

Optimasi Pasca Panen untuk Peningkatan Kualitas Biji Kakao : Review

Kasma Iswari

*Pusat Riset Agroindustri-Badan Riset dan Inovasi Nasional
Kawasan Sains & Teknologi Jl. Raya Jakarta-Bogor No.KM.47, Nanggewer Mekar, Kec. Cibinong,
Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16911, Indonesia*

kasmaiswari2020@gmail.com

Diterima 23 September 2023, Revisi 10 Oktober 2023, 25 November 2023

Abstrak

Kualitas biji kakao merupakan faktor utama yang menentukan rasa, aroma, dan karakteristik produk coklat yang dihasilkan. Oleh karena itu, optimasi pascapanen kakao yang mencakup umur panen/indeks panen, fermentasi biji kakao dan pengeringan biji memiliki peran penting dalam memastikan kualitas biji kakao. Penentuan umur panen secara konvensional menghasilkan kualitas biji tidak seragam. Saat ini dihasilkan suatu model yang dihubungkan dengan komputer untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah kakao dengan menggabungkan penggunaan teknik spektrogram dan deep learning melalui Convolutional Neural Network (CNN) untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan biji kakao berdasarkan suara yang dihasilkan saat pod kakao dipukul (thumping) yang dikenal dengan Metode Deep Learning. Pengolahan citra digital juga dapat digunakan untuk menentukan indeks kematangan buah kakao dengan menggunakan tabel warna berdasarkan parameter warna dan indeks kematangan. Proses fermentasi dipengaruhi oleh suhu, oksigen, air dan substrat. Untuk mencapai suhu optimal (44-48°C) dan warna biji kakao yang dihasilkan lebih baik dapat dilakukan dengan menggunakan wadah kotak kayu ukuran besar (70 cm x 90 cm x 100 cm). Jenis wadah juga mempengaruhi hasil fermentasi. Untuk skala kecil, tas jute jauh lebih baik karena diperoleh suhu maksimum, jumlah biji terfermentasi lebih tinggi dan rasa pahit berkurang. Metode pengeringan dengan sinar matahari terbuka, tenaga surya, oven, microwave, dan pengeringan beku telah diteliti untuk pengeringan biji kakao dengan tujuan meningkatkan kualitas akhir biji kakao. Optimasi metode pengeringan biji kakao dapat dilakukan dengan pengering rumah kaca tenaga surya (pada suhu 21–52°C), karena dapat menghilangkan risiko jamur dan kontaminasi eksternal pada biji kakao akibat hujan dan hama serta menghasilkan kualitas biji sesuai standar mutu standar SNI 2323-2008/Amandemen 1:2010

Kata Kunci : kakao, pascapanen, kualitas, fermentasi

Abstract

The quality of cocoa beans is a key factor determining the taste, aroma, and characteristics of chocolate products. Therefore, post-harvest optimization of cocoa, which includes harvesting age and harvest index, cocoa bean fermentation, and bean drying, plays a crucial role in ensuring cocoa bean quality. Conventional determination of harvest age results in inconsistent bean quality. Currently, a computer-connected model has been developed to identify cocoa fruit maturity levels by combining spectrogram techniques and deep learning through convolutional neural networks (CNNs) to classify cocoa bean maturity levels based on the sound produced when cocoa pods are thumped, known as the Deep Learning Method. Digital image processing can also be used to determine cocoa fruit maturity indices using a color chart based on color

parameters and maturity indices. The fermentation process is influenced by temperature, oxygen, water, and substrate. To achieve optimal temperature (44–48 °C) and improve the resulting cocoa bean color, large wooden boxes (70 cm x 90 cm x 100 cm) can be used. The type of container also affects the fermentation results. For small-scale operations, jute bags are much better because they achieve maximum temperature, higher levels of fermented beans, and reduced bitterness. Various drying methods, such as open-sun drying, solar drying, oven drying, microwave drying, and freeze drying, have been studied to improve the final quality of cocoa beans. Optimization of cocoa bean drying methods can be achieved through the use of solar greenhouse dryers (at temperatures of 21–52°C) since they can eliminate the risk of mold and external contamination due to rain and pests while producing cocoa beans that meet the quality standards of SNI 2323-2008/Amendment 1:2010.

Keywords: cocoa, post-harvest, quality, fermentation

PENDAHULUAN

Kakao (*Theobroma cacao*) adalah komoditas pertanian penting yang digunakan sebagai bahan dasar dalam produksi cokelat dan berbagai produk olahan kakao lainnya yang dinikmati oleh masyarakat global (Heras-Ramírez et al., 2012). Kakao telah dinikmati selama lebih dari 3500 tahun yang lalu karena rasanya enak dan kaya nutrisi, serta mempunyai kemampuan untuk memperbaiki suasana hati (Dzelagha et al., 2020). Hal ini dapat terjadi karena biji kakao mengandung 0,05-0,36% senyawa kafein, triptofan, dan asam amino esensial yang merupakan prekursor serotonin yang berfungsi sebagai neurotransmitter yang terlibat dalam pengaturan suasana hati (Prasath et al., 2020). Disamping itu biji kakao mengandung 35-50% lemak, yang terdiri dari asam lemak, 15% pati, 15% protein, 1-4% teobromin, dan 0,07-0,36% kafein, 0,19-0,30% teobromin, dan bagian epidermisnya mengandung sekitar 0,19-2,98 % senyawa alkaloid (Borja Fajardo et al., 2022).

Kualitas biji kakao merupakan faktor utama yang menentukan rasa, aroma, dan karakteristik produk cokelat yang dihasilkan (Zainuri et al., 2021). Oleh karena itu, manajemen pasca panen kakao, yang mencakup praktik pemrosesan dan penyimpanan, memiliki peran yang sangat

penting dalam memastikan kualitas biji kakao yang unggul. Disamping itu juga perlu diketahui umur panen yang tepat agar diperoleh biji kakao yang berkualitas. Buah yang belum matang atau terlalu matang pada saat panen dapat memengaruhi rasa dan kualitas biji kakao sekaligus akan mempengaruhi kualitas produk akhir yaitu cokelat (Hu et al., 2016). Selain menjadi bahan utama untuk pembuatan produk cokelat yang sangat disukai oleh berbagai kalangan, biji kakao juga memiliki dampak ekonomi yang signifikan, khususnya bagi para petani dan negara-negara produsen telah menjadikan komoditas kakao sangat berharga dalam dunia perdagangan internasional

Dalam upaya untuk memperoleh biji kakao berkualitas tinggi yang memenuhi standar internasional, para peneliti, petani, dan pemangku kepentingan industri telah melakukan penelitian yang luas dalam beberapa dekade terakhir. Review literatur ini bertujuan untuk menyajikan pandangan komprehensif tentang temuan dan pengetahuan yang telah ditemukan dalam literatur terkait praktik pasca panen kakao, dengan penekanan pada upaya-upaya untuk meningkatkan kualitas biji kakao. Disamping itu dari review dapat diketahui tahapan pascapanen yang perlu dioptimisasi sehingga adanya kebaruan ilmiah untuk dapat diketahui oleh petani,

produsen, peneliti, dan pemangku kepentingan lainnya dalam upaya untuk memperoleh biji kakao berkualitas tinggi yang memenuhi tuntutan konsumen global dan mendukung keberlanjutan industri kakao

Optimasi Umur Panen Kakao

Umur panen memberikan pengaruh yang nyata terhadap mutu biji kakao. Pemanenan terhadap buah muda atau lewat masak harus dihindari karena akan menurunkan mutu biji kakao kering, terutama meningkatkan jumlah biji gepeng dan biji berkecambah. Buah yang tepat masak mempunyai kondisi fisiologis yang optimal dalam hal pembentukan senyawa penyusun asam lemak di dalam biji. Panen buah yang terlalu tua akan menurunkan rendemen lemak dan menambah persentase biji cacat (berkecambah). Panen buah muda akan menghasilkan biji kakao bercitarasa khas coklat tidak maksimal, rendemen yang rendah, persentase biji pipih tinggi (Bueno et al., 2020; Hu et al., 2016). Menurut (Saputro, dan Helbawanti, 2020) umur panen kakao berkisar 4.5-6 bulan setelah bunga mekar, dengan ciri-ciri warna sesuai varietas. Varietas Criollo berwarna hijau saat buah muda dan berwarna kuning setelah buah tua. Sedangkan varietas Forastero berwarna merah saat masih muda, dan menjadi jingga saat buah tua. Selain warna juga ada ciri lainnya yaitu apabila diketuk akan mengeluarkan bunyi.

