

Pengaruh Laju Alir dan Suhu Udara Pengering terhadap Kualitas dan Perolehan Tepung Telur Ayam Ras dengan Pengering Semprot

Effect of Drying Air Flow Rate and Temperature on the Yield and Quality of Egg Flour of Purebred Chicken with Spray Dryer

Haryono*, Solihudin, Hersandy Dayu Kusuma

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Jl. Ir. Soekarno Km. 21 Jatinangor – Sumedang, Indonesia, 45363

* Corresponding Author: haryono@unpad.ac.id

ABSTRAK: Protein merupakan salah satu makronutrien pangan yang sangat dibutuhkan oleh tubuh manusia. Sumber protein pangan potensial dan akrab di masyarakat diantaranya adalah telur ayam, khususnya telur ayam ras. Fakta tersebut dapat diperkirakan dari total kebutuhan telur ayam ras untuk konsumsi rumah tangga di Indonesia. Pada tahun 2023, total kebutuhan telur ayam ras tersebut mencapai 1,86 juta ton. Namun demikian telur pada umumnya relatif tidak bisa tahan lama dari kerusakan nilai gizinya. Oleh karena itu diperlukan suatu usaha untuk mengolah telur menjadi produk pangan turunan agar lebih tahan lama, namun dengan tetap mempertahankan nilai gizinya. Salah satu usaha tersebut adalah mengolah telur menjadi tepung telur melalui proses pengeringan. Berbagai tipe pengering dapat dimanfaatkan untuk mengolah telur menjadi tepung telur. Pengering tipe semprot (*spray dryer*) memiliki relatif banyak keunggulan dibandingkan tipe pengering lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi optimum, meliputi laju alir dan suhu udara pengering, dalam proses pembuatan tepung telur dari telur ayam ras dengan pengering semprot. Keoptimuman kondisi pengeringan ditentukan berdasarkan kualitas dan *yield* tepung telur. Metode penelitian meliputi penyiapan telur dan alat pengering, pengeringan (pembuatan tepung telur), analisis kualitas (kadar protein dan air), dan penentuan perolehan tepung telur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum pembuatan tepung telur dengan pengering semprot dicapai pada penggunaan udara pengering pada laju alir 63,3 L/menit dan suhu 66 °C. Pada kondisi pengeringan tersebut diperoleh tepung telur dengan kadar protein 47,21%, kadar air 8,57%, dan *yield* 27,54%.

Kata kunci : ayam ras; pengering semprot; tepung telur

ABSTRACT: Protein is one of the food macronutrients that is really needed by the human body. Potential sources of food protein that are familiar to the public include chicken eggs, especially purebred chicken eggs. This fact can be estimated from the total need for purebred chicken eggs for household consumption in Indonesia. In 2023, the total need for these breeds of chicken eggs will reach 1.86 million tons. However, eggs in general are relatively unable to withstand damage to their nutritional value for long. Therefore, an effort is needed to process eggs into derivative food products so that they last longer, but still maintain their nutritional value. One of these businesses is processing eggs into egg flour through a drying process. Various types of dryers can be used to process eggs into egg flour. Spray dryers have relatively many advantages compared to other types of dryers. This research aims to determine the optimum conditions, including flow rate and drying air temperature, in the process of making egg flour from purebred chicken eggs using a spray dryer. Optimum drying conditions are determined based on the quality and yield of egg flour. Research methods include egg and dryer preparation, drying (making egg flour), quality analysis (protein and water content), and determining the yield of egg flour. The research results showed that the optimum conditions for making egg flour using a spray dryer were achieved when using drying air at a flow rate of 63.3 L/minute and a temperature of 66 °C. Under these drying conditions, egg flour was obtained with a protein content of 47.21%, a water content of 8.57%, and a yield of 27.54%.

Keywords : purebred chicken; spray dryer; egg flour

1. PENDAHULUAN

Telur, khususnya telur ayam ras, merupakan jenis komoditas peternakan yang potensial. Fakta tersebut ditunjukkan oleh peningkatan total produksi telur ayam ras di Indonesia dari 5,16 juta ton pada tahun 2021 menjadi 6,12 juta ton (Biro Pusat Statistik, 2024). Dalam hal konsumsi telur ras, pada tahun 2023, total kebutuhan telur ayam ras tersebut mencapai 1,86 juta ton (Ahdiat, 2024). Relatif tingginya konsumsi telur ayam di masyarakat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah kandungan protein dan nutrisi lainnya yang sangat baik, nilai kalori sedang (sekitar 150 kkal/100 g), fleksibilitas tinggi dalam pemanfaatan kuliner, dan harga yang relatif rendah (Miranda *et al.*, 2015). Nilai nutrisi telur sangat tinggi karena telur merupakan sumber protein yang kaya. Kualitas protein dalam telur seringkali menjadi standar untuk mengukur kualitas semua protein makanan lainnya. Telur juga mengandung asam lemak tak jenuh esensial (asam linoleat, asam oleat, dan asam lemak omega-3 berupa asam eikosapentaenoat dan asam dokosaheksaenoat), zat besi, fosfat, mineral, dan vitamin yang larut dalam lemak (Jiang *et al.*, 2023, Kusum *et al.*, 2018).

