

EVALUASI EFEKTIVITAS *FREEZE-DRYING* DAN *TRAY-DEHYDRATING* TERHADAP KUALITAS SAYUR INSTAN KERING

Evaluation Of Freeze-Drying And Tray-Dehydrating Effectivity On Instant Dried Vegetables Quality

Phylea Holy, Masdiana Chendrakasi Padaga, Oki Krisbianto*

Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Kuliner, Teknologi Pangan, dan Pariwisata, Universitas
Ciputra Surabaya

*email: oki.krisbianto@ciputra.ac.id

ABSTRAK

Perubahan gaya hidup dinamis meningkatkan permintaan masyarakat akan produk pangan instan, tetapi ketersediaan produk instan bergizi masih terbatas. Oleh karena itu, sayuran instan dikembangkan sebagai alternatif pangan instan yang lebih sehat sekaligus untuk memperpanjang umur simpan sayuran segar tanpa memengaruhi kualitas nutrisionalnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh metode pengeringan (*freeze-drying*/FD dan *tray-dehydrating*/TD), jenis sampel (wortel, jagung muda, dan jamur kancing), serta interaksi antara kedua faktor tersebut terhadap kualitas produk sayuran instan. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air dan aktivitas air (kualitas pasar), laju rehidrasi dan *water holding capacity* (kualitas masak), serta warna, tekstur, dan tingkat penerimaan konsumen (kualitas makan). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pengeringan dan jenis sampel berpengaruh nyata terhadap kualitas pangan pada setiap parameter, serta terdapat interaksi antara kedua faktor. Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan metode FD memiliki laju rehidrasi dan nilai WHC yang tinggi, warna yang mendekati kondisi segar, serta tekstur setelah rehidrasi yang baik. Sementara itu, metode TD menghasilkan kadar air dan aktivitas air yang rendah, tetapi menyebabkan perubahan warna dan pengerasan tekstur yang lebih besar akibat kerusakan struktur jaringan selama proses pengeringan. Interaksi antara metode pengeringan dan jenis sampel mengindikasikan bahwa setiap jenis sayuran memberikan respons yang berbeda terhadap metode pengeringan yang digunakan, sehingga pemilihan metode pengeringan perlu mempertimbangkan sifat bahan serta karakteristik mutu yang ingin dicapai.

Kata kunci: produk instan, sayur instan, pengeringan beku, pengeringan tray, kualitas pangan.

ABSTRACT

The increasing pace of modern lifestyles has driven the demand for instant food products, however, nutritious instant foods are still very limited. Therefore, instant vegetables are being developed as a healthier alternative while extending the shelf life of fresh vegetables without substantially compromising their nutritional quality. This study evaluated the effects of drying methods (freeze-drying and tray-dehydrating) and vegetables (carrot, baby corn, and mushroom), as well as the interaction of both factors on the quality of instant vegetable product. Parameters analyzed included moisture content, water activity, rehydration rate, water holding capacity, color, texture, and consumer acceptability. The results showed that drying method, vegetable type, and their interaction significantly affected all quality parameters. Overall, FD produced vegetables with higher rehydration rate and water holding capacity, color closer to the fresh state, and better texture after rehydration. In contrast, TD resulted in lower moisture content and water activity but caused greater color degradation and texture hardening. The significant interaction indicates that each vegetable responded differently to the drying methods applied. Therefore, the selection of an appropriate drying method should take into account the characteristics of the material as well as the desired quality attributes of the final product.

Keyword: instant food, freeze-drying, tray dehydrating, food quality

PENDAHULUAN

Perubahan gaya hidup modern yang serba cepat mendorong masyarakat untuk mencari solusi praktis dalam memenuhi kebutuhan keseharian mereka, termasuk kebutuhan pangan. Kondisi ini meningkatkan permintaan terhadap produk pangan instan yang mudah disiapkan dan dikonsumsi. Namun, sebagian besar produk pangan instan yang tersedia di pasaran merupakan pangan ultra-proses dengan kandungan lemak, gula, dan garam yang cenderung tinggi, tetapi kandungan vitamin, mineral, dan serat yang relatif rendah (Silva dkk., 2024; Rachnakumari, 2023). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan produk pangan instan yang tidak hanya praktis, tetapi juga memiliki kualitas gizi yang baik.

Sayuran merupakan sumber vitamin, mineral, serat, dan berbagai senyawa bioaktif yang penting bagi kesehatan, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai alternatif pangan instan yang lebih sehat. Akan tetapi, pemanfaatan sayuran sebagai produk instan masih menghadapi tantangan berupa umur simpan yang pendek akibat tingginya kadar air dan aktivitas metabolisme pascapanen. Karakteristik tersebut menyebabkan sayuran rentan mengalami penurunan mutu selama penyimpanan dan distribusi, yang pada akhirnya dapat memengaruhi ketersediaan dan tingkat konsumsinya oleh masyarakat (Pokhrel, 2020). Strategi yang selama ini diterapkan untuk mempertahankan kualitas dan mutu sayuran segar adalah dengan penyimpanan dingin. Namun, strategi ini hanya dapat

mempertahankan kualitas sayur selama beberapa hari sehingga kurang efektif untuk pengaplikasian lebih luas (Eriyatno dkk., 2024). Melihat permasalahan ini, dibutuhkan upaya dan pendekatan baru untuk memperpanjang umur simpan sayur segar sekaligus mendorong peningkatan konsumsi sayur di Indonesia, yaitu dengan menyediakan produk sayuran instan yang awet dan praktis.

Pengeringan menggunakan teknologi *freeze-dry* dan *dehydrator* merupakan teknik memperpanjang umur simpan sayur dengan pengurangan kadar air hingga mencapai tingkat yang mampu menghambat aktivitas mikroba tanpa memengaruhi kualitas nutrisinya (Xu *et al.*, 2020; Al-Maiman *et al.*, 2021). Beberapa penelitian terdahulu menyebut *freeze drying* (FD) sebagai teknik yang mampu mempertahankan struktur jaringan serta karakteristik produk yang sensitif terhadap panas, sedangkan teknik *tray dehydrating* (TD) merupakan metode yang lebih sederhana dan ekonomis tetapi juga efektif dalam mempertahankan umur simpan produk (Pasten *et al.*, 2024; Aravindakshan *et al.*, 2021). Sebagai contoh, penelitian oleh Jakubczyk dan Jaskulska (2021) mengenai stabilitas penyimpanan sup berbahan dasar sayur timun, tomat, bit, dan labu yang dikeringkan dengan metode *freeze drying* (FD) mendapatkan hasil bahwa warna, tekstur, konsistensi, dan aroma produk tersebut tidak berubah signifikan setelah pengeringan. Selain itu pengeringan FD berhasil menurunkan kandungan air sup dari sekitar 89,5 hingga 93,7% menjadi 2 hingga 3%, yang

tergolong stabil untuk penyimpanan jangka panjang.