Penentuan indek panen secara konvensional tersebut kadang-kadang tidak cocok dengan kondisi dalam buah. Sering terjadi warna buah kuning atau jingga disebabkan oleh sengatan serangga sehingga mempercepat perubahan warna, tetapi sejatinya buah belum tua. Demikian juga dengan bunyi bila buah diketuk, tidak sama untuk semua jenis buah. Untuk itu harus dilakukan dengan cara lebih modern, berdasarkan ciri konvensional. Ciri bunyi secara konvensional tersebut yang

mendasari penelitian Bueno et al., (2020). Bueno et al., (2020) telah menghasilkan suatu model yang dihubungkan dengan komputer untuk mengidentifikasi tingkat kematangan (matang atau belum matang) buah kakao dengan menggabungkan penggunaan teknik spektrogram dan deep learning (melalui CNN) untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan pada biji kakao berdasarkan suara yang dihasilkan saat pod kakao dipukul (*thumping*). Metode Deep Learning, yaitu Convolutional Neural Network (CNN). CNN adalah jenis algoritma yang kuat dalam mengenali pola dalam gambar atau data visual. Dalam hal ini, CNN digunakan untuk mengenali pola dalam gambaran suara yang dihasilkan oleh MFCCS (Mel-Frequency Cepstral Coefficient Spectrogram)


















Hasil penelitian Bueno et al (2020) menunjukkan bahwa model yang dirancang memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Dalam aplikasi model, akurasi mencapai 97,50%, dan pada validasi, akurasi adalah 97,13%. Rata-rata akurasi keseluruhan dari sistem klasifikasi ini adalah 97,46%. Artinya, model ini sangat baik dalam mengidentifikasi apakah pod kakao sudah matang atau belum berdasarkan suara yang dihasilkan saat dipukul. Penelitian ini memiliki implikasi praktis yang signifikan. Petani atau produsen kakao dapat menggunakan teknik ini untuk membantu menentukan waktu panen yang optimal untuk mendapatkan biji kakao berkualitas tinggi, yang akan meningkatkan hasil produksi dan dapat mendukung permintaan yang terus meningkat untuk produk kakao berkualitas tinggi.

Pengolahan citra digital juga dapat digunakan dalam menentukan indek kematangan buah kakao. Dalam hal ini Garcia-Munoz et al., (2021) melaporkan hasil penelitiannya tentang penciptaan alat evaluasi kematangan buah kakao

menggunakan tabel warna berdasarkan parameter warna dan indeks kematangan (SS/TA) untuk setiap klon. Tiga klon kakao ICS06, CCN51, dan EET8 yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat kematangan buah kakao. Pendekatan ini lebih objektif dan dapat memberikan hasil yang lebih konsisten dari pada metode penilaian visual manusia. Penggunaan tabel warna ini didasarkan pada pemrosesan citra digital, dan tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas dan homogenitas buah kakao serta produk-produk turunannya. Dengan cara ini, hasilnya lebih konsisten dan tidak tergantung pada penilaian visual manusia yang dapat bervariasi. Klon-klon tersebut memiliki karakteristik yang berbeda dalam hal warna buah untuk menunjukkan kematangan. Untuk parameter warna digunakan warna (L^* , a^* , dan b^*) dan Indeks kematangan (SS/TA) berdasarkan rasio antara padatan terlarut (SS) dan total asam (TA). Perubahan warna yang terlihat selama berbagai tahap kematangan tercermin dalam peningkatan koordinat a^* dan b^* . Ini berarti bahwa warna yang didefinisikan oleh koordinat a^* (misalnya,

warna merah-hijau) dan koordinat b^* (misalnya, warna kuning-biru) mengalami perubahan yang signifikan selama proses kematangan buah kakao. Hasil penelitian (García-Muñoz et al., 2021) menunjukkan bahwa Tabel warna yang dikembangkan dapat membedakan antara tahap kematangan awal (tahap 1) dan tahap kematangan lanjut (tahap 4 atau 5) berdasarkan indeks kematangan dan koordinat warna L^* , a^* , dan b^* . Artinya, tabel warna ini dapat digunakan sebagai alat untuk secara objektif menentukan tahap kematangan buah kakao. Indeks kematangan (SS/TA) meningkat secara signifikan antara tahap kematangan 1 dan tahap kematangan 4 atau 5. Ini mengindikasikan bahwa buah kakao mencapai kematangan yang lebih baik pada tahap kematangan 4 dan 5 dibandingkan dengan tahap kematangan 1. Hasil penelitian ini menyoroti bahwa tabel warna hasil dari studi ini memiliki potensi untuk digunakan dalam industri kakao dan juga sebagai alternatif yang berguna untuk produk pertanian lainnya yang memerlukan penentuan waktu panen yang kritis, tetapi mungkin tidak memiliki alat yang sesuai untuk menilai tahap kematangan. Berikut disajikan Tabel warna yang dihasilkan oleh García-Muñoz et al., (2021) (Tabel 1)

Tabel 1. Parameter warna dan indeks kematangan (SS/TA) klon kakao

Clone	Maturity stage	L^*	a^*	b^*	Main tone	SS/TA
CCN51	1	49.70 ± 13.69 ^a	27.15 ± 29.87 ^a	22.78 ± 12.04 ^c		13.51 ± 1.61 ^{yz}
	2	44.93 ± 16.53 ^a	38.96 ± 22.26 ^a	31.00 ± 17.06 ^{bc}		11.70 ± 1.41 ^z
	3	46.15 ± 15.60 ^a	38.56 ± 25.61 ^a	30.56 ± 18.77 ^{bc}		13.63 ± 1.10 ^{yz}
	4	48.04 ± 17.19 ^a	33.37 ± 28.98 ^a	36.89 ± 18.84 ^{ab}		15.28 ± 1.93 ^y
	5	50.63 ± 16.20 ^a	37.44 ± 22.67 ^a	45.07 ± 19.12 ^a		14.90 ± 1.56 ^y
	6	-	-	-	-	-
ICS60	1	38.59 ± 11.02 ^b	-18.93 ± 3.84 ^{bc}	29.78 ± 9.28 ^c		11.32 ± 1.67 ^z
	2	54.63 ± 16.07 ^a	-22.00 ± 4.23 ^c	45.96 ± 15.95 ^b		13.52 ± 0.82 ^{yz}
	3	58.41 ± 14.42 ^a	-18.44 ± 6.14 ^{bc}	49.85 ± 14.39 ^{ab}		12.69 ± 1.27 ^{yz}
	4	58.11 ± 16.34 ^a	-13.41 ± 14.74 ^{bc}	50.15 ± 21.31 ^{ab}		14.73 ± 2.75 ^{yz}
	5	65.19 ± 12.87 ^a	-4.81 ± 16.76 ^b	60.67 ± 13.90 ^a		16.80 ± 3.33 ^y
	6	62.63 ± 12.38 ^a	18.19 ± 15.21 ^a	59.59 ± 10.01 ^a		14.08 ± 3.44 ^{yz}
EET8	1	43.44 ± 17.27 ^{bc}	23.56 ± 24.86 ^b	11.89 ± 7.45 ^d		8.98 ± 1.36 ^z
	2	42.70 ± 15.73 ^{bc}	25.67 ± 21.67 ^b	18.44 ± 11.19 ^{cd}		10.62 ± 2.30 ^{yz}
	3	41.26 ± 10.10 ^c	41.11 ± 13.53 ^a	26.33 ± 14.22 ^c		11.32 ± 2.26 ^{yz}
	4	52.37 ± 13.25 ^{ab}	31.22 ± 23.18 ^{ab}	46.41 ± 14.25 ^{ab}		13.77 ± 3.25 ^y
	5	48.00 ± 10.32 ^b	42.74 ± 15.67 ^a	44.52 ± 10.74 ^b		14.18 ± 3.10 ^y
	6	57.59 ± 8.94 ^a	30.33 ± 10.80 ^b	56.78 ± 9.32 ^a		10.84 ± 1.47 ^{yz}

