

PENGARUH SUHU PENYANGRAIAN BUNGKIL KAKAO TERHADAP KADAR AIR, ANGKA LEMPENG TOTAL DAN ANGKA KAPANG KHAMIR PADA PRODUKSI BUBUK KAKAO

Fatimatusyarifah^{1*}, Iffana Dani Maulida²

^{1,2}Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan, Indonesia

*Penulis korespondensi: fatimatusyarifahfatma@gmail.com

ABSTRAK

Proses pembuatan bubuk kakao pada umumnya meliputi penyangraian biji, pemisahan nib dari kulit biji, penghancuran dan penghalusan nib, pengempaan, penepungan bungkil kakao dan pengayakan. Namun, dalam penelitian ini proses produksi bubuk kakao dilakukan menggunakan bahan baku bungkil kakao melalui tahapan *roasting*, *cooling*, *grinding*, *mixing* dan *bagging*. Proses *roasting* merupakan tahapan utama dalam pengendalian mutu bubuk kakao karena suhu *roasting* dapat menurunkan kadar air dan cemaran mikrobiologis, terutama Angka Lempeng Total (ALT) dan Angka Kapang Khamir (AKK). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *roasting* terhadap kadar air, ALT dan AKK bubuk kakao. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian eksperimental. Metode penelitian yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan faktor perlakuan berupa suhu *roasting*. Parameter kadar air, ALT dan AKK digunakan sebagai indikator pengendalian bahaya untuk memenuhi persyaratan mutu bubuk kakao sesuai SNI 3747:2024. Hasil penelitian ini menunjukkan peningkatan suhu berbanding lurus dengan penurunan kadar air, ALT dan AKK. Suhu 115°C memberikan nilai paling kecil dibandingkan dengan suhu 95°C dan 105°C. Kesimpulannya suhu *roasting* berpengaruh secara signifikan dalam menurunkan kadar air, ALT dan AKK dan suhu 115°C merupakan suhu optimal untuk mendapatkan hasil uji yang sesuai standar mutu bubuk kakao SNI 3747:2024.

Kata kunci: uji mikrobiologi, bungkil kakao, kadar air, suhu penyangraian

1 PENDAHULUAN

Biji kakao merupakan bahan baku utama dalam pembuatan olahan cokelat (Niswah et al., 2025). Kadar air merupakan parameter yang bersifat krusial dalam menentukan kualitas produk turunan kakao. Selama proses penyangraian, pengurangan kadar air dan perubahan kimia pada biji kakao berpengaruh terhadap warna, ukuran, berat, bentuk, serta tingkat pecahnya biji. Derajat keasaman (pH), densitas, serta terutama senyawa volatil dan cita rasa. Interaksi antara waktu dan kadar air merupakan hal penting untuk dipahami oleh industri pengolahan kakao guna mencapai konsistensi kualitas produk yang diinginkan serta cita rasa yang optimal (B. Andi Pallawa et al., 2024).

Bubuk kakao banyak dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan produk konfeksioneri untuk memberi aroma khas cokelat dan membentuk warna produk (Dwicahyo et al., 2024). Metode pengeringan, suhu, dan waktu pengeringan memengaruhi mutu produk kakao yang dihasilkan. Kadar air akan menurun karena pemberian panas dari proses pengeringan. Kadar air yang layak dipasarkan pada biji kakao berkisar antara 5–8% basis basah (Dzelagha et al., 2020).

Penyangraian merupakan proses yang paling penting dalam pembuatan bubuk kakao karena dengan penyangraian akan terbentuk flavor dan warna yang khas, akan mengurangi kadar asam pada kakao, penggelembungan dinding sel yang disebabkan oleh hidrolisa protein dan penyerapan air. (Kurnia Harlina Dewi, 2023). Kompleksitas cita rasa yang ditimbulkan oleh proses penyangraian

mendorong terjadinya reaksi Maillard dan karamelisasi dan memengaruhi kualitas produk turunan coklat yang diproduksi (Santander et al., 2025). Dan seiring bertambahnya waktu *roasting*, kehalusan bubuk kakao akan meningkat karena terjadi perubahan struktur dan biokimia pada biji kakao (Elanarni et al., 2025). Namun demikian, pengeringan merupakan metode yang paling banyak digunakan yang melibatkan perpindahan massa dan perpindahan panas secara bersamaan yang masing-masing berkaitan dengan Hukum Fourier dan Hukum Fick karena dapat memperpanjang umur simpan produk, memudahkan transportasi dan penyimpanan bahan pangan, serta memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas kimia, mikrobiologi, fungsional dan sensori produk. (Santander et al., 2025). Tingginya suhu *roasting* berpengaruh secara nyata terhadap kadar air, sehingga pengaruh air terhadap nilai L^* dapat dikurangi (Peña-Correa et al., 2024). Bungkil kakao merupakan bahan baku yang digunakan pada produksi bubuk kakao, diperoleh dari pemisahan sebagian lemak dari keping biji kakao atau massa kakao. Dalam persyaratan SNI 3747:2024 syarat mutu bubuk kakao untuk parameter kadar air ialah max.5%, ALT max. 5×10^3 dan AKK max. 5×10^1 (*Kakao Bubuk Revisi SNI 3747_2024*, n.d.)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu *roasting* terhadap kadar air, ALT dan AKK bubuk kakao. Proses *roasting* dengan variasi suhu dan waktu tertentu ditargetkan untuk menurunkan kadar air serta mengendalikan cemaran mikrobiologis, khususnya Angka Lempeng Total (ALT) dan Angka Kapang Khamir (AKK), agar memenuhi standar mutu SNI 3747:2024. Dalam kerangka *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP), penetapan *roasting* sebagai titik kendali kritis (*Critical Control Point*) didasarkan pada analisis bahaya dan pengambilan keputusan. Tahap ini berfungsi sebagai langkah untuk menghilangkan bahaya mikrobiologis hingga batas yang aman dan tidak dapat dihilangkan oleh tahapan proses selanjutnya. Penentuan batas kritis suhu dan waktu *roasting* ini menjadi bentuk pengendalian preventif yang tervalidasi guna menjamin keamanan serta mutu produk bubuk kakao. (Saniya Juli & Nugrahyu Nalawati, 2024).

2 METODE

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2026 yang berlokasi di salah satu industri pengolahan pangan di Sumedang, Jawa Barat. Pengujian karakteristik kadar air dan mikrobiologi (ALT dan AKK) dilakukan di laboratorium pengendalian mutu mikrobiologi industri terkait.

2.2 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan yaitu: biji kakao kering (*Theobroma cacao* L.) siap *roasting* dari varietas dan mutu yang seragam. Bahan untuk uji mikrobiologis meliputi: media *Plate Count Agar* (PCA), media *Dichloran Rose Bengal Chloramphenicol* (DRBC) Agar atau *Potato Dextrose Agar* (PDA), larutan pengencer *Buffered Peptone Water* (BPW) 0,1% atau NaCl fisiologis 0,85%, serta aquades steril.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat pengolahan (produksi), yaitu: mesin *roaster* kakao (suhu presisi), mesin pemisah kulit, mesin pembuat pasta (*cocoa press*), dan mesin penggiling bubuk kakao. Alat analisis fisikokimia yang digunakan yaitu: *moisture analyzer* (metode termogravimetri) atau oven pengering, timbangan analitik ($d = 0,0001$ g), serta cawan petri aluminium. Alat uji mikrobiologi yang digunakan adalah autoklaf, *Laminar Air Flow* (LAF), inkubator (30°C dan 37°C), vortex mixer, mikropipet (100 µL dan 1000 µL + blue/yellow tip steril, cawan petri steril, serta *colony counter*.