Penelitian oleh Al Maiman *et al.* (2021) terhadap tomat dengan pengeringan *dehydrating* membuktikan bahwa metode pengeringan tersebut efektif dalam menurunkan kadar air tomat hingga mencapai nilai 0,31, sehingga mampu menjaga kestabilan fisik dan kualitas mikrobial tomat kering selama enam bulan. Penelitian ini juga membuktikan bahwa pengeringan *dehydrating* mampu menjaga komponen bioaktif tomat, tetapi menyebabkan perubahan fisik dan visual yang signifikan pada tomat.

Meskipun berbagai penelitian telah membandingkan metode pengeringan terhadap karakteristik fisik dan kimia produk setelah pengeringan, masih belum terdapat analisis yang mengaitkan proses pengeringan dengan kualitas masak, kualitas makan dan kualitas pasar yang dapat menunjukkan kemudahan pengolahan sayur instan, kepuasan sensorik konsumen, serta kelayakan produk untuk dipasarkan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh pengeringan *FD* dan *TD* terhadap karakteristik fisik, laju rehidrasi, kapasitas penahanan air (WHC), serta penerimaan sensoris sayuran instan yang dibuat dari wortel, jagung muda, dan jamur kancing.

METODOLOGI PENELITIAN

Pemilihan Bahan Baku dan Pre-Treatment

Sampel sayur wortel, jagung muda, dan jamur kancing didapat dari Pasar Tandes, Surabaya. Masing-masing sampel ditimbang

seberat 1000 gram dan dicuci bersih menggunakan air keran mengalir sebelum ditiriskan dan diletakkan dalam wadah mangkok bersih. Sampel dipotong diagonal dengan ketebalan seragam (3mm) menggunakan mesin pemotong sayur (Benriner No. 64, Benriner Co., Ltd., Japan). Sampel diletakkan diblansir kukus pada suhu 100°C selama tiga menit, diangkat, dan segera didinginkan dalam air es selama satu menit sebelum ditiriskan (Yao dan Fan, 2023). Sampel dibagi menjadi dua, sebanyak 500 gram dibekukan dalam *freezer* bersuhu -4°C selama 24 jam untuk persiapan *FD* dan sisanya disimpan dalam wadah bersih kedap udara untuk pengeringan menggunakan *dehydrator*.

Pengeringan *Freeze-drying*

Sampel sayuran beku diletakkan dalam instrumen *freeze-dryer* (Alpha 25 1-2 LDplus, Christ, Jerman) dengan tekanan 0,03 bar, suhu kondensor -60 °C dan suhu wadah 20 °C, selama 24 jam (Cambero *et al.*, 2023). Hasil sampel kering disimpan dalam wadah kedap udara dengan *oxygen absorber* dan *moisture absorber* untuk mencegah kerusakan sampel dari faktor eksternal.

Pengeringan *Dehydrating*

Sampel diletakkan pada *tray dehydrator* dan dikeringkan dalam instrumen *dehydrator* (FD-10, GETRA, China) dengan suhu 60°C selama 8 jam. Metode diadaptasi dari Spagnuolo *et al.* (2023). Hasil sampel kering diletakkan dalam wadah kedap udara dengan *oxygen absorber* dan *moisture absorber*, untuk mencegah kerusakan sampel dari faktor eksternal.

Analisis Tekstur

Pengujian tekstur dilakukan dengan mengukur tingkat kekerasan menggunakan *texture analyzer* (BK-AW1, BIOBASE Group, China) untuk tingkat kekerasan masing-masing sampel dari dua perlakuan pengeringan. Pengujian tekstur dilakukan menggunakan *probe* silinder P-35. Metode diadaptasi dari Cambero *et al.* (2023).

Analisis Warna

Pengujian warna produk dilakukan menggunakan alat *Colorimeter* (CHN SpecCS-10, China). *Colorimeter* dikalibrasi dan sampel diletakkan pada kotak putih untuk mencegah bias warna. Pengukuran dilakukan pada permukaan bahan di tiga titik berbeda (Mu'Tamar, Fakhry, & Ulya, 2021). Nilai perbedaan total warna dihitung menggunakan kalkulator *chroma checker* yang dapat diakses melalui situs chromachecker.com/other_tools/en/lab_calc.

Analisis Kadar Air

Analisis kadar air di adaptasi dari metode Nurhidayati dkk. (2021) dan dilakukan menggunakan alat *Moisture Analyzer* (MOC63u, Shimadzu Corporation, Jepang). Sampel utuh ditimbang seberat 1 gram, kemudian dimasukkan ke dalam alat *moisture analyzer* hingga alat berbunyi dan menampilkan nilai kadar air.

Analisis Aktivitas Air

Analisis aktivitas air di adaptasi dari metode oleh Ratnawati dkk. (2021) dan dilakukan menggunakan alat *Smart Water* (BK-AW1, BIOBASE Group, China). Sampel utuh ditimbang sebanyak 1 gram kemudian dimasukkan ke

dalam alat tersebut hingga alat berbunyi dan menampilkan nilai aktivitas air.

Analisis Laju Rehidrasi

Metode uji laju rehidrasi diadaptasi dari prosedur oleh Hu dkk. (2021). Uji laju rehidrasi dilakukan untuk mengukur seberapa cepat air diserap oleh bahan kering dalam waktu singkat (15 menit) untuk produk makanan instan. Hasil yang didapat berupa nilai R, yang dihitung berdasarkan rumus

$$R = \frac{M_1 - M_0}{(M^0 \times \%Kadar\ air) \times 15}$$

dengan keterangan:

R = Laju rehidrasi (g·g⁻¹·min⁻¹)

M₀ = Berat awal sampel kering (g)

M₁ = Berat bahan setelah rehidrasi 15 menit (g)

% Kadar Air = Kadar air awal bahan, disesuaikan dengan jenis bahan

15 = Lama waktu rehidrasi (menit)

Analisis Water Holding Capacity

Metode uji *water holding capacity* (WHC) diadaptasi dari prosedur oleh Hu dkk. (2021) untuk mengukur kemampuan bahan dalam mempertahankan air dalam matriksnya. Pengukuran WHC dihitung berdasarkan rumus:

$$WHC = \frac{W_r - W_d}{W_d}$$

dengan keterangan:

WHC = *Water Holding Capacity*

W_r = berat bahan setelah rehidrasi dan tiris air permukaan

W_d = berat kering bahan tersebut setelah dikeringkan ulang

Pengujian Hedonik

Uji hedonik dilakukan dengan melibatkan 30 orang panelis tidak terlatih dalam ruangan sensori berbilik. Metode uji hedonik diadaptasi dari Stone *et al.*, (2021) dan dilakukan untuk mengetahui tingkat penerimaan konsumen terhadap sifat sensori produk sayur instan berdasarkan skala kesukaan 1 (sangat tidak suka) hingga 7 (sangat suka). Sampel dipertahankan pada suhu $\pm 25^{\circ}\text{C}$ dan maksimal selama 1 jam untuk menjaga keseragaman kualitas produk.