Sumber (García-Muñoz et al., 2021):

Keterangan: Klon CCN51 yang berada pada tahap kematangan 6 tidak dapat diperoleh karena pada 195 hari setelah bunga mekar, klon tersebut sudah terlalu matang dan tidak cocok untuk fermentasi. Koordinat CIE L*, a* dan b* serta indeks kematangan diwakili oleh nilai rata-rata dan deviasi standarnya. Huruf yang sama pada baris yang sama berarti tidak ada perbedaan yang signifikan terhadap tahap kematangan. (a-c) Koordinat CIELAB menurut uji Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) dan Mann-Whitney U ($p < 0,005$). (y-z) Indeks kematangan menurut uji Anova ($p \leq 0,05$) dan Tukey ($p \leq 0,05$).

Main tone = warna utama yang mencakup sebagian besar permukaan pod kakao

Parameter warna (L*, a* dan b*; main tone) dan indeks kematangan (SS/TA) untuk masing-masing klon yang diteliti dan tahapan kematangan digambarkan pada tabel 1. Main tone sesuai dengan tone yang mencakup sebagian besar perubahan warna pada permukaan buah kakao juga terlihat dari bertambahnya koordinat a* dan b*. Demikian pula pada tingkat kematangan tahap 1, 4, dan 5, terjadi peningkatan indeks kematangan sebesar 4,79 dan 5,2 satuan (Tabel 1). Oleh karena itu, tabel warna EET8 membedakan antara tahap kematangan awal 1 dan tahap kematangan akhir 4 atau 5, berdasarkan indeks kematangan dan koordinat L*, a* dan b*.

Tabel warna pada penelitian ini memberikan pendekatan terhadap penerapan pengolahan citra digital di sektor kakao dan merupakan alternatif untuk mengekstrapolasinya ke jenis produk lain, yang mana penentuan waktu panen optimal sangat penting dan memberikan pengaruh yang cukup besar, namun tidak memiliki alat yang tepat untuk menentukan tahap kematangan.

Optimasi Pascapanen Kakao

Tahapan pascapanen memainkan peran kunci dalam menentukan kualitas biji kakao, dan dapat berdampak signifikan pada aroma, rasa, dan profil kualitas lainnya (Munarso, 2017). Terkait hal tersebut (Ackah and Dompey, 2021) menambahkan bahwa perlakuan pascapanen sangat penting terhadap kualitas produk jadi kakao karena perlakuan tersebut memulai pembentukan prekursor rasa coklat dan mempengaruhi warna coklat pada produk kakao. Secara umum tahapan penanganan pascapanen kakao dibedakan atas: Sortasi buah, pemeraman buah

kakao, fermentasi, pengeringan, sortasi, pengemasan dan penggudangan (Streule et al., 2022). Penanganan pascapanen kakao yang baik dan benar diharapkan akan menghasilkan biji kakao yang berkualitas tinggi, sesuai standar mutu biji kakao yang berlaku yaitu standar SNI 2323-2008/Amandemen 1:2010 dan juga sesuai dengan ISO 2451:2017(en) serta permintaan konsumen, terutama untuk tujuan ekspor dan industri pengolahan kakao. Berikut tahapan pascapanen yang dioptimisasi adalah : pemeraman buah, fermentasi, dan pengeringan

Pemeraman Buah

Perlakuan pemeraman buah sebelum pemecahan buah akan memberikan keuntungan pada citarasa coklat. Hal ini dapat terjadi karena pemeraman buah kakao menyebabkan pengurangan kandungan pulp yang melapisi biji sehingga akan meningkatkan aerasi (Hartuti, et.al., 2021). Pemeraman buah kakao umumnya dilakukan dengan cara meletakkan dan menumpuk buah kakao pada ruang terbuka selama 5–12 hari, tergantung kondisi kematangan buah dan lingkungan (Hartuti, et al, 2021). Afoakwa et al., (2015) menyatakan bahwa pemeraman buah kakao melebihi 5 hari diketahui mempengaruhi rasa dan kadar asam lemak bebas pada kakao. Perlakuan pemeraman buah selama 5 hari dapat menaikkan citarasa coklat, menurunkan rasa asam, pahit dan sepet. Hasil penelitian Laxiana and Sugiarto, (2018) melaporkan bahwa pemeraman erat kaitannya dengan kesempurnaan proses fermentasi biji kakao, yang dinyatakan dengan indek fermentasi. Pemeraman selama 4 hari memberikan indek fermentasi tertinggi yaitu 1,39 dengan pH 5,5, sedangkan tanpa pemeraman indek

fermentasi hanya 1,27 dengan pH 6,45. Semakin tinggi nilai indek fermentasi, berarti proses fermentasi berjalan sempurna sehingga tidak ada biji slaty.

Fermentasi

Setelah dilakukan pemeraman, tahapan selanjutnya adalah proses fermentasi. Fermentasi biji kakao memegang peranan yang sangat penting untuk menghasilkan biji kakao dengan rasa dan kualitas yang baik (Nizori et al., 2021). Pada tahap ini akan terjadi maserasi pulp, sehingga pulp mudah dipisahkan dari biji. Selama proses fermentasi terjadi perombakan gula yang ada dalam pulp oleh mikroorganisme menjadi asam asetat sebagai hasil dari fermentasi. Aktivitas mikroorganisme akan menghasilkan metabolit dan kondisi yang menyebabkan kematian biji dan memulai serangkaian reaksi biokimia di dalam biji kakao yang menghasilkan prekursor rasa coklat (Analianasari et al., 2023; Desy Rachmatullah et al., 2021; Laxiana and Sugiarto, 2018) Apabila biji kakao tidak mengalami proses fermentasi, maka cita rasa dan aroma khas kakao tidak terbentuk dan menyebabkan biji akan terasa pahit dan sepat (Lutfiah, 2018). Biji yang kurang fermentasi ditandai dengan warna ungu, bertekstur pejal, rasanya pahit dan sepat, sedang yang berlebihan fermentasi akan mudah pecah, berwarna coklat seperti coklat tua, cita rasa coklat kurang dan berbau apek.

