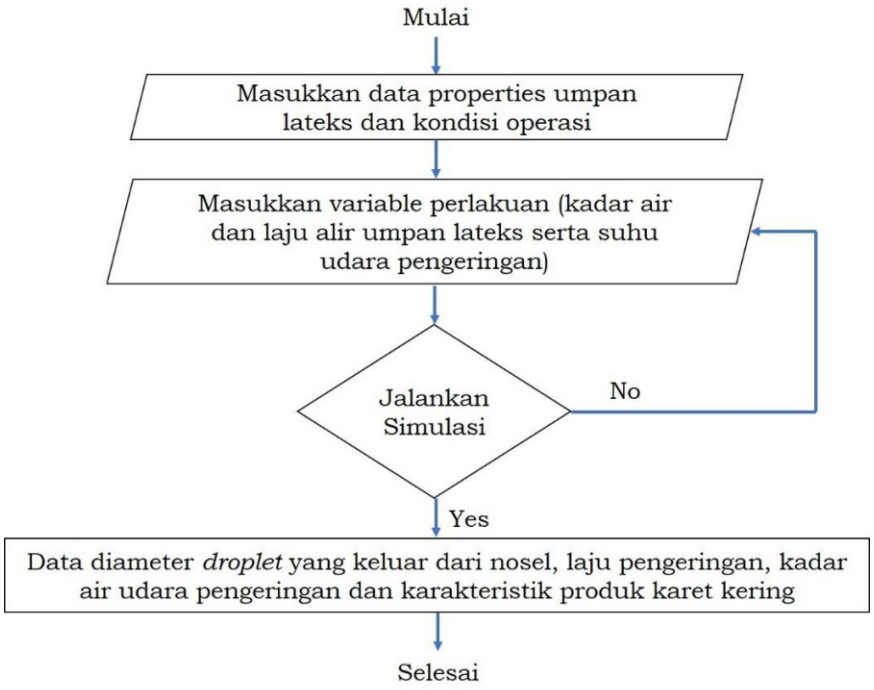
Gambar 1. Simulasi pengeringan semprot menggunakan perangkat lunak Aspen Plus

Figure 1. Spray drying simulation using Aspen Plus software

sekitar 40 cm. Nosel yang digunakan berupa nosel bertekanan dengan diameter nosel sebesar 1 mm dan sudut semprotan 35°.
Variabel perlakuan yang diberikan dalam penelitian simulasi komputasi ini terdiri dari 3 (tiga) perlakuan utama yaitu kadar air umpan lateks, laju alir umpan lateks dan suhu udara pengeringan yang masuk ke dalam sistem pengeringan semprot. Perlakuan kadar air umpan ditetapkan sebesar 70%, 75%, 80%, dan 85% (b/b). Rentang kadar air tersebut dipilih untuk merepresentasikan kondisi aktual lateks di lapangan yang memiliki kadar air mencapai 67% (Vachlepi et al., 2026). Selain itu, penggunaan kadar air umpan mulai dari 70% memberikan kemudahan dalam tahap penyiapan bahan baku karena cukup dilakukan pengenceran lateks menggunakan air hingga mencapai kadar air sesuai dengan masing-masing perlakuan. Pendekatan ini lebih sederhana dan praktis dibandingkan dengan proses pemekatan atau penyesuaian kadar air melalui metode lain.

Umpan lateks tersebut dipompa ke dalam ruang pengering dengan perlakuan

laju alir terdiri dari 0,2; 0,4; 0,6 dan 0,8 Kg/jam. Rentang suhu tersebut dipilih karena kontak antara udara pengering dan droplet lateks pada proses pengeringan semprot berlangsung dalam waktu yang sangat singkat, sehingga memungkinkan penggunaan suhu yang relatif tinggi tanpa menyebabkan kerusakan termal yang signifikan pada produk. Selain itu, rentang suhu tersebut masih berada pada batas yang aman untuk proses pengeringan karet alam. Sebagai perbandingan, proses pengeringan pada industri karet remah umumnya dilakukan pada suhu sekitar 120 °C dengan waktu tinggal yang jauh lebih lama. Oleh karena itu, penggunaan suhu udara yang lebih tinggi pada pengeringan semprot dapat dibenarkan karena diimbangi oleh waktu kontak yang sangat singkat. Diagram alir simulasi komputasi untuk proses pengeringan semprot dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir proses simulasi komputasi untuk pengeringan semprot karet alam