2.3 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktor tunggal, yaitu variasi suhu *roasting*. Variasi perlakuan suhu *roasting* yang diuji terdiri dari 95 °C, 105 °C, dan 115 °C. Dasar pemilihan rentang suhu ini disesuaikan dengan profil *roasting* suhu sedang-rendah untuk menjaga senyawa polifenol kakao sekaligus efisiensi penurunan kadar air dan inaktivasi mikroorganisme pencemar. Setiap perlakuan diulang sebanyak 3 kali *batch* produksi, sehingga diperoleh 9 unit percobaan.

2.4 Prosedur Pengolahan (*Roasting*) Kakao

Biji kakao yang telah dibersihkan dimasukkan ke dalam mesin *roaster* yang telah dikalibrasi suhunya sesuai perlakuan (95 °C, 105 °C, dan 115 °C) dengan durasi waktu *roasting* yang dikontrol konstan 30 menit. Setelah proses *roasting* selesai, biji kakao didinginkan (*cooling*), dipisahkan dari kulitnya, kemudian dipres untuk mengekstrak sebagian lemaknya, lalu digiling hingga menjadi bubuk kakao halus.

2.5 Prosedur Analisis

2.5.1 Uji Kadar Air

Pengukuran kadar air dilakukan secara termogravimetrik menggunakan alat *moisture analyzer*. Sebanyak 3 g sampel bubuk kakao dari masing-masing perlakuan ditimbang pada piringan sampel instrumen, kemudian dipanaskan pada suhu 105 °C hingga dicapai bobot konstan. Persentase kadar air dibaca secara otomatis pada layar instrumen.

2.5.2 Prosedur Uji Mikrobiologi (ALT dan AKK)

S10 g bubuk kakao dilarutkan secara aseptis ke dalam 90 mL larutan BPW 0,1% steril (pengenceran 10^{-1}) dan dihomogenkan. Dibuat deret pengenceran bertingkat hingga 10^{-4} .

Uji Angka Lempeng Total (ALT): sebanyak 1 mL dari masing-masing pengenceran dituangkan secara *pour plate* ke dalam cawan petri yang berisi media PCA steril. Setelah media memadat, cawan diinkubasi pada suhu 35°C-37°C selama 48 jam. Koloni bakteri yang tumbuh dihitung menggunakan *colony counter*.

Uji Angka Kapang Khamir (AKK): sebanyak 0,1 mL sampel diteteskan secara *spread plate* di atas permukaan media DRBC/PDA. Cawan diinkubasi pada suhu 25°C-28°C selama 3-5 hari untuk mengamati pertumbuhan kapang dan khamir.

2.5.3 Analisis Statistik Data

Data hasil pengujian kadar air dan ALT diuji asumsi parametriknya terlebih dahulu melalui uji normalitas (Shapiro-Wilk) dan uji homogenitas varian. Jika data berdistribusi normal dan homogen, analisis dilanjutkan dengan Analysis of Variance (ANOVA) pada taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$). Apabila terdapat pengaruh signifikan ($p < 0,05$), dilakukan uji lanjut Tukey HSD secara konsisten untuk menentukan perbedaan antarperlakuan. Khusus untuk data uji AKK, apabila seluruh nilai hasil pengujian berada di bawah batas deteksi alat/metode (< 10 CFU/g atau tidak ada variasi data antar ulangan), analisis tidak dilakukan menggunakan ANOVA, melainkan dianalisis secara deskriptif komparatif mengacu pada nilai ambang batas maksimum SNI 3747:2024.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu *roasting* memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap penurunan kadar air bubuk kakao. Sementara itu, terhadap cemaran mikrobiologi berupa Angka Lempeng Total (ALT) dan Angka Kapang Khamir (AKK), peningkatan suhu *roasting* menunjukkan tren penurunan populasi mikroorganisme, namun perubahan tersebut

tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$). Penelitian ini mengamati proses produksi bubuk kakao yang diawali dengan memasukkan bahan baku berupa bungkil kakao ke dalam mesin, dilanjutkan dengan proses alkalisasi melalui penambahan larutan garam alkali sebesar 3–3,5%. Proses alkalisasi ini bertujuan untuk meningkatkan pH, memperbaiki cita rasa, mengurangi rasa asam dan sepat, serta menghasilkan warna bubuk kakao yang lebih gelap. Setelah alkalisasi, bungkil kakao melalui tahap *roasting* (penyangraian). Tahapan *roasting* memiliki peran penting dalam pembentukan cita rasa dan aroma khas kakao, sekaligus berfungsi sebagai titik kendali kritis (*Critical Control Point*) untuk mereduksi bahaya mikrobiologis (ALT dan AKK) serta menurunkan kadar air agar memenuhi standar mutu SNI 3747:2024.

Setelah melalui proses *roasting*, produk dikeluarkan menuju *cooler* yang berfungsi untuk menurunkan suhu produk hingga maksimal 35 °C sebelum dipindahkan ke mesin *grinder* untuk proses penghalusan. Mesin *grinder* dilengkapi dengan sistem pendingin karena selama proses penghalusan terjadi peningkatan suhu yang dapat melebihi 35 °C. Pada suhu tersebut, lemak kakao mulai mencair sehingga produk menjadi lengket dan dapat menghambat proses penghalusan. Setelah proses *grinding* selesai, dilakukan proses *mixing* untuk memastikan produk tercampur secara homogen, kemudian dilanjutkan dengan proses *bagging* pada produk akhir berupa bubuk kakao.

Penelitian ini menggunakan variasi suhu *roasting* target, yaitu 95 °C, 105 °C, dan 115 °C. Total proses *roasting* berlangsung selama kurang lebih 2 jam, yang mencakup tahap pemanasan awal (*pre-heating*), pencapaian suhu kritis, dan penurunan suhu (*cooling*). Pengendalian bahaya mikrobiologi yang ditetapkan sebagai titik kendali kritis (*Critical Control Point/CCP*) berada pada fase *holding time* selama 10 menit dengan batas kritis suhu 105 °C–125 °C. Suhu selama proses dikendalikan secara otomatis menggunakan sistem termokopel dan PLC *controller* pada drum *roaster* untuk menjaga stabilitas temperatur. Sampel bungkil kakao diambil tepat setelah seluruh tahapan *roasting* 2 jam selesai dan produk telah didinginkan, guna memastikan pengujian mencerminkan karakteristik akhir produk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan suhu *roasting* target berbanding lurus dengan penurunan kadar air secara signifikan ($p < 0,05$), serta menunjukkan tren penurunan populasi ALT dan AKK hingga memenuhi standar mutu SNI 3747:2024.

Tabel 1. Data Hasil Uji Olah Keseluruhan

Suhu (°C)	Kadar Air (%)	ALT (log CFU/g)	Kapang (log CFU/g)	Khamir (log CFU/g)
95	12.27 ± 0.46 ^a	2.74 ± 0.64	2.00 ± 0.42	<1
105	7.08 ± 0.46 ^b	2.53 ± 0.71	1.78 ± 0.43	<1
115	2.84 ± 0.30 ^c	2.08 ± 0.91	1.42 ± 0.58	<1

Pengambilan sampel dilakukan selama proses *roasting* pada variasi suhu 95 °C, 105 °C dan 115 °C. Sampel diambil dari tabung *roaster* berupa drum silinder berukuran besar dengan bahan bakar gas CNG yang lebih ramah lingkungan. Pengambilan sampel dilakukan oleh operator produksi terlatih, kemudian diserahkan kepada peneliti untuk dibawa ke laboratorium dan dilakukan pengujian. Pengujian kadar air dilakukan menggunakan *moisture analyzer*, sedangkan pengujian mikrobiologi meliputi Angka Lempeng Total (ALT) dan Angka Kapang Khamir (AKK) menggunakan metode *pour plate*. Pengujian mikrobiologi dilakukan dengan pengenceran 10^{-1} dan 10^{-2} untuk mempermudah proses pembacaan dan perhitungan koloni mikroba. Selama proses *roasting* terjadi beberapa perubahan penting yang diharapkan dalam produksi bubuk kakao, yaitu penurunan kadar air (dehidrasi) secara optimal, serta berkurangnya tingkat keasaman, rasa pahit dan rasa sepat