Beberapa faktor yang mempengaruhi proses fermentasi adalah suhu, oksigen, air dan substrat (Tambunan et al., 2021). Suhu optimum fermentasi sekitar 45-47°C terdapat pada fermentasi hari ke 4 dan 5 dengan pH sekitar 5-5,4, total asam sekitar 0,90%. Pada kondisi tersebut, diperoleh biji kakao dengan penampakan fisik dan warna yang cukup cerah, kandungan lemak sekitar 50,45%, dan kadar air cukup rendah sekitar 4,97% (Septianti et al., 2020). Terkait suhu

(Hayati et al., 2012) sebelumnya juga sudah melaporkan hasil penelitiannya bahwa suhu fermentasi akan berubah sesuai fase fermentasi yang terjadi secara spontan dan biasanya berlangsung dari lima hingga tujuh hari. Fase pertama adalah anaerobik dan berlangsung rata-rata dua hari selama ragi mengubah gula dalam pulp menjadi etanol dengan fermentasi alkohol dengan sedikit peningkatan suhu yang dapat mencapai 35°C. Pada saat yang sama, pulp dihidrolisis. Hal ini memungkinkan masuknya udara ke dalam massa, menciptakan kondisi aerobik yang dipertahankan dengan memutar tumpukan biji secara berkala yang mendukung dimulainya fase kedua. Selama fase kedua, oksigen dikonsumsi oleh bakteri asetat untuk mengoksidasi etanol menjadi asam asetat, yang dapat dioksidasi secara berlebihan menjadi karbon dioksida dan air. Tetapi tidak menutup kemungkinan suhu fermentasi akan meningkat hingga 50°C atau bahkan lebih. Karena peningkatan suhu pada proses fermentasi terjadi akibat reaksi perombakan alkohol menjadi asam laktat dan asam asetat. Reaksi perombakan tersebut merupakan reaksi eksotermis yang mengeluarkan energi panas (Rachmatullah et al., 2021). Disamping factor suhu, oksigen, air dan substrat, ukuran wadah, lama fermentasi, jenis khamir/mikroba dan varietas kakao juga mempengaruhi proses fermentasi.









Terkait ukuran wadah, (Ariyanti, 2017) menyatakan bahwa wadah fermentasi yang baik dibuat dari bahan kayu dengan kapasitas sekurang-kurangnya 40 kg. Apabila kapasitas biji kakao tidak mencukupi, maka suhu fermentasi tidak akan tercapai sehingga akan menyebabkan biji kakao berjamur. Untuk lebih jelasnya dalam hal wadah ini, Rachmatullah, et.al., (2021) melakukan penelitian tentang ukuran wadah yang berbeda yaitu kotak kayu besar (70 cm x 90 cm x 100 cm), kotak kayu kecil (20 cm x 20 cm x 30 cm). Hasil

penelitiannya menunjukkan bahwa fermentasi dengan kotak kayu besar memiliki efektifitas lebih baik dibandingkan kotak kayu kecil. Hal ini dikarenakan perlakuan kotak kayu besar dapat mencapai suhu optimal fermentasi (44-48°C) dan warna biji kakao yang dihasilkan lebih optimal (Tabel 2).

Selain ukuran wadah, jenis wadah juga mempengaruhi hasil akhir fermentasi. (Streule et al., 2022), melaporkan hasil penelitian tentang jenis wadah yang berbeda (tas jute/plastik, kotak kayu) untuk fermentasi. Jenis wadah memiliki dampak signifikan pada proses dan hasil akhir produk. Suhu yang lebih tinggi tercapai

dalam kotak kayu dan tas jute dibandingkan dengan tas plastik, yang mungkin dapat dijelaskan oleh isolasi panas yang lebih baik pada tas jute daripada plastik. Hasil menunjukkan bahwa suhu maksimum yang lebih tinggi terkait dengan biji yang terfermentasi dengan baik dan rasa yang lebih asam, buah, serta kurang pahit dan astringen dalam deskripsi sensori. Secara keseluruhan, fermentasi dalam tas plastik tampaknya tidak cocok, sementara tas jute bisa menjadi alternatif yang lebih baik daripada kotak kayu. Temuan dari penelitian ini merupakan langkah awal menuju optimasi proses pasca panen pada skala kecil.

Tabel 2. Pengaruh wadah fermentasi terhadap warna biji kakao

Fermentasi hari ke-	Kotak Besar (70cm x 90 cm x 100 cm)	Kotak kecil (20 cm x 20 cm x 30 cm),
1		
3		
Pengeringan Biji kakao Hari ke 5	Kotak besar 	Kotak kecil 
Kondisi biji kakao setelah 7 hari pengeringan		

Sumber: (Rachmatullah, et.al., 2021)

Lama proses fermentasi ditentukan oleh jenis kakao yang difermentasi. Buah kakao jenis *Criollo* (kakao mulia / edel) mempunyai waktu fermentasi yang singkat yaitu 2-3 hari, sedangkan buah kakao jenis *Forastero* (kakao *bulk* / lindak) membutuhkan waktu 3-7 hari. Lama fermentasi yang dibutuhkan berbeda menyebabkan kedua jenis buah tersebut

tidak bisa dicampur ketika proses fermentasi (Apriyanto, et. al., 2017). Lama fermentasi juga mempengaruhi keberhasilan proses fermentasi karena fermentasi yang terlalu singkat dapat menyebabkan biji kakao yang dihasilkan bermutu rendah yaitu biji slaty (biji yang jika dibelah tidak berongga atau padat), sedangkan fermentasi yang terlalu lama

akan mengakibatkan visual biji berwarna hitam (Nizori et al., 2021)

Lama fermentasi juga mempengaruhi kadar air, pH, total asam dan indeks fermentasi (Tabel 3). Pada Tabel 3 dapat diketahui bahwa total asam yang diperoleh Sigalingging *et al.*, (2020) jauh lebih tinggi

dibandingkan yang diperoleh do Carmo Brito et al (2017). Ternyata perbedaan ini disebabkan cara penghitungan. Sigalingging et al (2020) hasil akhir dinyatakan dengan persen, sedangkan Brito et al (2017) hasil akhir dinyatakan dengan (mEq NaOH/100 g).

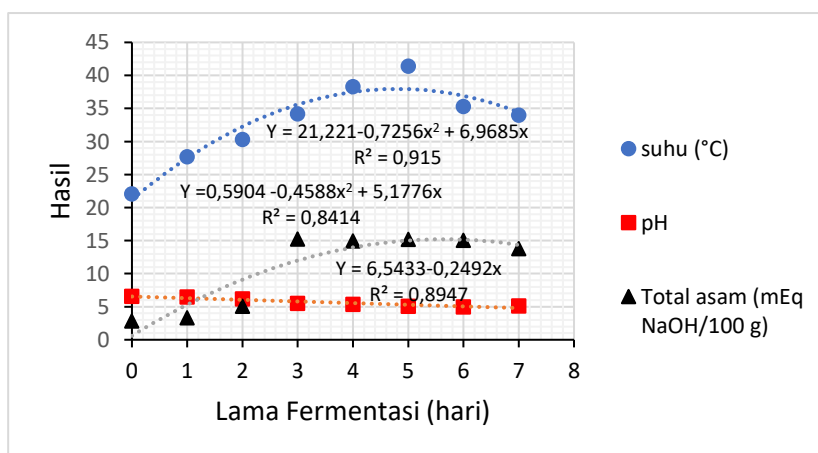
Tabel 3. Pengaruh lama fermentasi terhadap kadar air, pH total asam dan indeks fermentasi

Lama fermentasi (hari)	Kadar air (%) [*]	pH [*]	pH ^{**}	Total asam (%) [*]	Total asam ^{**} (mEq NaOH/100 g)	Suhu ^{**}	Indek Fermentasi [*]
0	-	-	6,56	-	2,85	22,1	-
1	2,86	5,5	6,47	-	3,32	27,7	0,667
2	5,00	3,5	6,21	15,998	5,08	30,3	0
3	4,00	3,5	5,53	20,496	15,25	34,2	1,00
4	4,00	3,8	5,39	44,496	14,95	38,3	1,00
5	4,00	5,5	5,10	30,997	15,28	41,4	1,00
6			4,98		15,04	35,3	
7			5,13		13,78	34,0	

Sumber : ^{*} Sigalingging et al., (2020)
^{**}(do Carmo Brito et al (2017))