Figure 2. Computational simulation process flow diagram for natural rubber spray drying

Parameter pengamatan yang dievaluasi berupa diameter *droplet* yang keluar dari nosel, laju pengeringan, kadar air udara pengeringan dan karakteristik produk karet kering yang dihasilkan. Karakteristik yang diamati terdiri dari massa, kadar air dan temperatur produk akhir yang keluar dari ruang pengering. Kondisi batas simulasi proses pengeringan yang dimasukkan ke

Tabel 1. Kondisi batas simulasi proses pengeringan

Table 1. Boundary conditions of drying process simulation

Parameter	Satuan	Nilai	Sumber
Temperatur awal umpan	°C	27	-
Laju alir udara pengering	Kg/jam	10	-
Temperatur awal udara pengering	°C	27	-
Tekanan awal udara pengering	Bar	1	-
Tekanan umpan masuk	Bar	5	Filkova & Mujumdar, 1995

dalam perangkat lunak dapat dilihat pada Tabel 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diameter *droplet* umpan lateks karet alam

Dalam proses pengeringan semprot ukuran *droplet* menjadi salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan pengeringan. *Droplet* yang terbentuk memiliki peran yang sangat penting karena ukurannya memengaruhi laju penguapan dan efisiensi proses. Ukuran droplet yang kecil memungkinkan permukaan yang lebih luas untuk penguapan air atau pelarut, yang pada gilirannya dapat mempercepat pengeringan. Hubungan antara laju alir umpan dengan ukuran droplet pada berbagai variasi kadar padatan lateks ditampilkan pada Tabel 2. Diameter *droplet* ini diperoleh dari hasil simulasi komputasi menggunakan perangkat lunak Aspen Plus.

Tabel 2. Diameter *droplet* umpan lateks karet alam
Table 2. Diameter of natural rubber latex feed droplet

Laju alir umpan (Kg/jam)	Diameter *droplet* (μm)			
	70%	75%	80%	85%
0,2	12,82	12,78	12,74	12,70
0,4	16,92	16,87	16,82	16,76
0,6	19,90	19,84	19,78	19,71
0,8	22,33	22,26	22,19	22,12

Berdasarkan Tabel 2 diketahui bahwa laju alir umpan yang lebih besar cenderung menghasilkan droplet yang berukuran besar. Hal ini terlihat pada umpan dengan kadar air 70% dimana ukuran droplet akan meningkat dari 12,82 μm pada laju alir 0,2 kg/jam menjadi 16,92 μm, 19,90 μm dan 22,33 μm pada laju alir 0,4 kg/jam, 0,6 kg/jam dan 0,8 kg/jam secara berurutan. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi laju alir umpan yang disemprot ke dalam ruang pengering, maka semakin besar ukuran droplet yang akan terbentuk. Dari data tersebut diperoleh informasi adanya kecenderungan bahwa peningkatan laju alir umpan berbanding lurus dengan peningkatan ukuran diameter *droplet*.

Walaupun perbedaannya relatif kecil, kadar air umpan yang masuk ke dalam ruang pengering juga memberikan indikasi perbedaan ukuran *droplet*. Kadar air umpan yang rendah (70%) menghasilkan *droplet* berukuran yang lebih besar pada setiap laju alir umpan dibandingkan dengan umpan lateks dengan kadar air yang lebih tinggi. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Wu et al. (2014) dimana peningkatan ukuran droplet akan terjadi dengan peningkatan kadar padatan umpan atau kadar air yang rendah. Sebagai contoh pada laju alir lateks sebesar 0,2 kg/jam, diameter *droplet* umpan dengan kadar air 70% yaitu sebesar 12,82 μm, sedangkan pada kadar air umpan 85% menghasilkan *droplet* dengan diameter sebesar 12,70 μm. Teknik pengeringan semprot menggunakan atomizer atau penyemprot akan menghasilkan *droplet* dengan ukuran sekitar 10-200 μm (Guiné, 2018).