(*astringent*) pada kakao. Sebagian besar industri kakao menggunakan alat *roasting* berupa drum berputar berukuran besar yang dikenal sebagai *Sirocco-type batch roaster* (Peña-Correa et al., 2024). Peningkatan suhu *roasting* menyebabkan penurunan kadar air dan membantu menurunkan cemaran mikroorganisme pada bubuk kakao (Kurnia Harlina Dewi, 2023)

1. Pengaruh suhu terhadap kadar air

Suhu *roasting* memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kadar air bubuk kakao. Pengujian dilakukan pada 5 sampel berbeda dari 5 *batch* produksi untuk menjamin representativitas dan konsistensi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan suhu *roasting* dari 95°C-115°C secara konsisten mempercepat proses evaporasi air selama pemanasan. Apabila dikaitkan dengan standar mutu SNI 3747:2024 yang menetapkan batas maksimum kadar air bubuk kakao sebesar 5%, perlakuan suhu 95°C dan 105°C belum mampu memenuhi kriteria tersebut karena masih menghasilkan kadar air di atas 5%. Kepatuhan terhadap syarat mutu SNI baru tercapai pada perlakuan suhu 115°C, yaitu kadar air berhasil ditekan hingga di bawah 5%. Implikasi dari pencapaian batas kritis kadar air pada suhu 115°C ini sangat vital, tidak hanya untuk menjamin legalitas standar mutu produk, tetapi juga secara efektif menekan aktivitas air (*aW*), mencegah pertumbuhan mikroorganisme pembusuk, serta memperpanjang umur simpan bubuk kakao selama penyimpanan.

2. Pengaruh suhu terhadap Angka Lempeng Total (ALT)

Suhu *roasting* menunjukkan kecenderungan (*trend*) terhadap penurunan nilai Angka Lempeng Total (ALT) pada bubuk kakao. Pengujian ALT dilakukan untuk mengetahui populasi cemaran bakteri aerob mesofilik pada produk setelah melalui tahap pemanasan. Hasil analisis statistik (ANOVA) menunjukkan bahwa perbedaan suhu *roasting* (95°C, 105°C, dan 115°C) tidak memberikan pengaruh yang berbeda nyata ($p > 0,05$) terhadap nilai ALT. Meskipun demikian, secara deskriptif terlihat kecenderungan bahwa semakin tinggi suhu *roasting*, nilai ALT mengalami penurunan. Penurunan ini berkaitan dengan mekanisme paparan panas pada suhu tinggi yang mampu merusak struktur seluler dan mendenaturasi protein mikroba. Walaupun secara statistik variasi suhu pada rentang tersebut belum menunjukkan perbedaan signifikan, tahapan *roasting* itu sendiri tetap berperan penting sebagai langkah pengendalian dan pencegahan dalam mengurangi beban bahaya mikrobiologi guna menjaga keamanan produk bubuk kakao.

3. Pengaruh suhu terhadap angka kapang khamir (AKK)

Peningkatan suhu *roasting* juga berpengaruh terhadap penurunan Angka Kapang Khamir (AKK). Kapang Khamir umumnya lebih mudah tumbuh pada produk dengan kadar air tinggi. Selama proses *roasting* terjadi penurunan kadar air dan aktivitas air sehingga kondisi produk menjadi kurang mendukung untuk pertumbuhan kapang dan khamir. Selain itu, paparan suhu tinggi selama *roasting* dapat merusak struktur sel mikroorganisme sehingga jumlah AKK pada produk mengalami penurunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu *roasting* yang lebih tinggi menghasilkan nilai AKK yang lebih rendah dan membantu produk memenuhi standar mutu mikrobiologi.

Selain menunjukkan penurunan kadar air, ALT, dan AKK, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa proses *roasting* memiliki peranan penting sebagai tahapan pengendalian mutu fisik sekaligus mutu mikrobiologis pada produksi bubuk kakao. Penurunan kadar air yang terjadi selama proses penyangraian tidak hanya menunjukkan bahwa proses pemanasan berjalan efektif, tetapi juga menjadi faktor yang mendukung penurunan cemaran mikroorganisme. Air merupakan salah satu komponen penting yang dibutuhkan mikroorganisme untuk melakukan metabolisme, pertumbuhan, dan

pembentukan koloni. Ketika kadar air bahan menurun, ketersediaan air bagi mikroorganisme menjadi lebih terbatas sehingga kondisi produk menjadi kurang mendukung bagi pertumbuhan mikroba. Hal ini sejalan dengan (Liu et al., 2022) yang menjelaskan bahwa pada produk pangan berkadar air rendah, mikroorganisme umumnya tidak mudah tumbuh karena terbatasnya ketersediaan air, meskipun beberapa mikroba masih dapat bertahan dalam kondisi stres. Oleh karena itu, pengaruh suhu *roasting* terhadap penurunan ALT dan AKK tidak hanya terjadi akibat paparan panas secara langsung, tetapi juga karena produk menjadi lebih kering dan lebih stabil setelah proses pemanasan selesai.

Tabel 2. Uji Normalitas

Suhu	Shapiro-Wilk			
		Statistic	df	Sig.
Moisture	95	0.929	5	0.589
	105	0.813	5	0.104
	115	0.958	5	0.796
ALT	95	0.855	5	0.211
	105	0.806	5	0.090
	115	0.897	5	0.391
Kapang	95	0.954	5	0.763
	105	0.963	5	0.831
	115	0.799	5	0.079

Hasil uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa seluruh data parameter kadar air, ALT, dan Kapang pada tiap perlakuan suhu memiliki nilai signifikansi $\geq 0,05$. Hal ini mengindikasikan bahwa data terdistribusi normal, sehingga analisis selanjutnya dapat dilakukan dengan uji homogenitas dan one-way ANOVA untuk mengevaluasi perbedaan signifikan antar perlakuan suhu. Pemenuhan asumsi normalitas ini memastikan validitas hasil ANOVA dan memudahkan interpretasi perbedaan antar kelompok.

Pada produk bubuk kakao, kadar air menjadi parameter penting karena berhubungan langsung dengan kestabilan produk selama penyimpanan. Bubuk kakao memiliki sifat mudah menyerap kelembapan dari lingkungan, terutama jika kemasan kurang rapat atau kondisi ruang penyimpanan memiliki kelembapan relatif yang tinggi. Apabila kadar air produk terlalu tinggi, bubuk kakao dapat mengalami penggumpalan, penurunan daya alir, perubahan tekstur, serta penurunan mutu selama penyimpanan. Dalam proses industri, bubuk yang menggumpal dapat menghambat proses penimbangan, pencampuran, dan penggunaan lanjutan sebagai bahan baku produk pangan. (Santander et al., 2025) menjelaskan bahwa pengeringan kakao merupakan tahap penting yang menentukan kestabilan bahan karena kadar air yang tidak terkendali dapat memengaruhi mutu selama penyimpanan. Dengan demikian, penurunan kadar air melalui proses *roasting* tidak hanya penting untuk memenuhi standar mutu, tetapi juga berperan dalam menjaga stabilitas fisik, mikrobiologi, dan umur simpan bubuk kakao.