Dalam hal fermentasi ini (do Carmo Brito et al., 2017) menjelaskan lagi hasil penelitiannya bahwa fermentasi kakao sampai hari ke lima dapat meningkatkan suhu sampai 41°C dari fermentasi awal 22°C, dan menurunkan pH 5,10 dari 6,56 (Gambar 1). Pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa suhu selama fermentasi mengikuti pola polynomial dengan persamaan $Y = 21,221 - 0,7256x^2 + 6,9685x$. Artinya Y adalah nilai suhu, sedangkan x adalah lama fermentasi. Berdasarkan

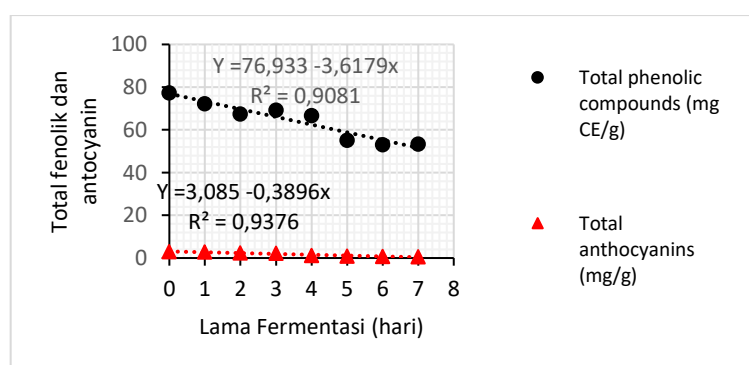
persamaan tersebut suhu awal sebelum fermentasi diperkirakan 21,221°C, nilai $-0,7256x^2$ artinya selama fermentasi berlangsung akan mempengaruhi suhu (Y) secara kuadrat. Ini berarti jika meningkatkan lama fermentasi, dampaknya akan semakin besar seiring dengan meningkatnya nilai x, namun timbul dampak negatif, yaitu suhu akan menurun lebih cepat seiring dengan peningkatan lama fermentasi..



Gambar 1. Perubahan suhu, total soluble solid dan pH biji kakao selama fermentasi (do Carmo Brito et al.,2017)

Hal ini disebabkan karena substrat fermentasi semakin berkurang (Ackah and Dompey, 2021). Jika meningkatkan lama fermentasi, suhu akan meningkat dengan laju 6,9685 per unit peningkatan x. Pada Gambar 1 juga dijelaskan, tidak demikian halnya dengan pH, selama fermentasi pH cenderung menurun yang digambarkan dengan persamaan $y = 6,5433 - 0,2492x$. Artinya setiap ditingkatkan lama fermentasi pH akan menurun sebesar 0,249 unit x, dengan pH awal 6,5433.

Kandungan total fenol dan total anthocyanin dalam biji kakao selama fermentasi cenderung menurun (Gambar 2).



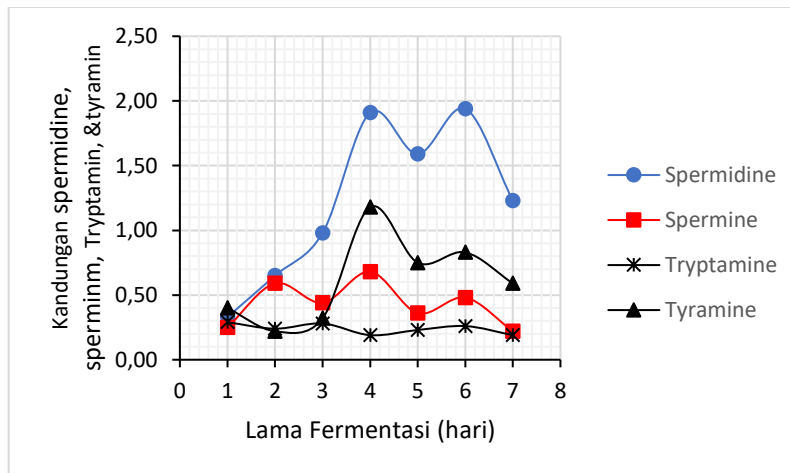
Sumber: (do Carmo Brito et al., 2017)

Senyawa fenolik, termasuk antosianin, dapat hilang dari biji kakao selama fermentasi melalui lixiviasi dengan eksudat fermentasi dan juga karena aktivitas polifenol oksidase, yang dapat dengan mudah terlihat dari aspek coklat pada biji kakao yang difermentasi (Wollgast & Anklam, 2000 ; Camu et al., 2008; Luna, Crouzillat, Cirou, & Bucheli, 2002). Selain itu, antosianin utama dalam biji kakao adalah sianidin 3-O-arabinosida dan sianidin 3-O-galaktosida, dan keduanya dapat dihidrolisis oleh glikosidase menjadi antosianidin selama fermentasi, sehingga menghasilkan kotiledon yang lebih cerah (Oracz, Nebesny, & Z_ yz_ elewicz, 2015).

Kandungan total senyawa fenolik menurun sebesar 31% setelah 7 hari fermentasi, sedangkan total kandungan antosianin menunjukkan pengurangan sebesar 79%. Total phenolik mengikuti pola linear dengan persamaan $y = 76,933 - 3,6179x$. Artinya untuk setiap tambahan satu hari lama fermentasi, kadar total fenol diperkirakan akan berkurang sebesar 3,6179 unit. Demikian juga dengan total antocyanin juga mengikuti pola linear dengan persamaan $Y = 3,085 - 0,3896x$. Artinya untuk setiap tambahan satu hari lama fermentasi, kadar total antocyanin diperkirakan akan berkurang sebesar 0,3896 unit

Selain total fenol dan anthocyanin, juga ada ditemukan dalam biji kakao oleh do Carmo Brito et al., (2017) senyawa bioaktif lain yang berfungsi sebagai antioksidan terbentuk selama fermentasi, yaitu dua jenis bioaktif amin atau amina biogenik yaitu tryptamine dan tyramine, serta dua jenis poliamin (spermidine dan spermine) yang terdeteksi dalam biji kakao. Bioaktif amin adalah senyawa-senyawa yang dapat memberikan manfaat kesehatan atau memiliki aktivitas biologis yang penting. Peningkatan kandungan poliamin (spermidine) selama fermentasi merupakan hal yang diinginkan mengingat senyawa ini merupakan antioksidan efektif yang

bermanfaat bagi umur simpan produk dan kesehatan manusia (Gambar 3)



Sumber: (do Carmo Brito et al., 2017) do Carmo Brito et al., (2017)

Berdasarkan Gambar 3, kandungan tryptamine dan spermine bervariasi selama fermentasi, namun tetap masing-masing di bawah 0,30 dan 0,70 mg/100 g. Konsentrasi tiramin meningkat hingga hari fermentasi ke-4, kemudian menurun hingga kandungan awal. Konsentrasi spermidine meningkat hingga hari fermentasi ke-3, mempertahankan kandungan sepanjang fermentasi. Telah diketahui bahwa spermidine disintesis dan dimetabolisme oleh mikroorganisme selama pertumbuhan; namun, tidak ada informasi tersedia mengenai perubahannya selama fermentasi kakao. Diketahui juga bahwa bakteri menghasilkan beberapa amina, misalnya tyramine, sebagai perlindungan terhadap lingkungan asam (Shukla et al., 2010).

Pengeringan

Fermentasi dan pengeringan mempunyai pengaruh kuat terhadap kualitas akhir biji kakao dan produk selanjutnya. Penelitian terkini mengenai proses pengeringan dan pengaruhnya terhadap kualitas menunjukkan tiga masalah utama yaitu metode, suhu, dan durasi pengeringan. Selama pengeringan, aktivitas air berkurang karena penurunan

kadar air melalui penerapan panas (Dzelagha et al., 2020). Biji kakao dianggap kering dan layak dipasarkan jika kadar airnya telah mencapai antara 5-7% (Botutihe et al., 2020; Navarro et al., 2020). Ada lima jenis sistem dan alat pengering yang digunakan pada sektor kakao adalah yaitu matahari terbuka, tenaga surya, oven, microwave, dan pengeringan beku. Hal-hal tersebut diulas secara singkat di bawah ini, sebagai dasar berbagai upaya yang telah dilakukan untuk meningkatkan potensi pengeringan pengering dan kualitas biji kakao kering

1) Pengeringan dengan Sinar Matahari Terbuka.