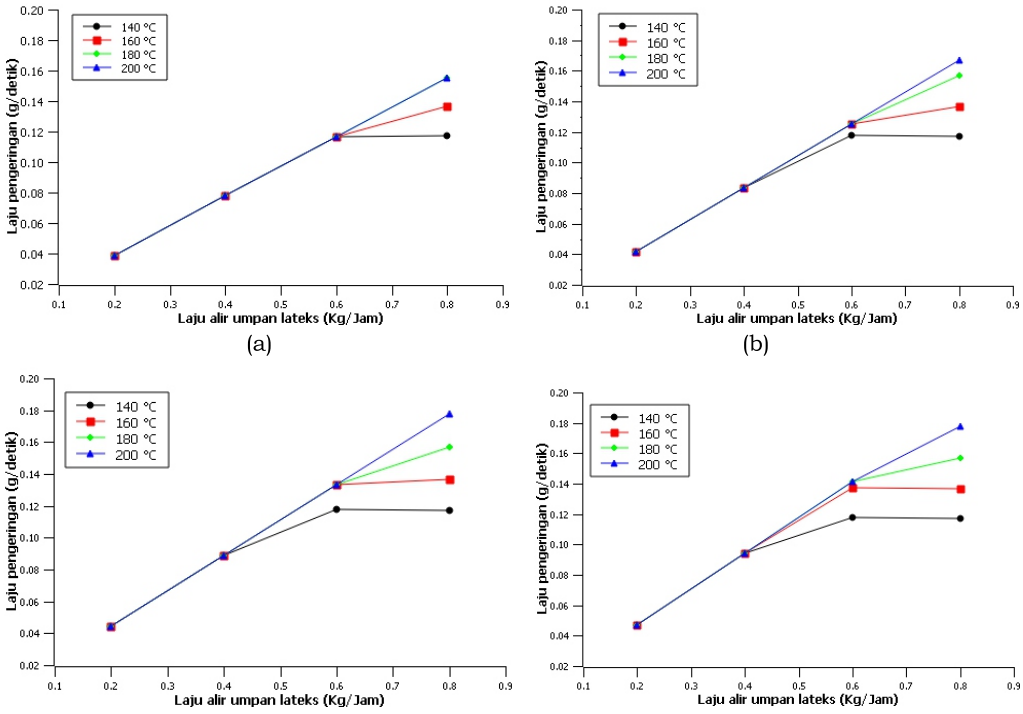
Ukuran *droplet* yang dihasilkan oleh nosel tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk laju alir dan kadar air umpan –(Berning et al., 2024). Pada laju alir yang lebih tinggi, *droplet* yang dihasilkan lebih besar (Li et al., 2024). Hal ini disebabkan oleh meningkatnya volume fluida yang keluar dari nosel (disemprotkan) dalam waktu yang lebih singkat sehingga menyebabkan *droplet* yang lebih besar. Pada pengeringan semprot, atomisasi (proses pemecahan fluida menjadi tetesan kecil) mengacu pada proses pemecahan umpan menjadi tetesan kecil yang lebih mudah menguap. Kadar air mempengaruhi viskositas cairan umpan (dalam hal ini lateks karet alam), yang pada gilirannya mempengaruhi kemampuan cairan untuk teratomisasi menjadi tetesan kecil. Lateks karet alam dengan kadar air lebih tinggi cenderung memiliki viskositas yang lebih rendah, yang memudahkan proses atomisasi dan menghasilkan droplet yang

lebih kecil. Sebaliknya, cairan dengan kadar air rendah (lebih kental) akan menghasilkan tetesan yang lebih besar.

Pada umumnya, proses atomisasi yang efektif menghasilkan tetesan dengan ukuran lebih kecil, yang meningkatkan luas permukaan untuk penguapan dan mempercepat proses pengeringan. Hal ini berarti bahwa ukuran droplet yang lebih kecil lebih efisien dalam proses pengeringan semprot, karena memiliki rasio permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan volumenya.

Laju pengeringan

Fenomena yang terjadi dalam pengeringan semprot sangat dipengaruhi oleh banyak faktor, di antaranya adalah kadar air umpan, laju alir umpan, dan ukuran droplet yang terbentuk selama atomisasi cairan serta temperatur udara pengering yang digunakan. Hubungan



Gambar 3. Laju pengeringan umpan lateks karet alam pada kadar air 70% (a), 75% (b), 80% (c) dan 85% (d)

Figure 3. Drying rate of natural rubber latex feed at water content of 70% (a), 75% (b), 80% (c) and 85% (d)

antara laju alir umpan dan temperatur udara pengering pada berbagai kadar air umpan disajikan pada Gambar 3.