Analisis Data

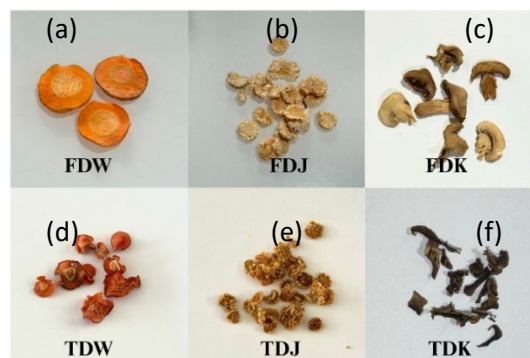
Analisis statistika dilakukan menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistics 26. Data non-parametrik yang didapat dari uji sensoris hedonik diolah menggunakan uji Kruskal-wallis dan menggunakan *post hoc Dunn's test* untuk mengetahui perbedaan nyata antar sampel (Stone *et al.*, 2021). Data pengujian warna, tekstur, kadar air, aktivitas air, WHC dan laju rehidrasi sayur kering dan rehidrasi dianalisis dan diolah menggunakan *Two Way Anova* dengan uji lanjutan *post hoc* untuk melihat

pengaruh dan signifikansi, serta interaksi antara metode pengeringan dengan jenis sampel sayur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Kualitas Pasar

Kualitas pasar (*marketability* atau *commercial quality*) dalam industri pangan merupakan atribut mutu pangan yang memengaruhi penerimaan konsumen dan nilai jual produk. Kualitas ini ditentukan oleh karakteristik visual terutama warna dan penampilan keseluruhan, yang dipengaruhi oleh faktor instrinsik produk seperti kadar dan aktivitas air. Atribut visual menjadi pertimbangan utama konsumen dalam menilai mutu produk dan mengambil keputusan pembelian (Barrett *et al.*, 2010). Secara visual, sampel TD terlihat mengalami penyusutan ukuran dan perubahan bentuk menjadi lebih mengkerut, serta warna yang lebih gelap. Sedangkan, sampel FD menghasilkan perubahan bentuk dan penampakan termasuk warna yang minimal, sebagaimana terlihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Sayur Instan FD dan TD

Keterangan: (a) Wortel dengan perlakuan FD, (b) jagung dengan perlakuan FD, (c) jamur dengan perlakuan FD, Wortel dengan perlakuan FD, (d) wortel dengan perlakuan FD, (e) jagung dengan perlakuan FD, (f) jamur dengan perlakuan FD.

Warna merupakan indikator visual utama yang secara langsung memengaruhi penerimaan konsumen serta mencerminkan perubahan fisik maupun kimia selama proses pengolahan (Sun *et al.*, 2025). Hasil pengujian menunjukkan metode FD dan TD serta jenis sampel memengaruhi warna sayur instan ($p < 0,05$), sebagaimana tertera pada Tabel 1. Perubahan warna pada tiap jenis sampel

dipengaruhi oleh karakteristik pigmen alami masing-masing bahan. Wortel dan jagung mengandung pigmen beta-karoten yang memberikan warna oranye-kuning, sedangkan jamur mengandung pigmen melanin yang berwarna hitam-abu. Pigmen-pigmen ini memiliki sifat dan respon yang berbeda terhadap proses pengeringan.

Tabel 1. Warna dan Perubahan Total Warna Sayur Instan

Sampel	L*			ΔE_{2000}	
	Sayur Segar	Sayur Kering	Sayur Terhidrasi	Sayur Kering	Sayur Terhidrasi
FDW	56,87 ± 0,72	70,62 ± 1,13 ^{aC*}	67,74 ± 0,36	11,69	9,35
TDW		46,74 ± 2,75 ^{cC}	57,57 ± 1,27	13,48	2,81
FDJ	62,32 ± 0,89	84,62 ± 2,06 ^{ba*}	71,12 ± 0,64	16,89	7,78
TDJ		62,95 ± 2,08 ^{dA}	66,39 ± 0,94	7,89	7,2
FDK	49,27 ± 2,94	48,71 ± 3,60 ^{cb*}	44,81 ± 0,49	1,56	11,70
TDK		36,93 ± 2,22 ^{eB}	37,89 ± 0,79	13,16	9,78

Keterangan: FD = *freeze drying*, TD = *tray dehydrating*, FDW = wortel dengan perlakuan FD, TDW = wortel dengan perlakuan TD, FDK = jamur kancing dengan perlakuan FD, TDK = jamur kancing dengan perlakuan TD, FDJ = jagung muda dengan perlakuan FD, TDJ = jagung muda dengan perlakuan TD. Data disajikan dalam bentuk rata-rata ± standar deviasi. Analisis dilakukan pada sayur kering. Notasi huruf kapital menunjukkan beda nyata pada faktor jenis sayur. Notasi simbol bintang (*) menunjukkan beda nyata pada faktor jenis instrumen. Notasi huruf kecil menunjukkan beda nyata pada interaksi instrumen dan sampel sayur. Notasi berlaku pada kolom yang sama. ΔE_{00} dihitung dengan metode CIEDE2000. Nilai $\Delta E < 1.0$ diinterpretasikan sebagai perbedaan yang tidak dapat dideteksi mata manusia; nilai 1.0 - 2.0 diinterpretasikan sebagai perbedaan warna yang sangat minimal; nilai 3 – 5 diinterpretasikan sebagai perbedaan yang cukup jelas; nilai > 5 diinterpretasikan sebagai perubahan warna yang sangat jelas.