Pengeringan dengan sinar matahari merupakan metode tertua, termurah, paling populer, dan tersedia secara bebas yang dapat diterapkan dengan menggunakan prosedur yang paling dasar hingga yang sangat canggih dan ilmiah, terutama di daerah tropis dan subtropis dimana radiasi matahari melimpah (Bala and Debnath, 2012). Lebih dari 60% kakao Afrika dan Asia dikeringkan secara lokal menggunakan sinar matahari terbuka. Di antara sumber daya energi terbarukan,

energi surya dianggap sangat diperlukan di masa depan, karena murah, berlimpah, tidak ada habisnya, ramah lingkungan, dan tidak menimbulkan polusi.

Pengeringan di bawah sinar matahari terbuka banyak dilakukan dengan menebarkan biji kakao di atas tikar kayu dan lembaran plastik atau di lantai beton saat terkena sinar matahari. Biji kakao dibalik secara manual secara teratur, dan juga membawa biji kakao ke tempat teduh jika terjadi hujan. Meskipun tersedia secara gratis, metode ini bergantung pada cuaca, membutuhkan banyak tenaga kerja, membutuhkan waktu lebih lama (7-22 hari), dan membuat makanan mudah terserang hama dan kontaminan lingkungan lainnya (Lasisi, 2014). Hal ini meningkatkan risiko menghasilkan biji kakao berkualitas buruk dibandingkan dengan metode pengeringan yang lebih terkontrol, karena periode pengeringan yang lebih lama membuat biji kakao rentan terhadap pertumbuhan jamur. Beberapa petani yang kurang mendapat informasi mengeringkan biji kakao di tanah kosong sehingga terkontaminasi oleh batu, tanah, dan organisme permukaan dan ada pula yang mengeringkan biji kakao mereka di pinggir jalan yang dilapisi aspal menyebabkan kontaminasi senyawa karsinogenik. Meskipun metode ini paling murah dan tersedia secara bebas bagi setiap petani, metode ini secara praktis tidak dapat dilakukan pada saat hujan lebat dan kelembapan tinggi.

2) Pengeringan Tenaga Surya.

Pengering tenaga surya adalah alat yang menggunakan energi matahari untuk mengeringkan zat khususnya makanan atau produk. Sistem pengeringannya dengan memanaskan udara hingga suhu konstan, dan panas yang dihasilkan digunakan untuk mengeringkan produk di ruang pengering dan juga memanaskan lingkungan sekitar (Bala and Debnath, 2012). Udara yang

digunakan untuk pengeringan dilewatkan melalui permukaan pengumpul, dipanaskan, dan kemudian digunakan untuk mengeringkan makanan di dalam pengering. Ventilasi diaktifkan pada tingkat yang konstan melalui saluran masuk dan keluar udara yang ditentukan, ventilator surya kecil, atau perbedaan suhu, baik karena paparan atau karena ketinggian vertical (Lasisi, 2014). Meskipun sebagian besar pengering tenaga surya digunakan untuk mengeringkan biji kakao pada tingkat percobaan dan penelitian, beberapa kelompok korporasi petani di Asia telah menggunakan pengering rumah kaca untuk mengeringkan biji kakao dalam skala besar.

Pengering tenaga surya terdiri dari empat jenis yaitu pengering tenaga surya langsung, pengering tenaga surya tidak langsung, pengering mode campuran dan pengering tenaga surya hibrid. Pengering tenaga surya langsung misalnya pengering kotak tenaga surya adalah tempat barang yang akan dikeringkan terkena langsung radiasi matahari melalui bahan transparan yang menutupi struktur. Panas yang dihasilkan dari energi matahari digunakan untuk mengeringkan produk dan juga memanaskan lingkungan sekitar. Pengering surya tidak langsung (misalnya pengering kabinet surya) adalah tempat radiasi matahari diserap dan diubah menjadi panas oleh permukaan lain (seperti atasan hitam) yang biasa disebut kolektor. Udara yang akan digunakan untuk mengeringkan dilewatkan ke permukaan ini dan dipanaskan, yang kemudian digunakan untuk mengeringkan makanan di dalam pengering. Pengering mode campuran (misalnya pengering terowongan surya) menggunakan sumber energi panas pasif langsung dan tidak langsung untuk mengeringkan produk, sedangkan pengering tenaga surya hibrid (misalnya pengering kabinet surya/biomassa hibrid) menggunakan energi pasif dan aktif.

sumber energi panas untuk mengeringkan produk (Sivakumar and Rajesh K, 2016)

Pengering tenaga surya konveksi alami (pengering pasif) adalah tipe portabel langsung yang hanya terdiri dari persegi panjang dibentuk dengan bagian atas transparan dan permukaan bagian dalam menghitam. Plastik polietilen bening ditempatkan di atas pengumpul panas untuk memungkinkan radiasi matahari memanaskan udara. Bahan berwarna hitam juga ditempatkan di bawah ruangan untuk menyerap panas dan mencegah kelembapan dari tanah. Lembaran polietilen hitam lainnya juga dapat ditempatkan di atas ruang pengering untuk mencegah pemutihan. Lubang ventilasi mungkin tidak disediakan di sepanjang sisinya, tetapi bukaan di bagian depan unit memungkinkan udara sekitar masuk ke ruang pemanas, dan bukaan lainnya di bagian belakang ruang pengering memungkinkan udara lembab keluar dari unit melalui pergerakan udara konveksi alami. Pengering ini sepertinya tidak cocok untuk mengeringkan koka yang diproduksi oleh petani dalam jumlah besar, meskipun hasil eksperimennya mungkin dapat diterima (Dzelagha et al., 2020)

Pengeringan Oven. Oven pengering adalah jenis konveksi suhu rendah atau oven udara paksa yang digunakan terutama di laboratorium. Spesimen, peralatan, dan bahan kimia yang sensitif terhadap suhu ditempatkan di dalam ruang pengering untuk menghilangkan kelembapan secara perlahan dan merata. Dehidrator listrik adalah alat mandiri dengan sumber panas, kipas untuk sirkulasi, dan beberapa baki untuk mengeringkan banyak makanan sekaligus. Dehidrator dengan kualitas lebih baik juga memiliki termostat dan konstruksi ber dinding ganda untuk penggunaan energi yang lebih efisien (Dzelagha et.al.,2020)

Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Beberapa Parameter Mutu Biji Kakao

Persyaratan mutu biji kakao yang dapat diterima oleh perusahaan coklat dan farmasi, diperlukan analisis parameter kualitas berikut: kadar air (5-7,5% basis basah), pH (3,8-5,5), kadar lemak (55-56%), kadar cangkang (15-17%), warna biji coklat, bebas jamur, aktivitas antioksidan tinggi, senyawa fenolik, OTA, keasaman yang dapat dititrasi, asam asetat, PAH, teobromin, kafein, tingkat pemulihan biji kering, benda asing, jumlah biji, suara biji kering, bau, dan pemisahan sekam, harus mengikuti ISO 2451:2017(en). Pengeringan menjadi unit operasi penentu kualitas utama dalam rantai kakao, variasi metode pengeringan, suhu, dan durasi pengeringan telah dipelajari secara luas sehubungan dengan pengaruhnya terhadap atribut kualitas (Dzelagha et al., 2020)