Seperti terlihat pada Gambar 3, laju pengeringan umpan dipengaruhi oleh laju alir umpan yang disemprotkan ke dalam ruang pengeringan dan temperatur udara pengering yang digunakan. Laju pengeringan lebih lambat pada temperatur udara pengering yang lebih rendah (140 °C) yaitu sebesar 0,039 – 0,118 gram per detik. Pada laju alir umpan yang paling tinggi yaitu 0,8 kg/jam dan suhu yang lebih tinggi (200 °C), laju pengeringan umpan lateks terjadi lebih tinggi yaitu berkisar antara 0,155 – 0,177 gram per getik pada berbagai kadar air umpan.

Laju pengeringan yang tinggi tersebut terjadi akibat peningkatan suhu udara pengeringan (Höhne & Gaukel, 2024). Fenomena ini terjadi karena dengan suhu udara pengering yang lebih tinggi akan meningkatkan perbedaan temperatur antara *droplet* dan udara sekitar (udara pengering) dimana perbedaan tersebut akan mempercepat transisi dari fase cair menjadi fase gas. Secara termodinamika, pengeringan semprot melibatkan

perpindahan panas dari udara pengering ke *droplet* umpan lateks yang mengandung air. Ketika temperatur udara pengering lebih tinggi, perpindahan panas menjadi lebih cepat, menyebabkan penguapan air pada *droplet* menjadi lebih cepat. Difusi uap air dari droplet ke udara juga dipengaruhi oleh perbedaan temperatur tersebut.

Selain temperatur udara pengering dan laju alir umpan, kadar air umpan lateks juga memberikan pengaruh pada laju pengeringan. Peningkatan kadar air umpan lateks akan meningkatkan laju pengeringan. Peningkatan kadar air umpan menyebabkan jumlah air yang harus diuapkan lebih banyak dimana proses evaporasi akan terjadi lebih cepat sehingga laju pengeringan menjadi lebih besar (Gianfrancesco et al., 2010).

Karakteristik produk karet kering yang dihasilkan

Produk akhir dari pengolahan lateks karet menggunakan teknik pengeringan semprot adalah karet kering terutama yang berbentuk serbuk atau granula. Kadar air produk akhir yang dihasilkan dari proses pengeringan dapat dilihat pada Tabel 3. Untuk jumlah massa produk akhir (Kg/jam) ditampilkan pada Gambar 4.

Tabel 3. Kadar air produk karet kering yang dihasilkan
Table 3. Water content of the dry rubber product