Pada sebutir telur terdiri dari sekitar 10,5-11% cangkang, 31,0% kuning telur, dan 58-58,5% sisanya adalah putih telur (Tarhan *et al.*, 2020; Miranda *et al.*, 2015). Komponen utama dari putih dan kuning telur adalah air. Putih telur mengandung

sekitar 88,0% air, dengan komponen lainnya adalah 11,0% protein, 0,2% lemak, dan 0,8% mineral. Sedangkan pada kuning telur terdiri dari 48,0% air, 17,5% protein, 32,5% lemak, dan 2,0% mineral (Yadunandan & Joseph, 2014). Komposisi dari putih dan kuning telur tersebut mengakibatkan telur relatif mudah rusak secara kimia dan biologi, diantaranya sebagai akibat penguapan air, karbondioksida, amonia, dan hidrogen sulfida dari dalam telur (Djaelani dkk., 2019). Selain itu, telur segar juga sulit diangkut karena ukurannya yang besar, rapuh, dan mudah rusak (Jay, 2000).

Telur dalam bentuk bubuk (tepung telur) memberikan solusi yang hampir lengkap untuk mengatasi masalah pada telur sebagai komoditas ekonomi. Salah satu metode pemrosesan pengawetan telur menjadi tepung telur adalah berbagai tipe pengeringan, seperti pengeringan semprot, pengeringan baki, dan pengeringan beku telah diadopsi yang berdampak pada kualitas produk (Ndife *et al.*, 2010). Pengering semprot dapat diaplikasikan untuk pengeringan bahan dengan kondisi relatif fleksibel. Bahan tersebut dapat dalam kondisi larutan, suspensi, dispersi, atau emulsi (Patel *et al.*, 2009).

Kinerja dari pengering semprot dipengaruhi oleh berbagai parameter kritis, yaitu: suhu udara pengering (masuk dan keluar pengering); viskositas, suhu, dan kadar padatan dari bahan yang akan dikeringkan; tegangan muka dan volatilitas

pelarut; dan material nozzle (Patel *et. al.*, 2009). Tujuan penelitian ini adalah menentukan kondisi optimum, meliputi laju alir dan suhu udara pengering, dalam proses pembuatan tepung telur dari telur ayam ras dengan pengering semprot. Keoptimuman kondisi pengeringan ditentukan berdasarkan kualitas dan *yield* tepung telur.

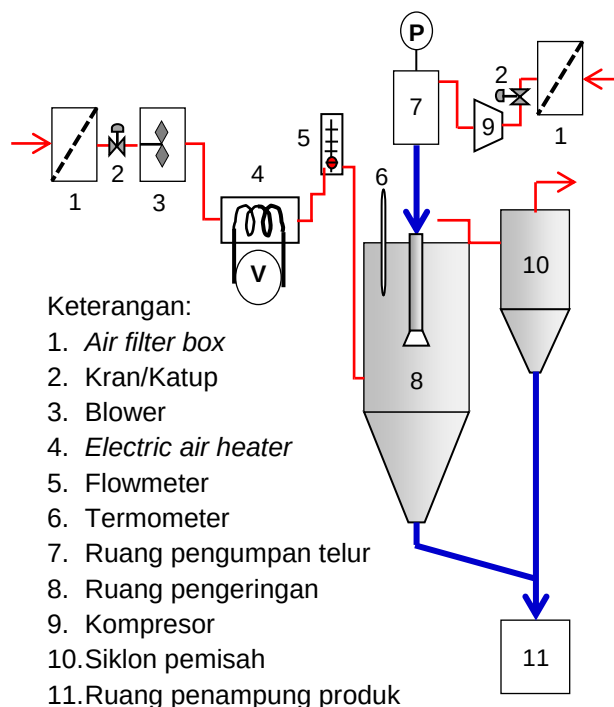
2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan eksperimen di laboratorium. Eksperimen melibatkan bahan baku berupa telur ayam ras, dan sistem alat pengering semprot. Eksperimen dilakukan untuk mempelajari pengaruh laju alir dan suhu udara pengering terhadap kualitas (kadar protein dan air) dan *yield* tepung telur yang dihasilkan.