Tabel 3. Hasil Uji Homogenitas

Parameter	Signifikansi	Kesimpulan
Kadar Air	0.574	Data Homogen
ALT	0.568	Data Homogen
Kapang	0.882	Data Homogen

Berdasarkan hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa varians antar kelompok untuk semua parameter yang diuji, yaitu kadar air, ALT, dan Kapang, memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05. Kadar air memiliki nilai signifikansi 0,574, ALT sebesar 0,568, dan Kapang 0,882. Hasil ini menunjukkan bahwa varians antar kelompok suhu homogen sehingga data memenuhi salah satu prasyarat penting untuk melakukan analisis sidik ragam (*one-way ANOVA*). Dengan terpenuhinya asumsi homogenitas ini, perbedaan antar perlakuan suhu dapat dianalisis secara sah, dan interpretasi hasil ANOVA dapat dilakukan dengan valid karena distribusi varians yang konsisten memastikan perbandingan antar kelompok lebih akurat.

Tabel 4. ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Kadar air	Between Groups	223.071	2	111.535	657.806	<0.001
	Within Groups	2.035	12	0.170		
	Total	225.105	14			
ALT	Between Groups	1.161	2	0.581	0.998	0.397
	Within Groups	6.977	12	0.581		
	Total	8.138	14			
Kapang	Between Groups	0.865	2	0.432	1.870	0.196
	Within Groups	2.774	12	0.231		
	Total	3.639	14			

Hasil ANOVA menunjukkan bahwa suhu *roasting* berpengaruh nyata terhadap kadar air karena nilai signifikansinya $< 0,05$, sehingga perlu dilakukan uji lanjut Tukey untuk mengetahui perbedaan antarperlakuan suhu. Sementara itu, nilai signifikansi ALT dan kapang $> 0,05$ sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi suhu tidak berpengaruh signifikan terhadap total mikroba maupun jumlah kapang pada bubuk kakao.

Tabel 5. Hasil Uji Lanjut Tukey

Suhu <i>roasting</i> (°C)	N	Rata-rata Kadar Air (%) $\pm$ SD	Keterangan Pemenuhan SNI 3747:2024 (Maks. 5%)
95	5	12,27 $\pm$ 0,46 ^a	Tidak memenuhi
105	5	7,08 $\pm$ 0,46 ^b	Tidak memenuhi
115	5	2,84 $\pm$ 0,30 ^c	Memenuhi

Berdasarkan uji lanjut Tukey, seluruh perlakuan suhu *roasting* memiliki perbedaan nyata satu sama lain terhadap kadar air. Hal ini ditunjukkan oleh notasi huruf yang berbeda pada setiap perlakuan, yaitu 95°C (a), 105°C (b), dan 115°C (c). Perbedaan notasi huruf menunjukkan bahwa setiap tingkat suhu, artinya, peningkatan suhu dari 95°C ke 105°C dan 115°C masing-masing memberikan penurunan kadar air yang berbeda secara signifikan, sehingga setiap kenaikan suhu menghasilkan efek yang jelas terhadap pengurangan kadar air pada bubuk kakao. Hasil ini menguatkan kesimpulan ANOVA sebelumnya bahwa suhu pengeringan berpengaruh nyata terhadap kadar air dan menunjukkan bahwa pemilihan suhu *roasting* secara tepat sangat penting untuk mengendalikan kadar air produk akhir.

Hasil uji statistik menjadi dasar penting untuk memperkuat kesimpulan. Apabila hasil ANOVA menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0,05, maka dapat dinyatakan bahwa suhu *roasting*

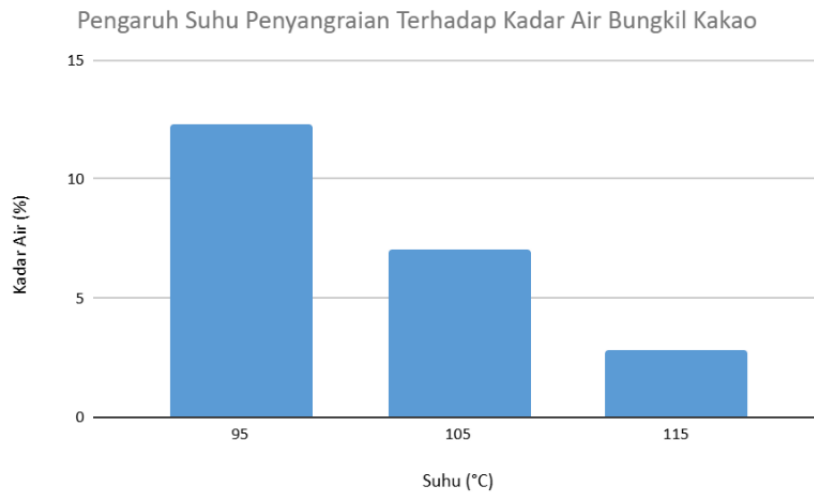
memberikan pengaruh nyata terhadap parameter yang diuji. Namun, ANOVA hanya menunjukkan adanya perbedaan secara umum antar perlakuan. Untuk mengetahui pasangan suhu mana yang berbeda nyata, uji lanjut Tukey atau LSD perlu digunakan. Misalnya, jika suhu 95°C berbeda nyata dengan 105°C dan 115°C, maka peningkatan suhu terbukti memberikan perubahan bermakna terhadap mutu produk. Apabila suhu 105°C dan 115°C tidak berbeda nyata, maka kedua suhu tersebut dapat dianggap memberikan efek yang relatif sama secara statistik. Pada tabel dapat dilihat bahwa perlakuan setiap suhu berada pada *subset* yang berbeda sehingga dapat diberikan notasi huruf yang berbeda untuk menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan.

Penurunan kadar air selama *roasting* dapat dijelaskan melalui mekanisme perpindahan panas dan perpindahan massa. Ketika bungkil kakao menerima panas dari *roaster*, suhu permukaan bahan meningkat terlebih dahulu. Panas tersebut kemudian bergerak ke bagian dalam bahan dan menyebabkan air yang terdapat dalam matriks bahan memperoleh energi untuk bergerak menuju permukaan. Setelah mencapai permukaan, air menguap ke lingkungan penyangraian. Semakin tinggi suhu *roasting*, semakin besar energi panas yang diterima bahan sehingga proses penguapan air berlangsung lebih cepat. (Ariana et al., 2019) menjelaskan bahwa kadar air kakao selama penyangraian dipengaruhi oleh suhu, waktu, dan difusivitas kelembapan dalam bahan. Dengan demikian, pada suhu 95°C proses penguapan tetap terjadi tetapi intensitasnya relatif lebih rendah, sedangkan pada suhu 105°C dan 115°C proses pengeringan berlangsung lebih kuat karena energi panas yang diterima bahan semakin besar (Gambar 1).

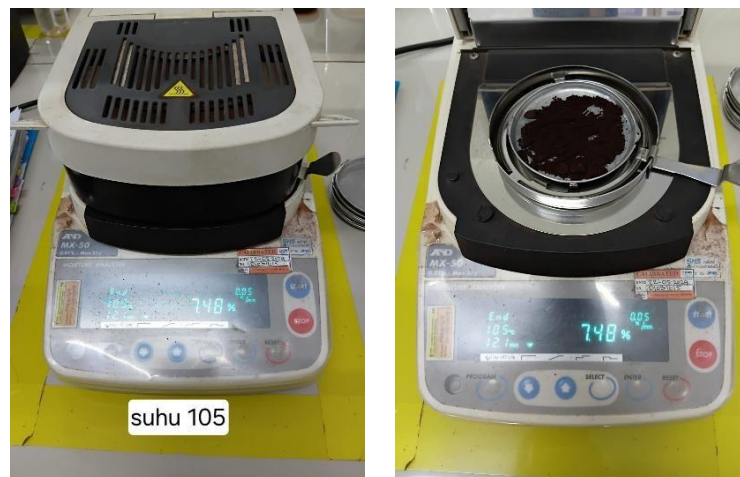
Efektivitas penurunan kadar air juga dipengaruhi oleh karakteristik bahan baku. Bungkil kakao merupakan bahan hasil pengolahan kakao yang memiliki komposisi kompleks, seperti serat, protein, lemak, karbohidrat, mineral, dan senyawa bioaktif. Struktur bahan tersebut dapat memengaruhi cara panas masuk ke dalam bahan dan cara air keluar dari bahan. Jika ukuran partikel tidak seragam atau struktur bahan terlalu padat, distribusi panas dapat menjadi tidak merata. Bagian bahan yang lebih kecil atau lebih dekat dengan sumber panas dapat mengalami penurunan kadar air lebih cepat, sedangkan bagian lain mungkin masih memiliki kadar air yang lebih tinggi. Proses *roasting* pada kakao dipengaruhi oleh kondisi pemanasan, karakteristik bahan, serta keseragaman proses karena faktor-faktor tersebut menentukan perubahan mutu fisikokimia selama penyangraian (Ariana et al., 2019).