Selain pigmen alami dalam setiap jenis sayur, metode pengeringan juga memengaruhi warna sayur instan. Hasil penelitian menunjukkan sampel dengan perlakuan FD memiliki nilai kecerahan (L*) yang lebih tinggi sehingga tampak lebih terang dan pucat dibandingkan sampel kondisi segar maupun sampel TD. Hal ini berkaitan dengan

terbentuknya struktur berpori selama sublimasi FD yang meningkatkan refleksi cahaya pada permukaan bahan (Savaş dan Manav, 2023). Proses tersebut juga meminimalisir banyaknya oksigen yang masuk dan menginaktivasi enzim polifenol oksidase penyebab pencoklatan (Shams *et al.*, 2022). Selain itu, suhu rendah dan kondisi vakum selama FD turut menekan reaksi

pencoklatan dan oksidasi sehingga pigmen alami bahan lebih terjaga (Van *et al.*, 2026). Sebaliknya, hasil penelitian menunjukkan penurunan tingkat kecerahan serta pergeseran nilai warna pigmen pada sampel TD yang lebih besar dibandingkan FD. Hal ini dipengaruhi oleh degradasi pigmen dan reaksi pencoklatan non-enzimatis seperti reaksi Maillard akibat paparan suhu tinggi selama pengeringan. Selama proses evaporasi, kontak dengan udara dapat mempercepat oksidasi pigmen sehingga warna sampel menjadi lebih gelap dan kusam, sementara itu, penyusutan struktur jaringan mengakibatkan struktur menjadi lebih padat sehingga penyerapan cahaya meningkat dan warna tampak lebih gelap (Leelawat dan Taikerd, 2024; Senadeera *et al.*, 2020).

Perubahan warna yang lebih minimal pada sampel FD menunjukkan retensi warna

yang lebih baik. Hal ini berkaitan dengan kadar air produk yang relatif lebih tinggi dibandingkan TD, yang menunjukkan bahwa proses pengeringan berlangsung lebih ringan sehingga perubahan pigmen dan struktur jaringan dapat diminimalkan. Kadar air sendiri merupakan parameter penting dalam produk pangan karena menunjukkan efektivitas proses pengeringan dalam mengeluarkan air bebas dari bahan, serta memengaruhi stabilitas produk selama penyimpanan (Savaş dan Manav, 2023). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pengeringan, jenis sampel, serta interaksi keduanya memberikan pengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap kadar air sayur instan, baik pada kondisi kering maupun setelah rehidrasi (Tabel 2).

Tabel 2. Kadar Air dan Aktivitas Air Sayur Instan Kering dan Terhidrasi

Sampel	Kadar Air (%)			Aktivitas Air		
	Sayur Segar	Sayur Kering	Sayur Terhidrasi	Sayur Segar	Sayur Kering	Aktivitas Air Terhidrasi
FDW	92,01 ± 0,02	8,73 ± 0,24 ^{dB*}	89,67 ± 0,39 ^{aC*}	0,89 ± 0,00	0,66 ± 0,01 ^{acA*}	0,80 ± 0,01 ^{C*}
TDW		4,11 ± 0,08 ^{aB}	87,48 ± 0,87 ^{aC}		0,70 ± 0,02 ^{bcA}	0,72 ± 0,01 ^A
FDJ	90,95 ± 0,01	10,36 ± 0,29 ^{fA*}	90,16 ± 1,07 ^{aB*}	0,87 ± 0,01	0,68 ± 0,01 ^{abcC*}	0,82 ± 0,01 ^{B*}
TDJ		4,50 ± 0,15 ^{bA}	78,84 ± 3,92 ^{bB}		0,68 ± 0,01 ^{bC}	0,73 ± 0,01 ^B
FDK	89,70 ± 0,61	9,66 ± 0,19 ^{eA*}	88,95 ± 1,04 ^{aA*}	0,95 ± 0,01	0,64 ± 0,03 ^{aB*}	0,88 ± 0,01 ^{A*}
TDK		5,14 ± 0,07 ^{cA}	71,98 ± 1,75 ^{cA}		0,68 ± 0,01 ^{cB}	0,79 ± 0,01 ^A

Keterangan: FD = *freeze drying*, TD = *tray dehydrating*, FDW = wortel dengan perlakuan FD, TDW = wortel dengan perlakuan TD, FDK = jamur kancing dengan perlakuan FD, TDK = jamur kancing dengan perlakuan TD, FDJ = jagung muda dengan perlakuan FD, TDJ = jagung muda dengan perlakuan TD. Data disajikan dalam bentuk rata-rata ± standar deviasi. Notasi huruf kapital menunjukkan beda nyata pada faktor jenis sayur ($p < 0,05$); Notasi simbol bintang (*) menunjukkan beda nyata pada faktor instrumen ($p < 0,05$); notasi huruf kecil menunjukkan beda nyata pada interaksi instrumen dan sampel sayur ($p < 0,05$). Notasi berlaku pada kolom yang sama

Secara keseluruhan, pengeringan TD menghasilkan kadar air yang lebih rendah dibandingkan FD. Hal ini berkaitan dengan mekanisme pengeringan yang berbeda, di mana TD menggunakan perpindahan panas secara konveksi yang berlangsung secara kontinu dalam jangka waktu yang telah ditentukan sehingga proses penguapan air berlangsung lebih efektif. Sebaliknya, pengeringan FD menghilangkan air melalui sublimasi pada suhu rendah yang menghasilkan struktur berpori dan menyebabkan air yang tersisa berada dalam bentuk air terikat yang tertahan dalam matriks bahan (Ciurzyńska *et al.*, 2022). Proses rehidrasi dilakukan untuk menentukan kemampuan bahan dalam menyerap air kembali. Sampel FD menunjukkan kadar air yang lebih tinggi dibandingkan TD setelah dihidrasi, yang, mengindikasikan kemampuan penyerapan air yang lebih baik. Hal ini disebabkan karena struktur berpori yang terbentuk selama proses sublimasi FD yang mempermudah masuknya air ke dalam jaringan pori bahan (Hu *et al.*, 2021), sedangkan, penyusutan dan kolapsnya jaringan akibat pemanasan pada TD membatasi difusi air selama rehidrasi, yang menyebabkan penyerapan air lebih rendah (Rózsa *et al.*, 2024)

Perbedaan kadar air pada setiap sampel disebabkan karena perbedaan karakteristik intrinsik seperti komponen penyusun dan struktur jaringan pada masing-masing sampel sayur. Jagung dan wortel memiliki struktur jaringan yang kompak dan *rigid* karena mengandung pati dan pektin. Hal ini menyebabkan struktur tersebut lebih tahan akan

perubahan yang terjadi selama proses pengeringan, sehingga memengaruhi kemampuan penyerapan air dan distribusi air yang lebih terjaga. Pada jamur, jaringan hifa yang lunak serta kandungan padatan yang rendah menyebabkan jamur lebih rentan akan perubahan dan kerusakan selama pengeringan (Jiang *et al.*, 2024; Zou *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024). Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian sebelumnya seperti penelitian oleh Li dan Jelen (2026) dan Zhao *et al.* (2024) yang menunjukkan bahwa respon bahan terhadap pengeringan sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia masing-masing bahan, sehingga kedua faktor tersebut saling memengaruhi kadar air akhir produk. Hal tersebut juga memengaruhi aktivitas air produk, karena distribusi air pada jaringan bahan memengaruhi bentuk air pada produk.