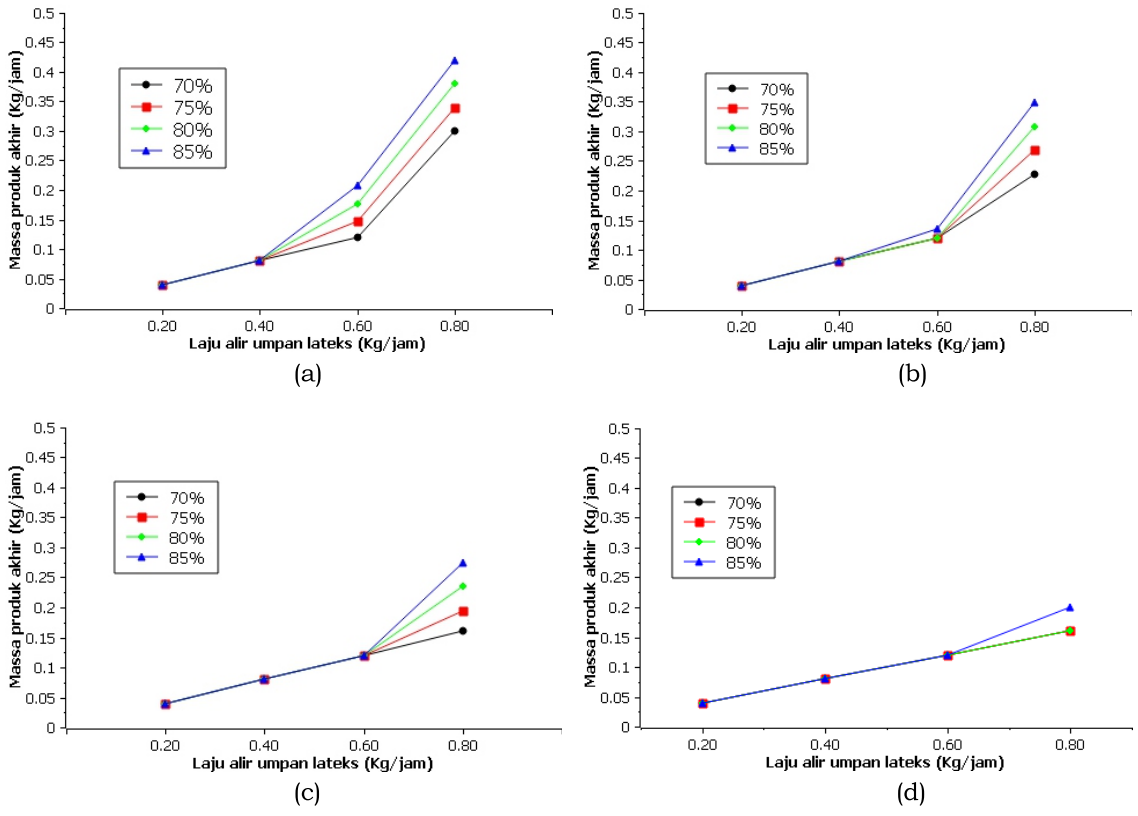
Temperatur udara pengering (°C)	Umpan (Kg/hr)	Kadar air (%)			
		70%	75%	80%	85%
140	0,2	0,09%	0,09%	0,06%	0,06%
	0,4	0,10%	0,10%	0,06%	0,06%
	0,6	0,07%	**18,19%**	**32,14%**	**42,02%**
	0,8	**46,51%**	**52,84%**	**57,83%**	**61,87%**
160	0,2	0,11%	0,11%	0,06%	0,05%
	0,4	0,12%	0,08%	0,07%	0,06%
	0,6	0,08%	0,09%	0,05%	**11,16%**
	0,8	**29,78%**	**40,32%**	**48,10%**	**54,10%**
180	0,2	0,08%	0,10%	0,06%	0,04%
	0,4	0,10%	0,08%	0,07%	0,05%
	0,6	0,04%	0,07%	0,07%	0,05%
	0,8	0,12%	**17,93%**	**31,98%**	**41,92%**
200	0,2	0,10%	0,05%	0,08%	0,05%
	0,4	0,09%	0,10%	0,08%	0,06%
	0,6	0,10%	0,07%	0,07%	0,03%
	0,8	0,11%	0,05%	0,27%	**20,28%**

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa kadar air umpan, suhu udara pengering dan laju alir umpan memberikan pengaruh yang signifkan terhadap kadar air produk akhir yang dihasilkan. Secara umum, produk karet kering yang dihasilkan dari umpan lateks dengan kadar air lebih tinggi (85%) cenderung memiliki kadar yang tinggi juga terutama untuk laju alir umpan 0,8 kg/jam. Kadar air produk akhir karet kering dengan kadar air umpan 85% dan laju alir 0,8 kg/jam berkisar antara 20,28% sampai 61,87% pada berbagai temperatur udara pengering. Angka kadar air yang ditulis dengan huruf tebal (*bold*) mengindikasikan bahwa produk akhir dengan kondisi operasi dan kondisi umpan tersebut dapat dikategorikan sebagai produk belum kering. Kadar air untuk produk akhir karet alam sekitar 0,5% (Novita et al., 2021).

Hasil simulasi komputasi ini juga menunjukkan bahwa hanya beberapa kondisi operasi yang menghasilkan produk akhir dengan kadar air rendah dan dapat

dikategorikan produk kering. Seperti terlihat pada Tabel 3, hanya umpan lateks dengan laju alir 0,2 kg per/jam sampai 0,4 kg/jam akan menghasilkan produk akhir yang kering pada berbagai kondisi kadar air umpan dan temperatur udara pengering. Kadar air produk akhir dari umpan lateks yang disemprotkan dengan laju alir 0,2 kg/jam sampai 0,4 kg/jam berkisar antara 0,04% – 0,12%. Besaran kadar air ini mengindikasikan bahwa produk akhir tersebut dapat dikategorikan sebagai produk karet kering. Hal ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa kadar air umpan mempengaruhi laju pengeringan dan tingkat kekeringan produk akhir. Umpan dengan kadar air yang lebih tinggi mengandung lebih banyak uap air, yang mempengaruhi proses pengeringan, menyebabkan kadar air produk yang lebih tinggi. Kadar air umpan akan mengalami penurunan selama proses pengeringan. (Ismiyati et al., 2018)