2.1 Alat dan Bahan

Alat utama pada penelitian ini adalah sistem peralatan pengering yang terdiri dari: blower, kompresor, ruang pengumpan udara ber-filter (*filtered air feeding chamber*), pemanas udara elektrik, flowmeter, tangki penampung telur umpan dilengkapi alat pengukur tekanan (*pressure gauge*), ruang pengeringan dilengkapi nozzle tekan (diameter lubang semprot 0,3 mm), siklon, dan bejana penampung tepung telur. Rangkaian sistem alat pengering semprot ditampilkan pada Gambar 1. Peralatan lain yang digunakan adalah peralatan laboratorium pada umumnya untuk penyiapan telur dan

analisis kimia (penentuan *yield*, kadar protein, dan kadar air dari tepung telur).



Gambar 1. Rangkaian alat pengering semprot pada produksi tepung telur

Bahan yang digunakan meliputi: telur ayam ras, asam sulfat 98% (Merck), natrium hidroksida 40% (Merck), akuades, katalis tembaga (II) sulfat p.a. dan kalium hidroksida p.a. (Merck), asam khlorida 0,1 N (Merck), dan asam borak 0,1 N (Merck). Bahan lainnya untuk keperluan titrasi digunakan indikator *phenolphthalein* atau PP (Merck) dan metil merah (Merck).

2.2 Prosedur

Eksperimen dimulai dari penyiapan rangkaian alat produksi tepung telur. Bagian-bagian alat dirangkai sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Garis dengan warna merah pada Gambar 1 mewakili aliran udara (udara pengeringan dan udara tekan pendorong cairan telur sebagai

bahan baku), sedangkan aliran bahan baku (cairan telur) disimbolkan dengan garis warna biru.

Telur sebagai bahan baku, setelah dicuci, dipisahkan atau diambil bagian cairnya (putih dan kuning telur). Putih dan kuning telur diaduk agar terbentuk campuran homogen, selanjutnya disaring dengan penyaring Buchner untuk memisahkan bagian gumpalan pada campuran cairan telur tersebut sehingga tidak mengganggu ketika dialirkan melewati nozzle. Bersamaan dengan penyiapan campuran cairan telur, udara pengering disiapkan dengan cara mengaktifkan blower dan pemanas udara elektrik. Pemanas udara elektrik dilengkapi dengan regulator untuk menentukan nilai variasi suhu udara pengering yang ditargetkan. Laju alir udara pengering juga divariasikan nilainya dengan mengatur derajat bukaan kran atau katup pengatur aliran udara sebelum blower. Nilai laju alir volumetrik dari udara pengering dapat diketahui dari hasil pengukuran pada flowmeter.

Pada tahap berikutnya, campuran cairan telur sebanyak 150 mL atau setara dengan 187,5 g dimasukkan ke dalam ruang pengumpan telur. Pada saat kondisi operasi udara pengering (suhu dan laju alir) sudah mencapai nilai target, campuran cairan telur dari ruang pengumpan telur dialirkan dengan bantuan udara bertekanan yang dialirkan dari kompresor.

Proses pengeringan terhadap campuran cairan telur oleh udara

pengering pada kondisi operasi yang dipelajari, terjadi di ruang pengering. Produk tepung telur dengan ukuran lebih besar, sehingga lebih dense atau lebih berat akan bergerak turun, kemudian ditampung di ruang penampung produk. Sedangkan produk tepung telur dengan ukuran lebih kecil atau ringan akan ikut mengalir bersama udara pengering. Aliran campuran udara pengering dengan produk tepung telur ringan kemudian memasuki siklon pemisah. Dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang timbul di dalam siklon pemisah, produk tepung telur ringan akan terpisah dari udara pengering, dan selanjutnya tertampung di dalam ruang penampung produk.