Tabel 6. Hasil Uji Kadar Air

Suhu	Kadar Air (%)	SD
95	12.27	0.46
105	7.08	0.46
115	2.84	0.30



Gambar 1. Grafik Pengaruh Suhu Penyangraian terhadap Kadar Air Bungkil Kakao

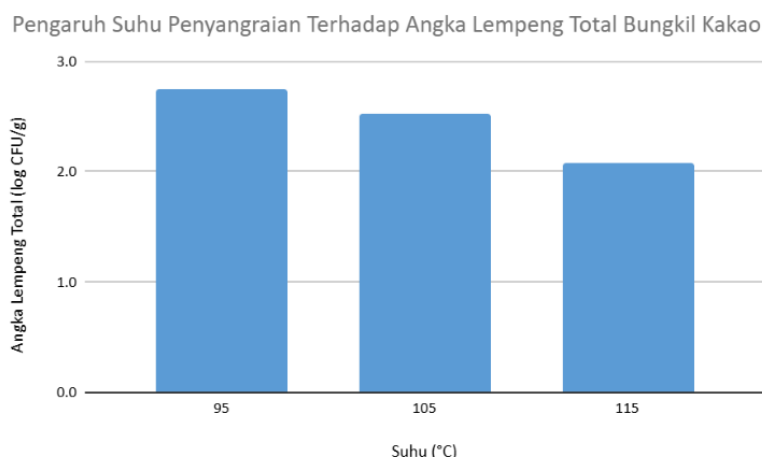


Gambar 2. Pengecekan Menggunakan Alat Uji *Moisture Analyzer*

Penurunan kadar air juga berkaitan erat dengan penurunan nilai ALT. ALT merupakan parameter yang menggambarkan jumlah total mikroorganisme aerob mesofilik yang masih mampu tumbuh pada media uji. Nilai ALT yang tinggi menunjukkan bahwa produk memiliki beban mikrobiologi yang lebih besar, sedangkan nilai ALT yang rendah menunjukkan bahwa proses pengolahan mampu menekan jumlah mikroorganisme. Dalam produksi bubuk kakao, mikroorganisme yang terukur sebagai ALT dapat berasal dari bahan baku, proses fermentasi dan pengeringan, penyimpanan bahan, udara, pekerja, peralatan, maupun kontaminasi setelah proses pemanasan. Produk bubuk kakao dan coklat dapat mengandung populasi mikroba yang bervariasi, termasuk mikroorganisme yang berasal dari bahan baku dan lingkungan pengolahan (Iacumin et al., 2022). Oleh karena itu, penurunan ALT setelah *roasting* menunjukkan bahwa proses penyangraian berperan sebagai tahapan penting dalam pengendalian cemaran mikrobiologis pada produk.

Tabel 7. Hasil Uji Angka Lempeng Total

Suhu	ALT (log CFU/g)	SD
95	2.74	0.64
105	2.53	0.71
115	2.08	0.91



Gambar 3. Grafik Pengaruh Suhu Penyangraian terhadap Angka Lempeng Total Bungkil Kakao

Mekanisme penurunan ALT akibat peningkatan suhu *roasting* dapat dijelaskan melalui efek inaktivasi termal terhadap sel mikroba. Mikroorganisme memiliki struktur sel yang sensitif terhadap panas, terutama membran sel, protein, enzim, dan materi genetik. Ketika mikroorganisme terpapar suhu tinggi, protein dan enzim dapat mengalami denaturasi sehingga tidak mampu lagi menjalankan fungsi metabolisme secara normal. Kerusakan pada membran sel juga dapat menyebabkan terganggunya keseimbangan cairan dan ion di dalam sel. (Liu et al., 2022) menjelaskan bahwa proses termal pada pangan berkadar air rendah dapat menyebabkan inaktivasi mikroba melalui kerusakan struktur sel dan gangguan fungsi fisiologis mikroorganisme. Apabila kerusakan tersebut berlangsung cukup besar, mikroorganisme kehilangan kemampuan untuk tumbuh dan membelah diri.

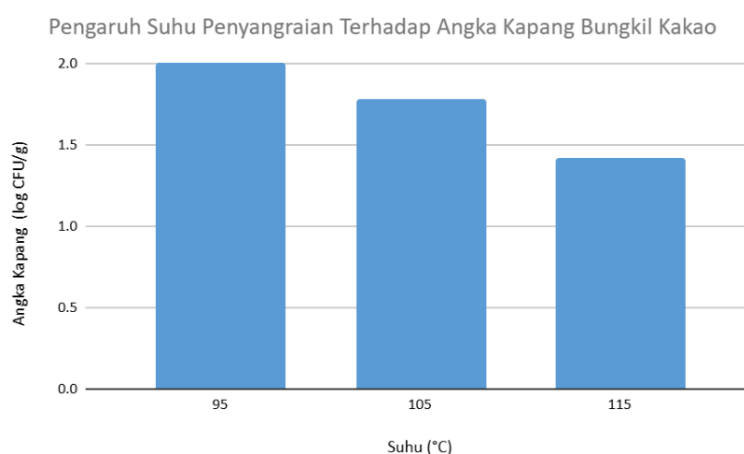
Pada pengujian ALT, mikroorganisme yang telah rusak tidak akan membentuk koloni pada media, sehingga jumlah koloni yang dihitung menjadi lebih rendah. Selain efek panas secara langsung, kondisi produk yang semakin kering juga berperan dalam membatasi pertumbuhan mikroorganisme. Mikroba membutuhkan air untuk melarutkan nutrisi, menjalankan reaksi enzimatik, dan mempertahankan aktivitas metabolisme. Ketika kadar air bubuk kakao menurun, kondisi lingkungan mikro dalam produk menjadi kurang mendukung bagi pertumbuhan mikroorganisme. Produk pangan berkadar air rendah memiliki risiko mikrobiologi yang khas karena mikroba mungkin tidak aktif tumbuh, tetapi tetap dapat bertahan dalam kondisi tertentu (Karuppuchamy et al., 2024). Hal ini menunjukkan bahwa penurunan kadar air akibat *roasting* membantu menekan pertumbuhan mikroorganisme, tetapi tetap perlu didukung oleh proses pemanasan yang memadai agar jumlah mikroba yang bertahan dapat dikurangi. Meskipun demikian, penurunan ALT tidak selalu berarti bahwa seluruh mikroorganisme telah hilang dari produk. Beberapa mikroorganisme memiliki ketahanan yang lebih tinggi terhadap panas, terutama bakteri pembentuk spora. Spora bakteri memiliki struktur pelindung yang membuatnya lebih tahan terhadap suhu tinggi, kekeringan, dan kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan. Pada produk kakao dan coklat, mikroorganisme

pembentuk spora seperti kelompok *Bacillus* dan *Geobacillus* masih dapat ditemukan karena sporanya dapat bertahan selama beberapa tahapan pengolahan. (Iacumin et al., 2022) menyatakan bahwa bubuk kakao dan produk coklat dapat mengandung bakteri pembentuk spora mesofilik dan termofilik.