Selain kadar air umpan, temperatur udara pengering juga memberikan pengaruh terhadap kadar air produk karet kering. Hasil simulasi komputasi pada Tabel 2 terlihat bahwa dengan meningkatnya temperatur dari 140 °C hingga 200 °C, kadar air produk karet kering cenderung mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa temperatur udara yang lebih tinggi mempercepat proses pengeringan dan mengurangi kadar air



Gambar 4. Massa produk akhir yang dihasilkan pada temperatur udara pengering 140 °C (a), 160 °C (b), 180 °C (c) dan 200 °C (d)

Figure 4. Mass of final product at drying air temperatures of 140 °C (a), 160 °C (b), 180 °C (c) and 200 °C (d)

produk karet kering. Proses ini sesuai dengan teori bahwa suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan laju penguapan air dari material yang dikeringkan sehingga kadar air produk lebih rendah (Tonon et al., 2009).

Ketiga variabel perlakuan juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap massa produk akhir yang dihasilkan (Gambar 4). Umpan dengan kadar air dan laju alir lebih tinggi cenderung mempunyai produk akhir dengan massa yang lebih besar. Hal ini lebih terkait dengan kadar air produk akhir yang juga lebih besar. Massa produk akhir yang lebih besar disebabkan tingginya kandungan air pada produk tersebut. Produk akhir dengan bobot massa paling besar diperoleh pada perlakuan umpan berkadar air 85% dengan laju alir 0,8 kg/jam dan temperatur udara pengering 140 °C yaitu sebesar 0,4196 kg/jam. Bobot massa yang besar ini merupakan kontribusi kandungan air dalam produk akhir tersebut, yaitu sebesar 61,87%. Kondisi terjadi karena pada umpan dengan laju alir yang lebih tinggi, umpan tidak cukup lama terpapar atau kontak dengan udara panas untuk kehilangan banyak uap air apalagi temperatur udara pengeringan hanya sekitar 140 °C.

Hasil simulasi komputasi juga menunjukkan adanya interaksi yang signifikan antara ketiga variabel perlakuan, yaitu kadar air umpan, temperatur udara pengering dan laju alir umpan. Pengendalian ketiga kondisi operasi ini menjadi sangat penting dalam proses pengolahan lateks karet alam dengan teknik pengeringan semprot untuk menghasilkan produk dengan kadar air optimal.

Temperatur produk akhir

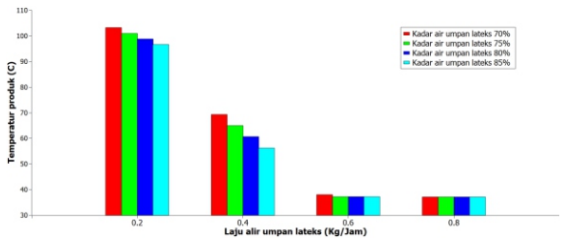
Selain bobot massa dan kadar air, produk akhir karet kering juga diukur temperaturnya. Data temperatur produk akhir pada berbagai variabel perlakuan ditampilkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 5 terlihat temperatur produk akhir mengalami penurunan seiring dengan peningkatan laju alir umpan yang masuk ke dalam ruang pengering dan peningkatan temperatur udara pengering. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Wijayanti et al. (2024). Temperatur produk terendah dihasilkan dari umpan lateks dengan laju alir 0,8 Kg/jam dengan udara pengeringan 140 °C, yaitu sekitar 37 °C pada berbagai kadar air. Fenomena ini terjadi disebabkan ketika laju alir umpan tinggi, jumlah air yang harus diuapkan selama pemanasan menjadi lebih banyak, sehingga suhu produk cenderung lebih rendah. Laju alir yang tinggi berakibat pada waktu kontak lebih singkat yang akan mengurangi waktu penyimpanan energi termal dalam produk.

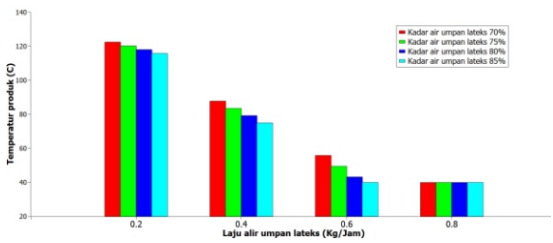
Temperatur produk tertinggi dihasilkan dari umpan lateks dengan laju alir 0,2 Kg/jam dan kadar air 70% pada temperatur udara pengering 200 °C, yaitu sebesar 160 °C. Fenomena ini dapat terjadi dikarenakan energi yang besar pada udara pengering (temperatur 200 °C), hanya sedikit digunakan untuk proses penguapan air akibat laju alir yang rendah, terlebih pada umpan dengan kadar rendah (70%). Energi yang besar tersebut hanya tersimpan di dalam produk akhir. Energi yang besar ini tercermin dari tingginya temperatur produk akhir saat keluar dari ruang pengeringan.