Eksperimen dilakukan dengan nilai variasi suhu udara pengering sebesar 55, 60, dan 66 °C, serta dengan variasi laju alir udara pengering pada 51,7, 55,8, dan 63,3 L/menit. Nilai laju udara pengering tersebut terpantau di alat flowmeter. Ekspresimen produksi tepung telur dari setiap variasi kondisi operasi dihentikan ketika campuran cairan telur di dalam ruang pengumpan telur telah habis. Kinerja proses pembentukan produk tepung telur ditentukan berdasarkan perolehan (*yield*), kadar protein, dan kadar air. *Yield* tepung telur dihitung dengan Persamaan (1), sedangkan kadar protein ditentukan dengan metode Kjeldahl (AOAC, 2005) menurut prodesur yang telah dilakukan oleh Ispitasari & Haryanti (2022). Kadar air dianalisis dengan metode termogravimetri (AOAC, 2005).

$$Y_{TT} = \frac{W_{TT}}{W_T} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan: Y_{TT} = *yield* tepung telur, W_{TT} = massa tepung telur, W_T = massa telur umpan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Suhu dan Laju Alir Udara Pengereng terhadap Kadar Air dari Tepung Telur

Pada proses pengeringan, sejumlah tertentu air di padatan dikurangi dengan bantuan udara pengereng melalui prinsip perpindahan massa molekul air sebagai akibat perbedaan konsentrasi molekul air antara di padatan dengan di udara pengereng (McCabe *et al.*, 1993). Suhu dan laju alir udara pengereng merupakan kondisi operasi yang berpengaruh terhadap kinerja pengeringan. Pada penelitian ini, pengaruh dari kedua kondisi operasi tersebut terhadap kadar air dari tepung telur ditampilkan pada Gambar 2.

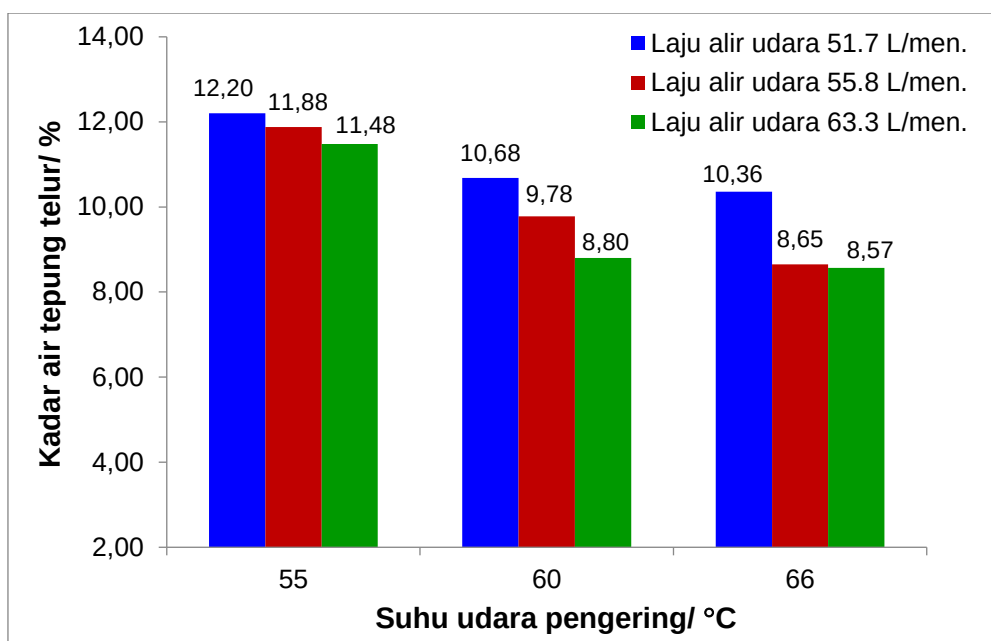
Gambar 2 menunjukkan bahwa kadar air pada produk tepung telur berbanding terbalik terhadap suhu maupun laju alir udara pengereng. Oleh karena itu, pemakaian udara pengereng pada suhu

dan laju alir terendah (55 °C dan 51,7 L/menit) pada produksi tepung telur menghasilkan tepung telur dengan kadar air tertinggi, yaitu sekitar 12,20%. Dan sebaliknya, tepung telur dengan kadar air terendah (8,57%) dihasilkan ketika pengeringan dilakukan dengan suhu dan laju alir udara pengereng paling tinggi (66 °C dan 63,3 L/menit).

Suhu udara pengereng berpengaruh terhadap nilai parameter koefisien difusi (Atkins & de Paula, 2010) sebagaimana ditunjukkan oleh persamaan Stokes-Einstein pada Persamaan (2), sedangkan koefisien perpindahan massa sebagai faktor yang berpengaruh terhadap laju perpindahan massa antar fase, berbanding lurus terhadap koefisien difusi (McCabe *et al.*, 1993).

$$D = \frac{k T}{6 \pi \eta a} \quad (2)$$

Pada Persamaan (2), simbol D , k , T , η , dan a berturut-turut adalah koefisien difusi, tetapan Boltzmann, suhu, viskositas medium difusi, dan jari-jari molekul. Sedangkan hukum Fick tentang fluks perpindahan massa menyatakan bahwa nilai fluks perpindahan massa suatu molekul berbanding lurus terhadap nilai