Aktivitas air menunjukkan ketersediaan air bebas yang dapat digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme, aktivitas enzim, maupun reaksi kimia dalam bahan pangan. Selain menentukan stabilitas dan umur simpan produk, aktivitas air juga berpengaruh terhadap karakteristik sensori seperti tekstur, aroma, dan penerimaan konsumen (Maneffa *et al.*, 2017; Ruszkowska *et al.*, 2022; Jia *et al.*, 2024). Hasil pengujian menunjukkan aktivitas air sampel FD lebih rendah dibandingkan sampel TD, walaupun kadar air sampel FD menunjukkan pola sebaliknya, sebagaimana terlihat pada **Tabel 2**. Hal ini disebabkan karena efek pengeringan yang berbeda. FD menyebabkan air yang terkandung dalam bahan berada dalam bentuk air terikat

karena air bebas telah hilang dalam proses sublimasi, menyisakan air yang berinteraksi kuat dengan komponen penyusun bahan, seperti protein dan polisakarida, sehingga mobilitasnya rendah dan tidak dapat dihilangkan. Air terikat tersebut tidak dapat dimanfaatkan mikroorganisme untuk bertumbuh dan berkembang, sehingga stabilitas dan umur simpan produk selama penyimpanan lebih terjaga. Sedangkan, pada TD, masih terdapat air dengan mobilitas tinggi karena rusaknya struktur yang berperan untuk pengikatan air dan distribusi air. Akibatnya, nilai aktivitas air sampel TD lebih tinggi, yang mengindikasikan umur simpan produk lebih rendah.

Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Kualitas Masak

Kualitas masak merupakan kualitas penting pada produk instan karena merujuk pada kemudahan pengolahan dan hasil akhir produk setelah dimasak atau dihidrasi (Okonkwo, 2021). Salah satu kualitas masak sayur instan utama adalah kemampuan bahan dalam menyerap air kembali setelah proses pengeringan, yang ditunjukkan melalui perhitungan nilai laju rehidrasi. Nilai yang semakin tinggi menunjukkan laju rehidrasi yang semakin cepat, yang semakin diinginkan pada produk instan. Parameter ini sangat dipengaruhi oleh perubahan struktur jaringan yang terjadi selama proses pengeringan, dan berkaitan terhadap kemampuan bahan dalam memertahankan air dalam matriks jaringannya (WHC). Tingkat kerusakan struktur dapat terlihat dari kemampuan sampel untuk menyerap air kembali (*recovery*).

Tabel 3. Nilai Laju Rehidrasi, WHC, *Drying loss* dan % *Recovery* Sayur Instan

Sampel	<i>Drying Loss</i> (%)	<i>Recovery</i> (%)	Laju Rehidrasi (g·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	WHC (g/g)
FDW	91,25 ± 0,04 ^{bA*}	77,35 ± 0,11 ^{cA*}	0,40 ± 0,01 ^{bA*}	12,30 ± 0,24 ^{aA*}
TDW	91,67 ± 0,04 ^{aA}	63,82 ± 0,14 ^{dA}	0,28 ± 0,01 ^{dA}	9,39 ± 0,27 ^{cA}
FDJ	89,90 ± 0,03 ^{dB*}	91,97 ± 0,02 ^{bB*}	0,44 ± 0,01 ^{aB*}	11,53 ± 0,11 ^{bB*}
TDJ	90,52 ± 0,04 ^{Cb}	42,77 ± 0,13 ^{eB}	0,17 ± 0,01 ^{eB}	5,19 ± 0,10 ^{dB}
FDK	88,60 ± 0,03 ^{FC*}	93,21 ± 0,1 ^{aC*}	0,34 ± 0,00 ^{cC*}	11,52 ± 0,08 ^{bC*}
TDK	89,14 ± 0,05 ^{eC}	36,76 ± 0,03 ^{fC}	0,13 ± 0,0 ^{fC}	2,17 ± 0,05 ^{eC}

Keterangan: FD = *freeze drying*, TD = *tray dehydrating*, FDW = wortel dengan perlakuan FD, TDW = wortel dengan perlakuan TD, FDK = jamur kancing dengan perlakuan FD, TDK = jamur kancing dengan perlakuan TD, FDJ = jagung muda dengan perlakuan FD, TDJ = jagung muda dengan perlakuan TD. Data disajikan dalam bentuk rata-rata ± standar deviasi. Notasi huruf kapital menunjukkan beda nyata pada faktor jenis sayur ($p < 0.05$); Notasi simbol bintang (*) menunjukkan beda nyata pada faktor jenis instrumen ($p < 0.05$); notasi huruf kecil menunjukkan beda nyata pada interaksi instrumen dan sampel sayur ($p < 0.05$). Notasi berlaku pada kolom yang sama.

Hasil pada **Tabel 3** menunjukkan *drying loss* atau massa yang hilang selama pengeringan pada kedua metode pengeringan cukup besar, berkisar antara 88,60% hingga 91,67%. Akan tetapi, *recovery* setiap sampel berbeda-beda. Seluruh sampel FD memiliki nilai *recovery* yang lebih tinggi dibandingkan TD, meskipun nilai *recovery* setiap sampel juga berbeda. Hal ini menunjukkan tingkat kerusakan lebih besar pada sampel TD sehingga kemampuan menyerap air kembali sampel tersebut lebih rendah. Hal tersebut turut menyebabkan laju rehidrasi dan WHC sampel TD rendah.

Hasil pengujian menunjukkan metode pengeringan dan jenis sampel memberikan pengaruh signifikan ($p < 0,05$) terhadap laju rehidrasi dan WHC sayur instan, dimana kedua faktor tersebut juga saling memengaruhi. FD menghasilkan nilai laju rehidrasi yang lebih tinggi dibandingkan TD karena struktur berpori yang saling terhubung yang dihasilkan mampu meningkatkan permeabilitas bahan sehingga air lebih mudah masuk ke dalam jaringan bahan. Di sisi lain, jaringan yang padat dengan pori tertutup pada sampel TD menyebabkan air sulit masuk ke dalam jaringan bahan, menyebabkan laju rehidrasi lebih lambat. Hal ini turut memengaruhi WHC, karena bahan dengan porositas lebih tinggi mampu memertahankan air lebih baik. Sebaliknya, bahan dengan kepadatan tinggi dan porositas rendah, memiliki kemampuan penahanan air yang lebih rendah (Zhao *et al.*, 2024). Oleh karena itu, hasil WHC sampel FD lebih tinggi dibandingkan sampel TD.