KESIMPULAN DAN SARAN

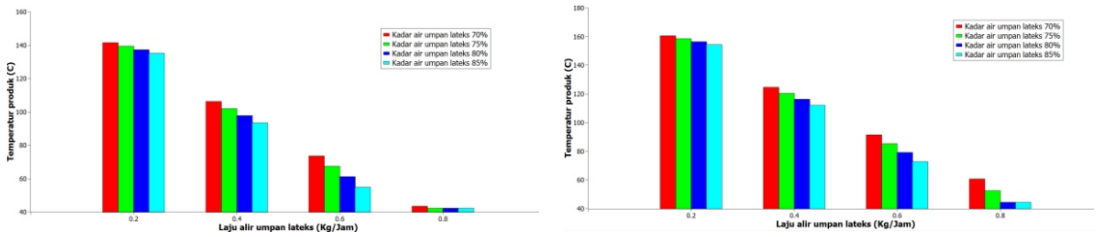
Variabel perlakuan berupa laju alir umpan, kadar air umpan dan suhu udara pengering memberikan pengaruh terhadap ukuran diameter droplet, laju pengeringan,



(a)



(b)



Gambar 5. Temperatur produk akhir karet kering pada berbagai variabel perlakuan temperatur udara pengering 140 °C (a), 160 °C (b), 180 °C (c), dan 200 °C (d)

Figure 5. Temperature of the final dry rubber product at various drying air temperature treatment variables of 140 °C (a), 160 °C (b), 180 °C (c), and 200 °C (d)

serta bobot massa, kadar air, dan temperatur produk akhir. Berdasarkan hasil simulasi komputasi diperoleh bahwa kondisi operasi terbaik yang dapat dipilih untuk proses pengeringan semprot lateks karet alam yaitu laju alir umpan maksimum 0,4 kg/jam dengan temperatur udara pengering sekitar 180 °C. Kondisi operasi ini bisa diterapkan untuk ruang (*chamber*) pengering dengan dimensi bagian silinder berdiameter 35 cm dan ketinggian 63 cm serta ketinggian bagian kerucut sekitar 40 cm.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin, A. Z., Winartha, N. R., Rahardi, I., & Trirahayu, D. A. (2019). Natural Rubber Powder Production from Latex. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 543(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012035

Badan Pusat Statistik. (2023). Stastik Karet Indonesia 2022. Badan Pusat Statistik.

Badan Standardisasi Nasional. (2017). Spesifikasi Teknis Karet Remah SNI 1903:2017. Jakarta, 1–6.

Berning, T., Sørensen, H., & Nielsen, M. P. (2024). A Computational Analysis of Heat and Mass Transfer in an Indirect Evaporative Cooler Using the Spray Dryer Model. Energies , 17(11). https://doi.org/10.3390/en17112676

Buchholz, M., Weis, D., Togni, R., Goniva, C., & Heinrich, S. (2024). Describing the Drying and Solidification Behavior of Single Suspension Droplets Using a Novel Unresolved CFD-DEM Simulation Approach. Processes, 12(3).https://doi.org/10.3390/pr12030480

Bushnaq, H., Krishnamoorthy, R., Abu-Zahra, M., Hasan, S. W., Taher, H., Alomar, S. Y., Ahmad, N., & Banat, F. (2022). Supercritical Technology-Based Date Sugar Powder Production: Process Modeling and Simulation. Processes, 10(2), 1–15. https://doi.org/10.3390/pr10020257

Filkova, I., & Mujumdar, A. . (1995). Industrial spray drying systems (Handbook o). CRC Press, Singapore.