Gambar 2. Pengaruh suhu udara pengering pada berbagai laju alir udara pengering terhadap kadar air dari produk tepung telur

koefisien difusi dan koefisien perpindahan massa antar fase (Atkins & de Paula, 2010; Ibarz & Barbosa-Canovas, 2003; McCabe *et al.*, 1993). Oleh karena itu, pada proses pengeringan, dengan semakin tingginya suhu udara pengering akan berdampak pada semakin cepatnya fluks atau laju perpindahan massa molekul-molekul air, baik dengan mekanisme konduktif maupun konvektif (antar fase).

Variasi laju alir volumetrik udara pengering pada semua nilai variasi suhu udara pengering juga menunjukkan hubungan yang konsisten. Semakin besar laju alir volumetrik udara pengering akan mengakibatkan semakin rendahnya kadar air pada produk tepung telur. Kecenderungan tersebut terjadi diakibatkan oleh dua alasan. Pertama, laju alir volumetrik udara pengering yang semakin besar, pada suhu dan tekanan tertentu, kecepatan liniernya akan semakin

tinggi. Oleh karena itu, waktu kontak antara udara pengering dengan bahan yang dikeringkan (telur cair) akan semakin singkat. Hal tersebut berkonsekuensi pada terhindarkannya udara pengering mencapai kondisi jenuh oleh molekul-molekul air yang telah berpindah dari telur cair ke udara pengering, sehingga kondisi kesetimbangan fase pada proses perpindahan massa tidak terjadi. Dampak ikutannya adalah, dengan semakin cepatnya laju linier dari udara pengering, proses pergantian udara pengering terpakai (dengan kadar air atau kelembapan lebih tinggi) oleh udara pengering segar (dengan kadar air atau kelembapan lebih rendah) akan berlangsung lebih cepat. Peristiwa tersebut akan lebih menjamin besarnya nilai perbedaan konsentrasi molekul air antara di bagian bahan yang dikeringkan dengan di udara pengering, sehingga laju

perpindahan massa molekul air akan semakin cepat. Alasan kedua, laju volumetrik udara pengering yang semakin besar, pada suhu dan tekanan tertentu, akan menyebabkan laju alir massa udara pengering juga semakin besar. Pada laju alir massa udara semakin besar tersebut, kapasitas atau kemampuan udara pengering sebagai medium penerima atau penampung molekul-molekul air dari bahan yang dikeringkan akan semakin meningkat. Peristiwa tersebut dapat direpresentasikan oleh Persamaan (3) berikut (McCabe *et al.*, 1993):

$$\dot{m}_v = \dot{m}_g (\mathcal{H}_e - \mathcal{H}_i) \quad (3)$$

Berdasarkan Persamaan (3), laju massa udara pengering ($\dot{m}_g$) yang semakin besar dengan kelembaban udara masuk pengering ($\mathcal{H}_i$) bernilai tertentu, akan menyebabkan laju massa air meninggalkan bahan yang dikeringkan ($\dot{m}_v$) semakin meningkat.

Pada penelitian ini ditetapkan, produksi tepung telur pada laju alir udara pengering yang menghasilkan produk tepung dengan kadar air terendah, akan diverifikasi lanjut pengaruh variasi suhunya terhadap kandungan protein pada produk tepung telur. Oleh karena itu pengaruh variasi suhu pengering terhadap kadar protein pada produk tepung telur dipelajari pada laju alir udara pengering sebesar 63,3 L/menit.

3.2 Pengaruh Suhu Udara Pengering (pada Laju Alir Udara Pengering

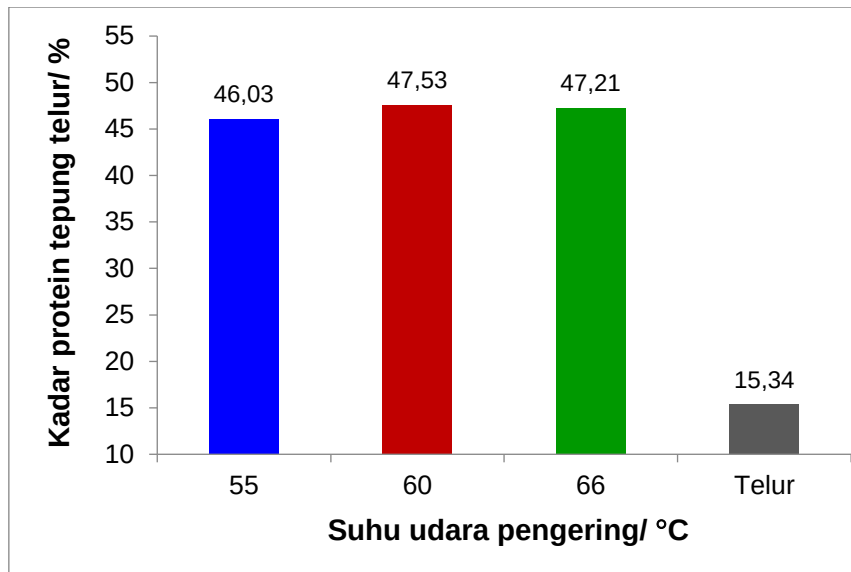
63,3 L/menit) terhadap Kadar Protein dari Tepung Telur