Kondisi pangan berkadar air rendah juga memiliki hubungan yang kompleks dengan ketahanan mikroorganisme. Di satu sisi, kadar air rendah dapat menghambat pertumbuhan mikroba karena mikroorganisme membutuhkan air untuk melakukan aktivitas metabolisme. Namun, pada sisi lain, kondisi kering dapat membuat beberapa mikroorganisme menjadi lebih tahan terhadap panas. Ketahanan mikroba pada pangan rendah air dapat meningkat karena rendahnya kadar air memengaruhi mekanisme kerusakan sel selama pemanasan. Oleh karena itu, proses termal pada pangan rendah air seperti bubuk kakao memerlukan pengendalian suhu dan waktu yang tepat agar mampu memberikan efek reduksi mikroba yang memadai. Dengan demikian, *roasting* tidak cukup hanya dilihat sebagai proses pengeringan, tetapi juga sebagai proses pengendalian mikrobiologi yang harus divalidasi melalui hasil pengujian ALT dan AKK.

Tabel 8. Hasil Uji Kapang

Suhu	Kapang (log CFU/g)	SD
95	2.00	0.42
105	1.78	0.43
115	1.42	0.58



Gambar 4. Grafik Pengaruh Suhu Penyangraian terhadap Angka Kapang Bungkil Kakao

Tabel 9. Hasil Uji Khamir

Perlakuan Suhu (°C)	Jumlah Sampel (N)	Hasil Pengujian (CFU/g)	Konversi (log ₁₀ CFU/g)	Batas Maksimum SNI 3747:2024	Evaluasi Mutu
95	5	< 1.10 ¹	< 1,00	Maks. 5.10 ¹ CFU/g	Memenuhi
105	5	< 1.10 ¹	< 1,00	Maks. 5.10 ¹ CFU/g	Memenuhi
115	5	< 1.10 ¹	< 1,00	Maks. 5.10 ¹ CFU/g	Memenuhi

Keterangan: Batas deteksi metode uji kapang khamir (metode cawan sebar/tuang pada pengenceran terendah 10^{-1}) adalah $< 1.10^1$ CFU/g (atau $< 1,00 \log_{10}$ CFU/g). Data ditampilkan sebagai rerata dari 5 batch ulangan

Berdasarkan Tabel 9, seluruh sampel pengujian Angka Kapang Khamir (AKK) pada variasi suhu 95°C , 105°C , dan 115°C menghasilkan nilai di bawah batas deteksi metode, yaitu $< 1.10^1$ CFU/g atau $< 1,00 \log_{10}$ CFU/g. Nilai ini berada jauh di bawah ambang batas maksimum cemaran kapang khamir yang ditetapkan oleh SNI 3747:2024 (maksimal 5.10^1 CFU/g atau $1,70 \log_{10}$ CFU/g). Karena seluruh data dari kelima *batch* eksperimen pada semua taraf suhu menghasilkan nilai yang identik di bawah batas deteksi (varian data konstan dan bernilai nol), data uji AKK tidak memenuhi syarat asumsi variabilitas untuk dianalisis menggunakan *Analysis of Variance* (ANOVA). Oleh karena itu, evaluasi terhadap parameter ini dilakukan secara deskriptif komparatif terhadap standar SNI. Hasil ini mengindikasikan bahwa perlakuan pemanasan mulai dari suhu 95°C selama proses *roasting* sudah sangat efektif mengeliminasi populasi kapang dan khamir hingga ke tingkat aman yang tidak terdeteksi instrumen pengujian.

Selain bakteri aerob mesofilik, kapang dan khamir juga menjadi parameter penting dalam mutu bubuk kakao. Penurunan AKK pada penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan suhu *roasting* mampu menekan cemaran fungi pada produk. Kapang dan khamir dapat berasal dari bahan baku, proses pascapanen, lingkungan produksi, udara, pekerja, peralatan, maupun tahap pengemasan. Pada bahan kakao, keberadaan kapang sering berkaitan dengan proses fermentasi, pengeringan, dan penyimpanan yang kurang terkendali. Keberadaan kapang dalam fermentasi kakao tidak diharapkan karena dapat menurunkan mutu bahan dan berpotensi berkaitan dengan pembentukan senyawa yang tidak diinginkan (Rahayu et al., 2021). Penurunan AKK selama proses *roasting* dapat dijelaskan melalui dua mekanisme utama, yaitu kerusakan langsung akibat panas dan berkurangnya ketersediaan air akibat proses pengeringan. Kapang dan khamir memiliki struktur sel yang dapat rusak ketika terpapar suhu tinggi. Pada khamir, panas dapat merusak membran plasma, mengganggu fungsi enzim, dan menghambat metabolisme sel. Pada kapang, panas dapat menurunkan viabilitas spora dan merusak struktur hifa atau miselium. (Ananti et al., 2026) menegaskan bahwa pengujian kapang dan khamir pada produk kakao penting dilakukan karena keberadaan fungi dapat memengaruhi mutu dan umur simpan produk.

Keterkaitan antara kadar air dan AKK juga menjadi dasar penting dalam menjelaskan hasil penelitian ini. Kapang dan khamir membutuhkan air untuk pertumbuhan dan aktivitas metabolisme. Ketika kadar air bubuk kakao menurun akibat *roasting*, kondisi produk menjadi lebih kering dan kurang sesuai bagi pertumbuhan fungi. (Iacumin et al., 2022) menjelaskan bahwa aktivitas air yang rendah pada produk kakao dapat membatasi pertumbuhan aktif mikroorganisme, meskipun beberapa mikroba tertentu masih dapat bertahan.

Pada perlakuan suhu 95°C , penurunan AKK kemungkinan sudah terjadi, tetapi belum maksimal karena intensitas panas yang diterima bahan relatif lebih rendah. Pada suhu ini, sebagian kapang dan khamir dapat mengalami stres akibat pemanasan, tetapi sebagian lainnya masih mampu bertahan dan membentuk koloni. Pada suhu 105°C , efek pemanasan menjadi lebih kuat sehingga jumlah kapang dan khamir yang bertahan cenderung lebih rendah. Pada suhu 115°C , kombinasi antara suhu tinggi dan penurunan kadar air berlangsung lebih intensif, sehingga nilai AKK cenderung paling rendah. (Ariana et al., 2019) menyatakan bahwa peningkatan intensitas *roasting* dapat memperbesar perubahan fisikokimia pada kakao karena bahan menerima panas yang lebih besar. Dalam penelitian ini,

perubahan tersebut dapat dikaitkan dengan semakin efektifnya penurunan kadar air dan cemaran mikrobiologi pada suhu yang lebih tinggi.

Mutu bahan baku sebelum proses *roasting* juga sangat menentukan nilai ALT dan AKK pada produk akhir. Jika bahan baku memiliki cemaran mikrobiologi awal yang tinggi, proses *roasting* mungkin tetap menurunkan jumlah mikroorganisme, tetapi hasil akhirnya dapat lebih tinggi dibandingkan bahan baku dengan cemaran awal rendah. Pada kakao, kualitas bahan sangat dipengaruhi oleh proses pascapanen. Fermentasi berperan dalam pembentukan prekursor rasa, tetapi proses ini juga melibatkan berbagai mikroorganisme. Fermentasi kakao melibatkan khamir, bakteri asam laktat, dan bakteri asam asetat yang berperan dalam perubahan kimia biji kakao. Setelah fermentasi, tahap pengeringan menjadi penting untuk menurunkan kadar air bahan agar lebih stabil selama penyimpanan. Pengeringan kakao berperan besar dalam menjaga stabilitas bahan dan mencegah penurunan mutu selama penyimpanan (Santander et al., 2025b).