Gianfrancesco, A., Turchiuli, C., Flick, D., & Dumoulin, E. (2010). CFD Modeling and Simulation of Maltodextrin Solutions Spray Drying to Control Stickiness. Food and Bioprocess Technology, 3(6), 946–955. https://doi.org/10.1007/s11947-010-0352-2

Guiné, R. P. F. (2018). The Drying of Foods and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties. ETP International Journal of Food Engineering, 4(2), 93–100. https://doi.org/10.18178/ijfe.4.2.93-100

Hasanachai, N., Thongruang, W., Kalkornsurapranee, E., Brenner, P., & Nuntadusit, C. (2019). Method for producing natural rubber powder from rubber latex by spray drying process. Journal of Current Science and Technology, 9(1), 49–58. https://doi.org/10.14456/jcst.2019.5

Höhne, S., & Gaukel, V. (2024). Impact of the drying rate on product properties of spray dried emulsions to enable a targeted product design. Drying Technology, 42(14), 2080–2086. https://doi.org/10.1080/07373937.2024.2306525

Ismiyati, I., Sari, F., Nugrahani, R. A., & Ramadhan, A. I. (2018). Effects of Drying Time on Yield and Moisture Content of "Sumahe" Powdered Drink Using Spray Dryer. Aceh International Journal of Science and Technology, 7(3), 144–149. https://doi.org/10.13170/aijst.7.3.9620

Jaiphuephae, T., Poochinda, K., & Poompradub, S. (2014). Yield optimization of spray-dried natural rubber and properties of its silica-filled composite. Advances in Polymer Technology, 33(4), 1–6. https://doi.org/10.1002/adv.21423

Kieviet, F. . (1997). Modelling Quality in Spray Drying. . Proefschrift-Technische Universiteit Eindhoven.

Li, X., Al-Asady, R. B., Sanders, C., & Salman, A. D. (2024). Comparing different single milk droplet drying process with spray drying process. Chemical Engineering Research and Design, 205(March), 47–56. https://doi.org/10.1016/j.cherd.2024.03.022

Novita, S.A., Hendra, Putera, P., Herdian, F., Makky, M., Fahmi, K. (2021). The Design and Building of Medium Capacity Drying House for Bokar. Journal of Applied Agricultural Science and Technologu, 5(1), 50–61.

Sundararajan, P., Moser, J., Williams, L., Chiang, T., Riordan, C., Metzger, M., Zhang-Plasket, F., Wang, F., Collins, J., & Williams, J. (2023). Driving Spray Drying towards Better Yield: Tackling a Problem That Sticks Around. Pharmaceutics, 15(8), 3–6. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15082137

Tang, S. Y., Sopanonr, P., Tanthapanichakoon, W., & Soottitantawat, A. (2020). Preparation and properties of spherical natural rubber/silica composite powders via spray drying. KONA Powder and Particle Journal, 37(37), 214–223. https://doi.org/10.14356/kona.2020009

Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2009). Influence of drying air temperature and carrier agent concentration on the physicochemical properties of açai juice powder. Ciencia e Tecnologia de Alimentos, 29(2), 444–450. https://doi.org/10.1590/s0101-20612009000200034

Vachlepi, A., Steven, S., Soekotjo, E. S. A., Pratama, H., Graha, R., Zainal, A., Walmiki, T., Ameir, A., & Setiawan, R. (2026). Development of natural rubber encapsulation technology using spray drying : A comprehensive review. Next Materials, 11(December 2025), 101592.https://doi.org/10.1016/j.nxmate.2026.101592

Vachlepi, A., Suwardin, D., & Abidin, A. Z. (2013). Simulasi Penetapan Karakteristik Pengeringan Semprot Lateks Berdasarkan Teknik Komputasi Dinamika Fluida. Jurnal Penelitian Karet, 31(1), 30. https://doi.org/10.22302/jpk.v31i1.131

Wijayanti, N., Widyaningsih, T. D., Wulan, S. N., & Rifai, M. (2024). Influence of Spray Drying Inlet Temperature on the Physical Properties and Antioxidant Activity of Black Garlic Extract Powder. Trends in Sciences, 21(2).https://doi.org/10.48048/tis.2024.7247

Wu, W. D., Liu, W., Gengenbach, T., Woo, M. W., Selomulya, C., Chen, X. D., & Weeks, M. (2014). Towards spray drying of high solids dairy liquid: Effects of feed solid content on particle structure and functionality. Journal of Food Engineering, 123, 130–135.https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.013

Zuhdi, F., & Anggraini, R. S. (2020). The Indonesian Natural Rubber Export Competitiveness in Global Market. International Journal of Agriculture System (JAS), 8(2), 130–139. https://doi.org/10.20956/ijas.v8i2.2518