r

Protein, termasuk protein dari telur dapat rusak dengan mekanisme terdenaturasi oleh paparan panas (Tarhan *et al.*, 2020). Oleh karena itu pada penelitian ini dipelajari pengaruh suhu udara pengering terhadap kadar protein dari tepung telur yang dihasilkan. Hasil penelitian ditampilkan pada Gambar 3.

Data penelitian pada Gambar 3, secara umum proses pengeringan terhadap campuran cair telur (bahan baku) mengakibatkan peningkatan kadar protein, dari 15,34% menjadi 46,03–47,53%. Peningkatan kadar protein tersebut sebagai akibat perubahan komposisi kadar air. Dengan berkurangnya kandungan air dari cairan telur sebagai bahan baku setelah pengeringan, akan menyebabkan kadar komponen lain yang bersifat non volatil (tidak ikut menguap bersama air, kemudian meninggalkan cairan telur) akan meningkat.

Peningkatan suhu udara pengering dari 55 menjadi 60 °C, berdasarkan hasil penelitian ini, berdampak pada peningkatan kadar protein dari tepung telur. Namun penggunaan udara pengering pada suhu 66 °C justru mengakibatkan penurunan kadar protein. Fakta tersebut mengindikasikan bahwa pengeringan terhadap cairan telur dengan



Gambar 3. Hubungan antara suhu pengering dengan kadar protein dari tepung telur (kadar protein pada putih dan kuning telur umpan 15,34%)

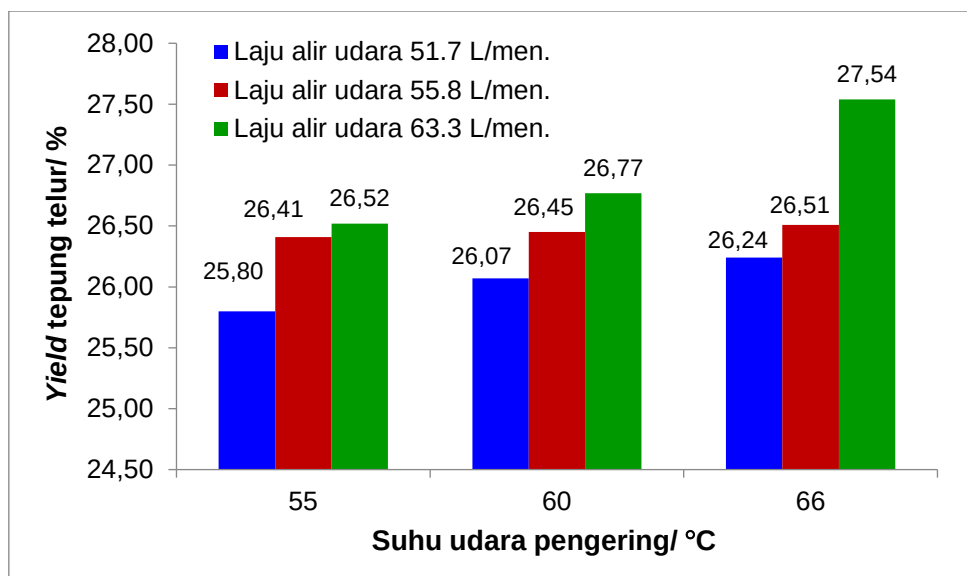
udara pengering pada suhu 66 °C telah mulai terjadi kerusakan atau degradasi protein dari telur. Peneliti lainnya melaporkan hasil yang bersesuaian. Tarhan *et al.* (2020) melaporkan bahwa degradasi termal terhadap protein dari telur mengalami peningkatan ketika telur terpapar panas dalam waktu semakin lama dan suhu semakin tinggi.