Jenis sampel memengaruhi laju rehidrasi dan WHC sayur instan karena karakteristik tiap jenis sampel berbeda. Bahan yang mengandung gugus hidroksil memiliki sifat hidrofilik sehingga mampu mengikat air dalam jumlah besar sehingga meningkatkan nilai WHC dan mempercepat laju rehidrasi. Jagung mengandung pati sedangkan jamur mengandung polisakarida beta-glukan yang bersifat hidrofilik, sehingga kemampuan penyerapan dan pengikatan air kedua sampel ini dipengaruhi oleh sifat komponen tersebut (Nowak dan Jakubczyk, 2020). Sementara itu, kemampuan penyerapan dan pengikatan air pada wortel lebih dipengaruhi oleh kandungan serat dan pektin yang mampu mengikat air melalui interaksi hidrogen (Bhatta *et al.*, 2020). Meski begitu, kedua faktor ini, metode pengeringan dan jenis sampel, saling memengaruhi sehingga kemampuan penahanan air dan laju rehidrasi bahan tidak terlepas dari interaksi metode pengeringan yang digunakan serta jenis sampel yang dipilih.

Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Kualitas Makan

Kualitas makan merujuk pada pengalaman sensorik dan kepuasan konsumen saat mengonsumsi makanan, yang memengaruhi penerimaan dan keputusan pembelian konsumen. Tekstur merupakan parameter penting dalam kualitas makan karena menentukan kepuasan sensori konsumen saat mengonsumsi suatu produk. Pada produk sayur instan yang siap makan (telah dihidrasi), tekstur yang lunak menyerupai kondisi segar semakin diharapkan, sehingga tekstur dianalisis

berdasarkan tingkat kekerasan produk. Tekstur sayur rehidrasi dipengaruhi oleh tekstur awal produk tersebut saat dikeringkan (Barrett *et al.*, 2010). Hasil pengujian sebagaimana tertera pada

Tabel 4. Nilai *Hardness* Sayur Instan Kering dan Hidrasi

Sampel	<i>Hardness</i>		
	Segar	Kering	Hidrasi
FDW	10,83 ± 0,37	20,38 ± 0,64 ^{cC*}	9,95 ± 0,14 ^{aA*}
TDW		39,98 ± 1,57 ^{eC}	13,83 ± 0,49 ^{bA}
FDJ	9,18 ± 0,24	2,90 ± 0,34 ^{Bb*}	7,30 ± 0,11 ^{cB*}
TDJ		21,10 ± 1,01 ^{dB}	14,10 ± 0,25 ^{Db}
FDK	4,10 ± 0.13	8,80 ± 0,05 ^{aA*}	3,67 ± 0,31 ^{ec*}
TDK		19,00 ± 0,08 ^{cA}	12,12 ± 0,22 ^{fC}

Keterangan: FD = *freeze drying*, TD = *tray dehydrating*, FDW = wortel dengan perlakuan FD, TDW = wortel dengan perlakuan TD, FDK = jamur kancing dengan perlakuan FD, TDK = jamur kancing dengan perlakuan TD, FDJ = jagung muda dengan perlakuan FD, TDJ = jagung muda dengan perlakuan TD. Data disajikan dalam bentuk rata-rata ± standar deviasi. Notasi huruf kecil menunjukkan beda nyata pada interaksi instrumen dan sampel sayur ($p < 0.05$). Notasi huruf kapital menunjukkan beda nyata pada faktor jenis sayur ($p < 0.05$); Notasi bintang (*) menunjukkan beda nyata pada faktor jenis instrumen. Notasi berlaku pada kolom yang sama.

Hasil pengujian menunjukkan tekstur seluruh sayur TD lebih keras dibandingkan tekstur seluruh sampel FD. Hal ini dikarenakan struktur jaringan yang lebih padat dan mengkerut pada sampel TD, serta perubahan komponen seperti terjadinya gelatinisasi pati atau degradasi komponen yang meningkatkan kekerasan bahan (JLi *et al.*, 2026). Sebaliknya, FD menghasilkan struktur berpori yang ringan menyerupai spons, serta perubahan komponen yang sangat minimal, sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang lebih rendah. Setelah proses rehidrasi, seluruh sampel mengalami penurunan tingkat kekerasan akibat masuknya air ke dalam jaringan

Tabel 4 membuktikan metode pengeringan dan jenis sayur memengaruhi tingkat kekerasan sayur instan pada kondisi kering maupun rehidrasi ($p < 0,05$).

yang mengurangi kekakuan struktur, sehingga sampel menjadi lebih lunak. Akan tetapi, sampel TD tetap memiliki kekerasan lebih tinggi karena struktur awal yang lebih padat yang menyebabkan kemampuan penyerapan air rendah (Hu *et al.*, 2021).

Selain tekstur, kualitas makan tercemin pula dari tingkat penerimaan konsumen terhadap produk sayur instan. Pengujian hedonik terhadap tingkat penerimaan konsumen mencakup parameter penampakan visual, warna, tekstur, dan tingkat kesukaan keseluruhan (Mathew dan Mathew, 2024). Pada sampel kering, hasil pengujian yang tertera pada **Tabel 5**

menunjukkan metode sampel memengaruhi tingkat penerimaan konsumen ($p < 0,05$), tetapi jenis sampel tidak ($p > 0,05$). Sedangkan pada sampel terhidrasi, didapat bahwa jenis sayur

memengaruhi tingkat penerimaan konsumen ($p < 0,05$), tetapi metode pengeringan tidak ($p > 0,05$).