Selain bahan baku, distribusi panas selama *roasting* juga memengaruhi hasil penelitian. Pada roaster tipe drum, bahan akan bergerak selama proses berlangsung sehingga diharapkan panas dapat tersebar lebih merata (Ariana et al., 2019). Namun, dalam kondisi produksi nyata, distribusi panas masih dapat bervariasi karena dipengaruhi oleh kapasitas muatan, kecepatan putaran drum, lama proses, ketebalan lapisan bahan, dan karakteristik bahan. Jika sebagian bahan tidak menerima panas yang cukup, maka bagian tersebut dapat memiliki kadar air lebih tinggi dan jumlah mikroorganisme yang lebih besar. Perubahan kadar air selama penyangraian sangat dipengaruhi oleh perpindahan panas dan kelembapan dalam bahan. Dengan demikian, ketidakmerataan pemanasan dapat menyebabkan variasi hasil antar sampel atau antar batch.

Tahapan setelah *roasting* juga perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi mutu akhir bubuk kakao. Setelah keluar dari roaster, produk masuk ke tahap pendinginan. Pendinginan bertujuan menurunkan suhu produk sebelum masuk ke proses penghalusan. Tahap ini penting karena suhu produk yang terlalu tinggi dapat menyebabkan lemak kakao mencair sebagian. Apabila lemak kakao mencair, bubuk dapat menjadi lengket, menggumpal, dan lebih sulit digiling. Selain itu, produk yang masih panas juga berpotensi mengalami kondensasi apabila bersentuhan dengan udara atau permukaan yang lebih dingin. Kondensasi dapat meningkatkan kelembapan lokal pada produk dan berpotensi menciptakan kondisi yang lebih mendukung bagi pertumbuhan mikroorganisme.

Pendinginan juga menjadi tahap yang berisiko menyebabkan kontaminasi ulang. Produk yang telah melalui proses *roasting* memiliki jumlah mikroorganisme yang lebih rendah, tetapi pada saat pendinginan produk kembali terpapar udara, permukaan alat, dan lingkungan produksi. Jika *cooler*, saluran transfer, atau area produksi tidak bersih, mikroorganisme dapat kembali masuk ke dalam produk. (Iacumin et al., 2022) menjelaskan bahwa kontaminasi mikroba pada produk kakao dan cokelat dapat berkaitan dengan bahan baku maupun tahap akhir pengolahan. Hal ini dapat menyebabkan nilai ALT atau AKK pada produk akhir lebih tinggi daripada yang diharapkan.

Setelah pendinginan, proses grinding atau penghalusan menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil dan tekstur bubuk yang lebih halus. Namun, proses ini dapat menghasilkan panas akibat gesekan antara bahan dan permukaan alat. Jika suhu meningkat terlalu tinggi selama penggilingan, lemak kakao dapat mencair dan menyebabkan produk menjadi lengket atau menggumpal. Kondisi ini dapat menurunkan efisiensi proses dan memengaruhi karakteristik bubuk. Selain itu, ukuran partikel yang semakin kecil membuat luas permukaan produk meningkat, sehingga produk menjadi lebih mudah

berinteraksi dengan udara dan kelembapan lingkungan. Karakteristik fisik kakao setelah proses termal dapat memengaruhi tahapan pengolahan lanjutan.

Proses *mixing* dan *bagging* juga memiliki peran penting dalam menjaga konsistensi dan keamanan produk akhir. *Mixing* dilakukan untuk memastikan bubuk kakao tercampur secara homogen, sehingga karakteristik produk lebih seragam. Namun, pada tahap ini produk telah berada dalam bentuk bubuk halus yang mudah terpapar lingkungan. Jika alat *mixing* tidak bersih atau kualitas udara ruang produksi kurang terkontrol, produk dapat mengalami kontaminasi mikrobiologi. Setelah *mixing*, produk masuk ke tahap *bagging* atau pengemasan. Kemasan harus mampu melindungi bubuk kakao dari kelembapan, udara, kontaminan fisik, dan mikroorganisme. Karuppuachamy et al. (2024) menjelaskan bahwa pengendalian pangan berkadar air rendah tidak hanya ditentukan oleh proses termal, tetapi juga oleh pencegahan kontaminasi ulang dan pengendalian lingkungan setelah proses. Oleh karena itu, pengendalian mutu bubuk kakao tidak berhenti pada proses *roasting*, tetapi harus dilanjutkan hingga pengemasan dan penyimpanan.

Dari sisi sensori, suhu *roasting* juga perlu dikendalikan agar produk tidak hanya aman secara mikrobiologi, tetapi juga memiliki karakteristik khas bubuk kakao. Selama *roasting*, terjadi berbagai perubahan kimia yang berkontribusi terhadap pembentukan warna, aroma, dan rasa. Reaksi Maillard antara gula pereduksi dan asam amino menghasilkan senyawa berwarna coklat dan senyawa volatil yang membentuk aroma khas kakao. Selain itu, pemanasan dapat membantu mengurangi rasa asam dan sepat sehingga profil rasa menjadi lebih seimbang. (Lima et al., 2024) menyatakan bahwa kondisi penyangraian dapat memengaruhi sifat fisikokimia, kandungan fenolik, dan kapasitas antioksidan kakao.

Berdasarkan keseluruhan parameter yang diuji, perlakuan suhu 115⁰C dapat direkomendasikan sebagai perlakuan paling efektif dalam menurunkan kadar air serta meminimalkan beban cemaran mikrobiologi (ALT dan AKK) pada bubuk kakao. Tingginya energi pada suhu 115⁰C mempercepat evaporasi air hingga menekan kadar air ke angka 2,84%, yaitu satu-satunya perlakuan yang berhasil memenuhi batas maksimum kriteria mutu SNI 3747:2024 (maksimal 5%). Selain itu, perlakuan ini secara konsisten menghasilkan nilai pencemaran ALT dan AKK terendah di antara taraf suhu yang diuji. Meskipun demikian, penetapan suhu 115⁰C sebagai suhu optimum secara menyeluruh untuk skala industri masih memerlukan validasi data tambahan, khususnya terkait profil mutu sensori (warna, aroma, dan rasa) kakao serta kandungan kimia spesifik (seperti kadar lemak dan aktivitas antioksidan atau polifenol) guna memastikan tidak terjadinya kerusakan mutu dan menjaga efisiensi energi proses.

Interpretasi data mikrobiologi juga perlu dilakukan secara hati-hati karena mikroorganisme dalam bahan pangan tidak selalu tersebar merata. Pada produk bubuk, mikroorganisme dapat terkonsentrasi pada bagian tertentu tergantung pada sumber kontaminasi, ukuran partikel, kelembapan lokal, dan cara pengambilan sampel. Oleh karena itu, hasil pengujian ALT dan AKK dapat memiliki variasi antar ulangan atau antar *batch*. Penggunaan pengenceran 10⁻¹ dan 10⁻² pada metode *pour plate* membantu memperoleh jumlah koloni yang dapat dihitung, tetapi hasil tetap perlu dianalisis dengan memperhatikan variasi biologis. Populasi mikroba pada produk kakao dapat bervariasi tergantung pada bahan baku, proses, dan kondisi produk (Iacumin et al., 2022). Dalam mikrobiologi pangan, data ALT dan AKK sering kali disajikan dalam bentuk log CFU/g karena jumlah mikroorganisme dapat memiliki rentang yang luas. Pendekatan logaritmik umum digunakan untuk mengevaluasi reduksi mikroba pada proses termal pangan (Liu et al., 2022).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses *roasting* merupakan tahapan kunci dalam produksi bubuk kakao. Proses ini tidak hanya berfungsi membentuk aroma, rasa, dan warna khas kakao, tetapi juga berperan dalam menurunkan kadar air serta mengurangi cemaran mikrobiologi. Penurunan kadar air membantu menjaga stabilitas fisik produk, sedangkan penurunan ALT dan AKK menunjukkan adanya perbaikan mutu mikrobiologi. Namun, keberhasilan proses *roasting* tetap harus didukung oleh pengendalian bahan baku, distribusi panas yang merata, sanitasi peralatan, pendinginan yang higienis, penghalusan yang terkendali, pencampuran yang bersih, serta pengemasan yang mampu mencegah masuknya kelembapan. Dengan pengendalian proses yang baik, bubuk kakao yang dihasilkan dapat memenuhi standar mutu, aman dikonsumsi, dan stabil selama penyimpanan.