Kinerja dan pengaruh metode pengeringan dengan sinar matahari terbuka dan pengering campuran memberikan kandungan asam lemak bebas dan keasaman bebas yang lebih rendah (<0,70%). Biji kakao dari oven dan pengering campuran lebih asam (pH 3,8–5,2) dibandingkan dengan tingkat keasaman yang lebih sesuai (pH 4,5-5,5) dari pengering matahari terbuka. Meskipun kualitas biji kakao dapat diterima, hasil ini tidak meyakinkan karena waktu pengeringan dan suhu tidak dipantau seperti yang diharapkan (Castellanos et al., 2018)

Untuk membandingkan pengaruh sinar matahari terbuka dan pengeringan oven (suhu 35, 40, 45, 50, dan 55°C) terhadap mutu biji kakao fermentasi, dilakukan penilaian kadar asam asetat, pH, warna biji, asam lemak bebas, asam. nilai, dan penilaian dilakukan (Lasisi, 2014). Meskipun sampel yang dikeringkan dengan sinar matahari memberikan hasil yang lebih baik daripada sampel yang dikeringkan

dalam oven pada semua suhu, peningkatan signifikan kadar asam lemak bebas dan asam asetat seiring dengan peningkatan suhu berbanding lurus dengan hasil yang diperoleh. penurunan pH, dengan suhu oven optimal 45°C. Karena memerlukan keahlian dan biaya operasional yang tinggi, metode oven ini mungkin tidak direkomendasikan untuk pengeringan skala besar oleh petani pedesaan.

Dengan menggunakan pengering rumah kaca tenaga surya (pada suhu 21–52°C), biji kakao yang difermentasi dikeringkan hingga kadar air 5,3% (basis basah) dalam waktu tujuh hari (Bala and Debnath, 2012). Meskipun hasilnya kurang menggembirakan karena waktu pengeringan yang lama dan kandungan lemak coklat masing-masing sebesar 74% dan 50%, sifat rumah kaca yang tertutup dapat menghilangkan risiko jamur dan kontaminasi eksternal pada biji kakao akibat hujan dan hama. Hal ini dapat menguntungkan bagi petani pedesaan jika properti dibangun dan dikeringkan dengan benar.

(Chinenye et al., 2010) melaporkan hasil penelitiannya tentang penggunaan pengering batch yang dipanaskan pada suhu 55, 70, dan 81°C dalam kondisi isothermal, kinetika pengeringan spesies kakao asing diselidiki di Negara Bagian Abia, Nigeria (Chinenye et al., 2010). Kadar air batch dikurangi menjadi 5, 3, dan 4% basis basah dalam waktu 12, 6, dan 4 jam setelah pengeringan. Dalam penyelidikan serupa, pengering udara panas konvektif pada suhu 60, 70, dan 80°C mengurangi kadar air biji kakao masing-masing menjadi 6,3, 5,7, dan 3,6%, dalam waktu delapan jam (Chinenye et al., 2010). Meskipun signifikan pengurangan waktu pengeringan, pengeringan biji kakao pada suhu di atas 60°C tidak disarankan karena tingginya retensi asam asetat dan peningkatan kepahitan (Lasisi, 2014)

Pengaruh bahan fermentasi dan pengeringan terhadap kandungan Ochratoxin A (OTA) pada biji kakao dievaluasi dengan menggunakan sinar matahari terbuka pada meja rak, lantai beton, dan terpal hitam (Dano et al., 2013). Kandungan OTA meningkat dari $0:275 \pm 0:2 \mu\text{g/kg}$ (selama fermentasi) menjadi $0:569 \pm 0:015 \mu\text{g/kg}$ (selama pengeringan), tetapi tidak ada hubungan yang signifikan antara tingkat OTA dan bahan yang digunakan dalam fermentasi dan pengeringan.

Dalam urutan popularitas yang semakin menurun, pengering tenaga surya, matahari terbuka, oven, microwave, dan pengering beku telah dipelajari secara luas dalam pengeringan biji kakao, pada berbagai tingkatan. Pengering matahari terbuka hanya menggunakan mekanisme alami dan pasif serta bergantung pada cuaca. Tenaga surya, termasuk pengering rumah kaca, dapat disesuaikan fungsinya menggunakan mekanisme pasif atau aktif atau keduanya. Metode oven dan microwave sepenuhnya aktif dan memerlukan masukan energi buatan yang konsisten.

Untuk meningkatkan laju pengeringan menggunakan metode matahari terbuka, bahan yang digunakan dan lokasi pengering merupakan parameter utama, karena suhu pengeringan hanya bergantung pada intensitas matahari alami. Untuk pengering tenaga surya, berbagai material, sudut elevasi kolektor, pemanas listrik, dan kipas dimanipulasi untuk mengoptimalkan penyerapan energi matahari dan mengontrol suhu pengeringan. Metode oven dan microwave menggunakan sifat udara pengering internal yang dapat dikontrol langsung oleh masukan energi listrik. Suhu dan waktu pengeringan merupakan parameter utama yang berpengaruh langsung terhadap kualitas biji kakao. Dalam hal kesesuaian

dan kemungkinan penggunaan untuk pengeringan skala besar oleh petani lokal, pengering matahari terbuka dan pengering rumah kaca adalah yang paling disukai karena kesederhanaannya, konstruksinya, dan biaya operasionalnya rendah.

KESIMPULAN

Optimasi pascapanen perlu dilakukan guna meningkatkan mutu biji kakao sesuai dengan standar global yang dapat dimanfaatkan oleh industri kakao maupun farmasi. Tahapan pascapanen meliputi panen, pengumpulan, pemeraman buah, fermentasi biji, pengeringan dan penggudangan. Adapun tahapan yang perlu dioptimasi adalah umur panen/indek panen, fermentasi biji kakao dan pengeringan biji. Penentuan umur panen, saat ini dihasilkan suatu model yang dihubungkan dengan komputer untuk mengidentifikasi tingkat kematangan (matang atau belum matang) buah kakao dengan menggabungkan penggunaan teknik spektrogram dan deep learning (melalui CNN) untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan pada biji kakao berdasarkan suara yang dihasilkan saat pod kakao dipukul (thumping). Metode Deep Learning, yaitu Convolutional Neural Network (CNN). CNN adalah jenis algoritma yang kuat dalam mengenali pola dalam gambar atau data visual. Pengolahan citra digital juga dapat digunakan untuk menentukan indek kematangan buah kakao dengan menggunakan tabel warna berdasarkan parameter warna dan indeks kematangan. Optimasi fermentasi dapat dilakukan dengan penggunaan wadah kotak kayu (70 cm x 90 cm x 100 cm) karena memiliki efektifitas lebih baik dapat mencapai suhu optimal fermentasi (44-48°C) dan warna biji kakao yang dihasilkan lebih optimal. Jenis wadah juga mempengaruhi hasil fermentasi. Untuk skala kecil, kotak kayu dan tas jute jauh lebih baik dibandingkan

tas plastik karena diperoleh suhu maksimum, jumlah biji terfermentasi lebih tinggi dan rasa kurang pahit, dan astringen masuk dalam deskripsi sensori. Optimasi metode pengeringan biji kakao dapat dilakukan dengan pengering rumah kaca tenaga surya (pada suhu 21–52°C), karena dapat menghilangkan risiko jamur dan kontaminasi eksternal pada biji kakao akibat hujan dan hama.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackah, E., Dompey, E., 2021. Effects of fermentation and drying durations on the quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans during the rainy season in the Juaboso District of the Western-North Region, Ghana. *Bull. Natl. Res. Cent.* 45. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00634-7>
- Afoakwa, E., Ofosu-Ansah, E., Budu, A., Mensah-Brown, H., Takrama, J., 2015. Changes in some biochemical qualities during drying of pulp pre-conditioned and fermented cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *African J. Food, Agric. Nutr.* vol. 15, 9651–9670.
- Analianasari, Harahap, M.P.M., AZJ, D., 2023. Analisis fermentasi kakao dengan penambahan yeast dan bakteri asam laktat. *J. Pengemb. Agroindustri Terap.* vol 2. No1, 38-44
- Apriyanto, M; Sutardi, S; Supriyanto, S; Harmayani, E., 2017. Fermentasi biji kakao kering menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus lactis*, *Acetobacter aceti*. *AGRITECH*, Vol. 37, No. 3, 302–311.
- Ariyanti, M., 2017. Karakteristik mutu biji kakao (*Theobroma cacao* L) dengan perlakuan waktu fermentasi berdasar SNI 2323-2008. *J. Ind. Has. Perkeb.* 12, No.1: 34-42.
- Bala, B.K., Debnath, N., 2012. Solar Drying Technology: Potentials and Developments. *J. Fundam. Renew.*