Tabel 5. Hasil Uji Hedonik Sayur Instan

Sampel	Perlakuan	Penampakan	Warna	Tekstur	Keseluruhan
Kering	FDW	5,50 (1,75*)	5,00 (1,00*)	-	5,50 (1,00*)
	TDW	4,00 (1,75)	5,00 (2,00)	-	5,00 (2,00)
	FDJ	5,00 (2,00*)	5,00 (2,00*)	-	5,00 (2,00*)
	TDJ	3,00 (2,00)	4,00 (3,00)	-	4,00 (3,00)
	FDK	5,00 (2,00*)	5,00 (2,00*)	-	5,00 (2,75*)
	TDK	4,00 (2,75)	4,00 (3,00)	-	4,00 (2,00)
Terhidrasi	FDW	6,00 (1,75 ^A)	6,00 (2,00 ^A)	6,00 (2,00 ^A)	5,50 (1,75 ^A)
	TDW	5,00 (1,75 ^A)	6,00 (0,75 ^A)	5,00 (2,75 ^A)	5,00 (1,00 ^A)
	FDJ	4,50 (3,00 ^B)	4,00 (2,00 ^B)	5,00 (2,00 ^A)	5,00 (1,00 ^{AB})
	TDJ	4,00 (2,00 ^B)	4,00 (2,00 ^B)	5,00 (1,00 ^A)	4,00 (1,00 ^{AB})
	FDK	4,00 (1,00 ^B)	5,00 (1,00 ^B)	4,00 (1,00 ^B)	4,00 (2,00 ^B)
	TDK	4,00 (2,00 ^B)	4,00 (1,75 ^B)	3,00 (3,00 ^B)	4,00 (2,00 ^B)

Keterangan: FD = *freeze drying*, TD = *tray dehydrating*, FDW = wortel dengan perlakuan FD, TDW = wortel dengan perlakuan TD, FDK = jamur kancing dengan perlakuan FD, TDK = jamur kancing dengan perlakuan TD, FDJ = jagung muda dengan perlakuan FD, TDJ = jagung muda dengan perlakuan TD. Data disajikan dalam bentuk median (IQR). Penilaian sensoris hedonik berdasarkan rentang 1 (sangat tidak suka) hingga 7 (sangat suka). Notasi huruf kapital menunjukkan beda nyata pada jenis sampel dan notasi bintang (*) menunjukkan beda nyata pada instrumen ($p < 0.05$). Notasi hanya berlaku untuk kolom yang sama..

Sampel FD cenderung lebih disukai konsumen dibandingkan sampel TD pada seluruh parameter. Hal ini ditengarai karena perubahan yang lebih minimal pada FD, sehingga warna, tekstur dan visual produk lebih terjaga dan menyerupai kondisi segar, yang lebih disukai konsumen. Sementara itu, TD

menyebabkan perubahan warna menjadi lebih kusam dan gelap, tekstur yang semakin keras, dan penampakan visual yang berbeda dengan kondisi segar, yang lebih tidak diterima konsumen. Akan tetapi, pengujian menunjukkan jenis sampel tidak memengaruhi penerimaan konsumen yang mengindikasikan tidak adanya

preferensi tertentu pada jenis sampel sayur kering.

Setelah sampel dihidrasi, didapatkan pola yang berbeda dimana metode pengeringan tidak lagi memengaruhi tingkat penerimaan konsumen secara signifikan, tetapi jenis sayur menjadi faktor yang berpengaruh. Temuan ini mengindikasikan bahwa proses rehidrasi dapat mengurangi perbedaan karakteristik akibat metode pengeringan, sehingga preferensi konsumen lebih dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing jenis sayur. Hasil pengujian menunjukkan sayur wortel lebih disukai konsumen dibandingkan sayur jagung dan jamur. Hal ini diduga disebabkan karena karakteristik warna dan penampakan visual wortel yang terjaga, serta kemampuan laju rehidrasi dan WHC yang tinggi yang menyebabkan tekstur wortel instan lebih baik. Hal tersebut disebabkan karena struktur dan komponen penyusun wortel memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap perubahan selama proses pengeringan. Sebaliknya, jamur memiliki tingkat penerimaan konsumen terendah pada semua parameter, yang disebabkan oleh perubahan yang lebih signifikan pada struktur jamur yang turut memengaruhi sifat dan karakteristik jamur instan,

seperti perubahan fisik, perubahan tekstur menjadi keras, dan kemampuan penyerapan serta pengikatan air rendah. Oleh karena itu, pemilihan jenis sayuran menjadi pertimbangan penting dalam pengembangan produk sayur instan yang dapat diterima oleh konsumen.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas produk sayur instan dipengaruhi oleh metode pengeringan serta karakteristik intrinsik dari masing-masing jenis sayur. *Freeze drying* menghasilkan sayur instan dengan kemampuan penyerapan dan penahanan air yang lebih baik, perubahan warna yang minimal, serta tekstur yang lebih lunak untuk dikonsumsi. Sebaliknya, *tray dehydrating* menghasilkan produk dengan kadar air dan aktivitas air yang lebih rendah, tetapi disertai perubahan warna yang lebih besar dan tekstur yang semakin keras. Penerimaan konsumen terhadap sayur instan kering lebih dipengaruhi oleh metode pengeringan dibandingkan jenis sayur, sedangkan setelah di rehidrasi, pengaruh metode pengeringan menjadi tidak signifikan dan penerimaan konsumen lebih ditentukan oleh karakteristik masing-masing jenis sayur.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Maiman, S. A., Albadr, N. A., Almusallam, I. A., Al-Saád, M. J., Alsuliam, S., Osman, M. A., & Hassan, A. B. 2021. The potential of exploiting economical solar dryer in food preservation: Storability, physicochemical properties, and antioxidant capacity of solar-dried tomato (*solanum lycopersicum*) fruits. *Foods*, 10(4).
- Aravindakshan, S., Nguyen, T. H. A., Kyomugasho, C., Buvé, C., Dewettinck, K., Van Loey, A., & Hendrickx, M. E. 2021. The impact of drying and rehydration on the structural properties and quality attributes of pre-cooked dried beans. *Foods*, 10(7).
- Barrett, D. M., Beaulieu, J. C., & Shewfelt, R. 2010. Color, flavor, texture, and nutritional quality of fresh-cut fruits and vegetables: Desirable levels, instrumental and sensory measurement, and the effects of processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 369–389.
- Bhatta, S., Janezic, T. S., & Ratti, C. 2020. Freeze-drying of plant-based foods. *Foods*, Vol. 9. MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute.
- Cambero, M. I., García de Fernando, G. D., Romero de Ávila, M. D., Remiro, V., Capelo, L., & Segura, J. 2023. Freeze-Dried Cooked Chickpeas: Considering a Suitable Alternative to Prepare Tasty Reconstituted Dishes. *Foods*, 12(12).
- Ciurzyńska, A., Galus, S., Karwacka, M., & Janowicz, M. 2022. The sorption properties, structure and shrinkage of freeze-dried multi-vegetable snack bars in the aspect of the environmental water activity. *LWT*, 171.
- Hu, L., Bi, J., Jin, X., Qiu, Y., & van der Sman, R. G. M. 2021. Study on the rehydration quality improvement of shiitake mushroom by combined drying methods. *Foods*, 10(4).
- Jakubczyk, E., & Jaskulska, A. 2021. The effect of freeze-drying on the properties of Polish vegetable soups. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(2), 1–21.
- Jia, X., Luo, X., Nakako, K., & Takahisa, N. 2024. Effects of moisture content and storage method on the physical properties of dried persimmon during frozen storage. *Italian Journal of Food Science*, 36(3), 141–150.
- Jiang, C., Yang, X., Lin, S., Yang, Y., Yu, J., Du, X., & Tang, Y. 2024. Impact of Corn Starch Molecular Structures on Texture, Water Dynamics, Microstructure, and Protein Structure in Silver Carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) Surimi Gel. *Foods*, 13(5).
- Leelawat, B., & Taikerd, T. 2024. Effect of Drying Methods and Conditions on the Physicochemical Properties of Young Jackfruit-Based Chicken Meat Analogs. *ACS Food Science and Technology*, 4(11), 2682–2689.
- Li, Jie, Huang, Y., Gao, M., Tie, J., & Wang, G. 2024. Shrinkage properties of porous materials during drying: a review. *Frontiers in Materials*, Vol. 11. Frontiers Media SA.
- Li, Junyi, He, Y., Zhao, D., Huang, X., Chen, X., Liu, Y., Xie, A. 2026. Effects of processing treatments on corn starch retrogradation and strategies for its control: a review. *Food Quality and Safety*, Vol. 10. Oxford University Press.
- Li-Shing-Tat, B., & Jelen, P. (2023). *Food Structure Food Structure The Microstructure and Rehydration Properties of the Phoenix The Microstructure and Rehydration Properties of the Phoenix Oyster Mushroom (Pleurotus Sajor Caju) Dried by Three Oyster Mushroom (Pleurotus Sajor Caju) Dried by Three Alternative Processes Alternative Processes* (Vol. 6).
- Maneffa, A. J., Stenner, R., Matharu, A. S., Clark, J. H., Matubayasi, N., & Shimizu, S. 2017. Water activity in liquid food systems: A molecular scale interpretation. *Food Chemistry*, 237, 1133–1138.