4 KESIMPULAN

Dari data pengujian yang diperoleh, peningkatan suhu pengeringan dari 95°C hingga 115°C terbukti dapat menurunkan kadar air secara signifikan dengan perbedaan yang nyata antar tingkat suhu yang berbeda. Sementara itu, nilai Angka Lempeng Total dan jumlah kapang menunjukkan tren penurunan dengan perubahan yang tidak signifikan secara statistik. Sedangkan pengaruh peningkatan suhu *roasting* terhadap jumlah khamir pada seluruh perlakuan berada di bawah batas deteksi, menunjukkan efektivitas proses pengeringan dalam menghambat pertumbuhan khamir. Berdasarkan data tersebut, suhu *roasting* pada 115°C sangat direkomendasikan. Meskipun demikian, pengujian lanjutan penerimaan organoleptik dapat dilakukan sebagai salah satu parameter optimalisasi suhu *roasting* bungkil kakao.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis memanjatkan puji syukur ke Allah SWT yang berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan terima kasih kepada perusahaan tempat penelitian dilaksanakan atas kesempatan, dukungan, dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian berlangsung. Selain itu, terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua atas doa, dukungan, motivasi dan kasih sayang yang senantiasa diberikan. Semoga segala bantuan yang diberikan dibalas oleh Allah SWT. Teknik penyusunan karya ilmiah ini dibantu dengan kecerdasan buatan (AI) secara terbatas seperti ChatGPT untuk keperluan membantu penyuntingan tata bahasa (*grammar/spell check*), membantu merumuskan struktur kerangka tulisan (*outline*), menerjemahkan referensi dari bahasa asing dan melakukan *brainstorming* ide atau pencarian kata kunci.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananti, C. F., Hasanah, U., & Kusumaningrum, H. D. (2026). *Verification of Alternative Agar Plate Method for Quantitative Analysis of Yeasts and Molds in Cocoa Products*. 15(1), 213–222.
- Ariana, L., Concepci, I., Mercedes, L., Barajas-fern, J., Joaqui, F., & Garc, P. (2019). *Kinetic Studies and Moisture Diffusivity During Cocoa Bean Roasting*. 7(770), 1–12. <https://doi.org/doi:10.3390/pr7100770>
- B. Andi Pallawa, N., Berlian, M., & Sulfianti. (2024). Analisis Kadar Air pada Biji Kakao Terhadap Variasi Waktu Penyangraian: Tinjauan Khusus untuk Peningkatan Kualitas Produk. *Journal of Sustainable Research In Management of Agroindustry (SURIMI)*, 4(1), 14–19. <https://doi.org/10.35970/surimi.v4i1.2264>
- Dwicahyo, A., Santosa, K. M., & Nurfadila, A. R. (2024). *OPEN ACCESS Analisis Kualitas Mutu Produksi Bubuk Kakao di Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia Quality Analysis of Cocoa Powder Production at the Indonesian Coffee and Cocoa Research Center*. 24(3). <https://doi.org/10.25047/jii.v24i3.5041>

- Dzelagha, B. F., Ngwa, N. M., & Bup, D. N. (2020). A review of cocoa drying technologies and the effect on bean quality parameters. In *International Journal of Food Science* (Vol. 2020). Hindawi Limited. <https://doi.org/10.1155/2020/8830127>
- Elanarni, D., Pracoyo, M. A., & Damat. (2025). Roasting Time Optimization for Fermented Cocoa Beans: Effects on Chemical Composition and Sensory Profile of Cocoa Powder. *BIO Web of Conferences*, 201. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202520105009>
- Iacumin, L., Pellegrini, M., Colautti, A., Orecchia, E., & Comi, G. (2022). *Microbial Characterization of Retail Cocoa Powders and*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2024). *Kakao Bubuk*. SNI 3747:2024. Jakarta.
- Karuppuchamy, V., Heldman, D. R., & Snyder, A. B. (2024). A review of food safety in low-moisture foods with current and potential dry-cleaning methods. (September 2023), 793–810. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16920>
- Kurnia Harlina Dewi, M. Z. dan M. S. (2023). *Pengaruh_Suhu_Dan_Lama_Waktu_Penyangraia*.
- Lima, G. V. S., Gonçalves, C., Suellen, A., Pinto, O., Vict, G., Martins, E., Nazareno, J., & Souza, S. De. (2024). Impact of post-harvest processing and roasting conditions on the physicochemical properties , phenolic compounds , and antioxidant capacity of cocoa beans from the Brazilian Amazon. 210(July). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116825>
- Liu, S., Roopesh, M. S., Tang, J., Wu, Q., & Qin, W. (2022). Recent development in low-moisture foods : Microbial safety and thermal process. *Food Research International*, 155(December 2021), 111072. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111072>
- Niswah, F. S., Wayan, I., Yasa, S., & Nofrida, R. (2025). PENGARUH SUHU DAN LAMA PENYANGRAIAN BIJI KAKAO TERHADAP KARAKTERISTIK MUTU TEH KULIT BIJI KAKAO (*Theobroma cacao L.*) THE EFFECT OF TEMPERATURE AND ROASTING TIME CACAO BEANS OF CHARACTERISTICS OF COCOA BEAN SHELL TEA (Vol. 3, Number 2).
- Peña-Correa, R. F., Ataç Mogol, B., & Fogliano, V. (2024). The impact of roasting on cocoa quality parameters. In *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* (Vol. 64, Number 13, pp. 4348–4361). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2141191>
- Rahayu, E. S., Triyadi, R., Khusna, R. N. B., Djaafar, T. F., Utami, T., Marwati, T., & Hatmi, R. U. (2021). *Indigenous Yeast , Lactic Acid Bacteria , and Acetic Acid Bacteria from Cocoa Bean Fermentation in Indonesia Can Inhibit Fungal-Growth-Producing Mycotoxins*.
- Saniya Juli A, M. N., & Nugrahayu Nalawati, A. (2024). STUDI PENERAPAN HAZARD ANALYSIS AND CRITICAL CONTROL POINT (HACCP) PADA PENGOLAHAN COKELAT BATANG (STUDI KASUS DI PTPN XII KENDENGLEMBU BANYUWANGI). *Journal of Food Industrial Technology*, 1(2), 73–86. <https://doi.org/10.25047/jofit.v1i2.4921>
- Santander, M., Chica, V., Correa, H. A. M., Rodríguez, J., Villagran, E., Vaillant, F., & Escobar, S. (2025a). Unravelling Cocoa Drying Technology: A Comprehensive Review of the Influence on Flavor Formation and Quality. In *Foods* (Vol. 14, Number 5). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/foods14050721>
- Santander, M., Chica, V., Correa, H. A. M., Rodríguez, J., Villagran, E., Vaillant, F., & Escobar, S. (2025b). *Unravelling Cocoa Drying Technology : A Comprehensive Review of the Influence on Flavor Formation and Quality*. 1–39.