Penentuan kondisi operasi optimal dari proses produksi tepung telur pada penelitian ini tidak hanya didasarkan pada kadar protein dan air dari tepung telur sebagai perwakilan parameter kualitas produk, namun juga didasarkan pula terhadap pertimbangan kuantitas produk, dalam hal ini diwakili oleh parameter *yield* tepung telur. Terkait dengan standar kualitas tepung telur, terdapat acuan dalam versi standar kualitas tepung putih telur. Standar kualitas tepung putih telur diuraikan pada SNI-01-4323-1996. Untuk

standar kualitas berdasarkan parameter kadar air dan protein, SNI-01-4323-1996 mensyaratkan tepung putih telur memiliki kadar air maksimal sebesar 8%, dan dengan kadar protein minimal sebanyak 75%. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian ini, kadar air maupun kadar protein dari tepung telur yang dihasilkan penelitian belum mencapai standar kualitas menurut SNI-01-4323-1996.

3.3 Pengaruh Suhu dan Laju Alir Udara Pengering terhadap *Yield* Tepung Telur

Proses pengeringan sebagai tahap utama pembentukan tepung telur dari cairan telur mengakibatkan sejumlah komponen penyusun telur, terutama air, meninggalkan cairan telur. Oleh karena itu akan terjadi penurunan massa telur secara signifikan. Pengaruh variasi suhu dan laju alir udara pengering terhadap



Gambar 4. *Yield* tepung telur pada berbagai variasi suhu dan laju alir udara pengering

perubahan massa telur, dari bahan baku menjadi produk, dan *yield* tepung telur ditampilkan pada Tabel 1 dan Gambar 4.

Tabel 1. Perubahan massa telur dan *yield* tepung telur pada variasi suhu dan laju alir udara pengering

V_U / L/men.	T_U / °C	W_T / g	W_{TT} g	Y_{TT} / %
51,5	55		9,656	25,80
	60		9,757	26,07
	66		9,821	26,24
55,7	55	187,5	9,884	26,41
	60		9,899	26,45
	66		9,923	26,51
63,3	55		9,925	26,52
	60		10,021	26,77
	66		10,307	27,54

Keterangan:

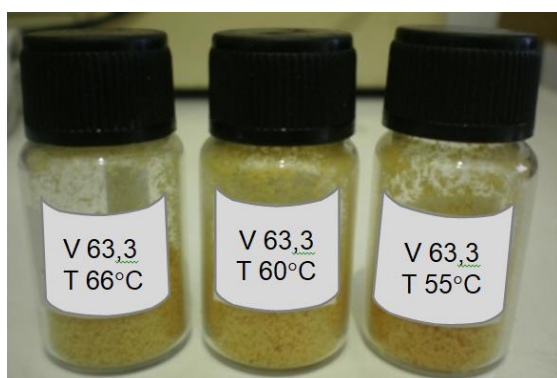
V_U = laju alir udara pengering, T_U = suhu udara pengering, W_T = massa telur umpan, W_{TT} = massa tepung telur, Y_{TT} = *yield* tepung telur

Hasil penelitian pada Tabel 1 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa *yield* tepung telur tertinggi dicapai ketika pengeringan terhadap telur umpan dilakukan pada suhu dan laju alir udara

kering pada 66 °C dan 63,3 L/menit, yaitu dengan *yield* tepung telur sebesar 27,54%. Nilai *yield* tepung telur tersebut lebih tinggi jika dibandingkan hasil penelitian Hayuningtyas *et al.* (2022), yaitu sebesar 24,28%, dengan kadar air dan protein berturut-turut sebesar 2,87 dan 46,62%. Namun pengeringan pada penelitian Hayuningtyas *et al.* tersebut menggunakan pengering tipe *tray dryer* dengan oven pada suhu 60 °C. Dengan demikian, jika didasarkan pada kadar protein, tepung telur dari hasil penelitian ini secara umum memiliki kadar protein lebih tinggi.

Data hasil penelitian terkait dengan perbandingan kadar protein, kadar air, dan *yield* tepung telur yang dihasilkan, menunjukkan bahwa terdapat perbedaan relatif tidak signifikan dalam hal kadar protein yang dihasilkan dari pengeringan pada suhu 60 dan 66 °C dengan laju alir

udara pengering sebesar 63,3 L/menit. Namun jika ditinjau dari parameter kadar air dan *yield* tepung telur terdapat perbedaan relatif signifikan, dimana pengeringan pada 66 °C dengan laju alir udara pengering 63,3 L/menit menghasilkan kinerja pengeringan lebih baik. Oleh karena itu, pada penelitian ini, kondisi pengeringan dengan pengering semprot dalam menghasilkan tepung telur pada suhu dan laju alir udara pengering sebesar 66 °C dan 63,3 L/menit ditetapkan sebagai kondisi operasi optimal. Tampilan fisik dari tepung telur, sebagai contoh produk, pada laju air udara pengering sebesar 63,3 L/menit ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan fisik dari contoh produk tepung telur

KESIMPULAN

Nilai suhu dan laju alir udara pengering yang digunakan pada pengeringan dalam proses produksi tepung telur dengan pengering semprot berpengaruh terhadap kadar air, kadar protein, dan *yield* dari tepung telur yang dihasilkan.