- Mathew, A. P., & Dinoy Mathew, F. 2024. *The Instant Food Revolution: Exploring Modern Consumer Buying Patterns*.
- Mu'Tamar, M. F. F., Fakhry, M., & Ulya, M. 2021. The brewing conditions optimization of Eucalyptus blended tea bags. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 924(1). IOP Publishing Ltd.
- Nowak, D., & Jakubczyk, E. 2020). The freeze-drying of foods⇒the characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. *Foods*, Vol. 9. MDPI AG.
- Okonkwo TM. (2021). *Definition and components of food quality: A review* Nwadi, O.M.
- Pasten, A., Vega-Galvez, A., Uribe, E., Carvajal, M., Mejías, N., Araya, M., & Goñi, M. G. (2024). A Comparison of the Effects of Low-Temperature Vacuum Drying and Other Methods on Cauliflower's Nutritional-Functional Properties. *Processes*, 12(8).
- Pokhrel, B. 2020. Review on post-harvest handling to reduce loss of fruits and vegetables. ~ 48 ~ *International Journal of Horticulture and Food Science*, 2(2), 48–52.
- Rózsa, S., Pošta, G., Lehel, L., Gocan, T. M., & Andreica, I. 2024. The use of freeze-dried mushrooms in instant food preparations. *JOURNAL of Horticulture, Forestry and Biotechnology*, 28(2), 192–199.
- Ruszkowska, M., Tańska, M., & Kowalczewski, P. Ł. 2022. Extruded Corn Snacks with Cricket Powder: Impact on Physical Parameters and Consumer Acceptance. *Sustainability (Switzerland)*, 14(24).
- Savaş, E., & Manav, M. 2023. Process optimization and characterization of physicochemical properties of freeze-dried pineapple snacks enriched with propolis. *International Journal of Food Properties*, 26(2), 2693–2715.
- Senadeera, W., Adiletta, G., Önal, B., Di Matteo, M., & Russo, P. 2020. Influence of different hot air drying temperatures on drying kinetics, shrinkage, and colour of persimmon slices. *Foods*, 9(1).
- Shams, R., Singh, J., Dash, K. K., & Dar, A. H. 2022. Comparative study of freeze drying and cabinet drying of button mushroom. *Applied Food Research*, 2(1).
- Spagnuolo, A., Vetromile, C., Masiello, A., De Santo, G., Suriano, M., Mercuri, G., Di Cicco, M. R. 2023. Industrial Drying of Fruit and Vegetable Products: Customized Smart Monitoring and Analytical Characterization of Process Variables in the OTTORTO Project. *Processes*, 11(6).
- Stone, H., Bleibaum, R. N., & Thomas, H. A. 2021. Affective testing. In *Sensory Evaluation Practices* (pp. 297–336). Elsevier.
- Sun, Q., Yuan, Y., Zhang, M., Xu, F., Guo, Z., Wang, X., Zou, X. 2025. An Innovative Color Control Strategy of Fruits and Vegetables During Drying. *Food and Bioprocess Technology*, 18(10), 8686–8701.
- Van, C. K., Le, Q. A., Nguyen, H. T., Nguyen, P. T. N., & Nguyen, T. T. N. H. 2026. Effects of selected drying methods on the chemical composition and bioactive properties of durian (*Durio zibethinus*) white peel flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 61(1).
- Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., Lemus-Mondaca, R., Martinez-Monzó, J., Quispe-Fuentes, I., Puente, L., & Di Scala, K. 2015. Influence of drying temperature on dietary fibre, rehydration properties, texture and microstructure of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 52(4), 2304–2311.
- Xu, G., Yin, H., He, X., Wang, D., Zhao, Y., & Yue, J. 2020. Optimization of microwave vacuum drying of okra and the study of the

product quality. *Journal of Food Process Engineering*, 43(2).

Yao, J., Chen, W., & Fan, K. 2023. Novel Efficient Physical Technologies for Enhancing Freeze Drying of Fruits and Vegetables: A Review. *Foods*, Vol. 12. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI).

Zhao, Y., Qiao, S., Zhu, X., Guo, J., Peng, G., Zhu, X., Sun, Y. 2024. Effect of different

drying methods on the structure and properties of porous starch. *Heliyon*, 10(10).

Zou, F., Zuo, Y., Tan, C., Yang, M., Wang, L., & Wang, H. 2024. Structural, physicochemical, functional, and digestive properties of corn flour modified by plasma-activated water combined with hydrothermal treatments. *LWT*, 210.