- Energy Appl. vol 2, 1–6.
- Borja Fajardo, J.G., Horta Tellez, H.B., Peñaloza Atuesta, G.C., Sandoval Aldana, A.P., Mendez Arteaga, J.J., 2022. Antioxidant activity, total polyphenol content and methylxantine ratio in four materials of *Theobroma cacao* L. from Tolima, Colombia. *Heliyon* 8.
- Botutihe, F., Kusumaningrum, M.Y., Jambang, N., 2020. Strategi Pemenuhan Syarat Mutu Standar Nasional Indonesia (Sni) Biji Kakao Fermentasi. *J. Teknol. Pertan.* 21, 191–202.
- Bueno, G.E., Valenzuela, K.A., Arboleda, E.R., 2020. Maturity classification of cacao through spectrogram and convolutional neural network. *J. Teknol. dan Sist. Komput.* 8, 228–233.
- Castellanos, J.M., Quintero, C.S., Carreno, R., 2018. Changes on chemical composition of cocoa beans due to combined convection and infrared radiation on a rotary dryer. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 437, 1-11
- Chinenye, N.M.M., Ogunlowo, A.S., Olukunle, O.J., 2010. Cocoa bean (*Theobroma cacao* L.) drying kinetics. *Chil. J. Agric. Res.* 70, 633–639.
- Dano, S.D., Manda, P., Dembélé, A., Abla, A.M.J.K., Bibaud, J.H., Gouet, J.Z., Sika, C.B.Z.M., 2013. Influence of fermentation and drying materials on the contamination of cocoa beans by Ochratoxin A. *Toxins (Basel).* 5, 2310–2323.
- Desy Rachmatullah, Putri, D.N., Fiki Herianto, Harini, N., 2021. Karakteristik biji kakao (*Theobroma cacao* L.) Hasil fermentasi dengan ukuran wadah berbeda. *Viabel J. Ilm. Ilmu-Ilmu Pertan.* 15, 32–44.
- do Carmo Brito, B. de N., Campos Chisté, R., da Silva Pena, R., Abreu Gloria, M.B., Santos Lopes, A., 2017. Bioactive amines and phenolic compounds in cocoa beans are affected by fermentation. *Food Chem.* 228, 484–490.
- Dzelagha, B.F., Ngwa, N.M., Bup, D.N., 2020. A review of cocoa drying technologies and the effect on bean quality parameters. *Int. J. Food Sci.* vol.2020,1-11
- García-Muñoz, M.C., Tarazona-Díaz, M.P., Meneses-Marentes, N.A., González-Sarmiento, G., Pineda-Guerrero, A.S., Gómez-Urbe, G.E., 2021. Development of color guides to evaluate the maturity of cacao clones by digital image processing. *Pesqui. Agropecu. Trop.* 51.
- Hartuti, Sri, Nursigit bintaro, Joko Nugroho Wahyu Karyadi, Y.P., 2021. *AGROINTEK: Jurnal Teknologi Industri Pertanian.* *AGROINTEK J. Teknol. Ind. Pertan.* *Agrointek* 15, 943–951.
- Heras-Ramírez, M.E., Quintero-Ramos, A., Camacho-Dávila, A.A., Barnard, J., Talamás-Abbud, R., Torres-Muñoz, J.V., Salas-Muñoz, E., 2012. Effect of Blanching and Drying Temperature on Polyphenolic Compound Stability and Antioxidant Capacity of Apple Pomace. *Food Bioprocess Technol.* 5, 2201–2210.
- Hu, S.J., Kim, B.Y., Baik, M.Y., 2016. Physicochemical properties and antioxidant capacity of raw, roasted and puffed cacao beans. *Food Chem.* 194, 1089–1094.
- Lasisi, 2014. A Comparative Study of Effects of Drying Methods on Quality of Cocoa Beans. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)* 3, 3(1),991-996.
- Laxiana, I., Sugiarto, R., 2018. Modifikasidengan Variasi Lama Pemeraman Buah 3, 159–165.
- Lutfiah, A., 2018. Pengaruh Lama Pengerangan Biji Kakao (*Theobroma Cacao* L.) Dengan Alat Pengerang Cabinet Dryer Terhadap Mutu Biji Kakao. *Fak. Teknol. Pangan dan Agroindustri Univ. Mataram* 15.
- Munarso, S.J., 2017. Penanganan Pascapanen untuk Peningkatan Mutu dan Daya Saing Komoditas Kakao. *J.*

- Penelit. dan Pengemb. Pertan. 35, 111.
- Navarro, A., Currie, E., Mercer, D.G., 2020. Assessment of Good Agricultural Practices on Cocoa and Coffee Farms in Northern Haiti. *Agric. Sci.* 11, 803–836.
- Nizori, A., Tanjung, O.Y., Ulyarti, U., Arzita, A., Lavlinesia, L., Ichwan, B., 2021. Pengaruh lama fermentasi (*Theobroma cacao* L.) Terhadap sifat fisik dan organoleptik bubuk kakao, *J. Pangan dan Agroindustri* 9, 129–138.
- Prasath, S.R., Ganapathy, D., Sasanka, L.K., 2020. Chocolate consumption habits among school students 17, 1306–1322.
- Rachmatullah, D., Putri, DN., Herianto, F., Harini, N. 2021. Karakteristik biji kakao (*Theobroma cacao* L.) Hasil fermentasi dengan ukuran wadah berbeda. *J. Viabel Pertan.* Vol. 15 No. 15, 32–44.
- Saputro, WA., Helbawanti, O., 2020. Produktivitas tanaman kakao berdasarkan umur di taman teknologi pertanian Nglanggeran 3, 7–15.
- Septianti, E., Salengke, Langkong, J., Sukendar, N.K., Hanifa, A.P., 2020. Characteristic Quality of Pinrang's Cocoa Beans During Fermentation Used Styrofoam Containers. *Canrea J. Food Technol. Nutr. Culin. J.* 3, 10–25.
- Sivakumar, E., Rajesh K, 2016. Different Types of Solar Dryer for Agricultural and Marine Products: a Reference Guide. *Int. J. Res. Sci. Technol.* 6, 118–125.
- Streule, S., Freimüller Leischfeld, S., Galler, M., Miescher Schwenninger, S., 2022. Monitoring of cocoa post-harvest process practices on a small-farm level at five locations in Ecuador. *Heliyon* 8, e09628.
- Tambunan, S., Sebayang, N.S., Sari, D.S.P., 2021. Fermented Cocoa Beans (*Theobroma cacao* L) in Southeast Aceh District. *Altifani J. Int. J. Community Engagem.* 2, 13.
- Zainuri, Sjah, T., Prameswari, N., Werdiningsih, W., Tarmizi, A., 2021. Good agricultural and postharvest handling practices of Cocoa pods in Lombok to meet Cocoa bean quality for the global market. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 712.