Udara pengering pada suhu 66 °C dan laju alir 63,3 L/menit merupakan kondisi optimum pengeringan. Pada kondisi pengeringan tersebut diperoleh tepung telur dengan kadar protein 47,21%, kadar air 8,57%, dan *yied* tepung telur sebanyak 27,54%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahdiat, A. (2024). Konsumsi Telur Ayam Ras per Kapita Masyarakat Indonesia (2019-2023). Tersedia di: <https://databoks.katadata.co.id/demografi/statistik/ac0c9a9d60931d8/konsumsi-telur-ayam-per-kapita-indonesia-berkurang-pada-2023>. Diakses pada tanggal 13 Desember 2024.
- AOAC (2005). Official methods of analysis the Association of Analytical Chemist. Virginia, USA. Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- Atkins, P. & de Paula, J. (2010). Physical Chemistry 9th Edition. W. H. Freeman and Company, New York, USA.
- Biro Pusat Statistik (2024). Produksi Telur Ayam Petelur menurut Provinsi (Ton), 2021-2023. Tersedia di: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NDkxlzl=/produksi-telur-ayam-petelur-menurut-provinsi.html>. Diakses pada tanggal 13 Desember 2024.
- Djaelani, M. A., Novika, Z., & Azizah, N. (2019). Pengaruh pencucian, pembungkusan dan penyimpanan suhu rendah terhadap kualitas telur ayam ras (*Gallus L.*). *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 4(1), 29–34.
- Hayuningtyas, M., Nurjannah, R., Ilham, & Winarti, C. (2022). Effect of dryer type on the characteristics of egg flour from frozen eggs. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1024(012047), 1–6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1024/1/012047>

- Ibarz, A. & Barbosa-Canovas, G. V. (2003). Unit Operations in Food Engineering. CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA.
- Ispitasari, R. & Haryanti (2022). Pengaruh waktu destilasi terhadap ketepatan uji protein kasar pada metode Kjeldahl dalam bahan pakan ternak berprotein tinggi. *Indonesian Journal of Laboratory*, 5(1), 39–43.
- Jay, M. J. (2000). Modern Food Microbiology, 6th edition. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland.
- Jiang, C., Chen, R., Shi, X., Zhuang, L., Zhou, C., Zhou, W., Li, J., Xu, G., & Zheng, J. (2023). Effects of breeds on the content of functional nutrition in eggs. *Animals*, 13(3066), 1–16. <https://doi.org/10.3390/ani13193066>
- Kusum, M., Verma, R. C., Renu, M., Jain, H. K., & Deepak, S. (2018). A review: Chemical composition and utilization of egg. *International Journal of Chemical Studies*, 6(3), 3186–3189.
- McCabe, W. L., Smith, J. C., Harriott, P. (1993). Unit Operations of Chemical Engineering, 5th Edition. McGraw-Hill, Inc., New York, USA.
- Miranda, J. M., Anton, X., Redondo-Valbuena, C., Roca-Saavedra, P., Rodriguez, J. A., Lamas, A., Franco, C. M., & Cepeda, A. (2015). Egg and egg-derived foods: Effects on human health and use as functional foods. *Nutrients*, 7, 706–729. <https://doi.org/10.3390/nu7010706>
- Ndife, J., Udobi, Ejikeme, C., & Amaechi, N. (2010). Effect of oven drying on the functional and nutritional properties of whole egg and its components. *African Journal of Food Science*, 4(5), 254–257.
- Patel, R. P., Patel, M. P., & Suthar, A. M. (2009). Spray drying technology: an overview. *Indian Journal of Science and Technology*, 2(10), 44–47.
- Tarhan, O., Gozler, M., Yavus, R. C., Simsek, M. (2020). Effect of heat treatment on protein fraction of edible poultry eggs. *Akademik Gida*, 18(3), 233–240.
- Yadunandan, L. D. & Joseph, M. L. (2014). Food Texture Design and Optimization. John Wiley & Sons, Ltd and the Institute of Food Technologists, Chicago.