

Sifat Fisikokimia dan Fungsional Tepung Nanopartikel Kulit Biji Kakao (*Theobroma cacao* L.) Dari Kategori Mutu Edel dan Bulk Terfermentasi

*Physicochemical and Functional Properties of Cocoa Bean Shell (*Theobroma cacao* L.) Nanoparticle Flour from Fermented Edel and Bulk Quality Categories*

Mohamad Djali*, Lumongga Mooira, Rossi Indiarito, Edy Subroto, Fetriyuna, Gemilang Lara Utama, Elazmanawati Lembong

Departemen Teknologi Industri Pangan, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran, Sumedang 45363, Indonesia

*E-mail: djali@unpad.ac.id

Diterima: 21 Juli 2024; Disetujui: 12 Februari 2026

ABSTRAK

Kulit biji kakao merupakan hasil samping agroindustri yang belum dimanfaatkan secara optimal, padahal mengandung senyawa bioaktif penting seperti polifenol (katekin, epikatekin, antosianin, tannin), alkaloid (theobromine dan kafein), serat pangan, protein, serta mineral esensial yang berpotensi tinggi untuk dikembangkan sebagai bahan pangan fungsional. Melalui teknologi nano, kulit biji kakao dapat dimodifikasi menjadi nanopartikel sehingga memiliki sifat fisikokimia, fungsional, dan amilografi yang lebih sesuai dengan kebutuhan industri pangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat fungsional, amilografi, dan fisikokimia nanopartikel kulit biji kakao terfermentasi dari kategori mutu edel, bulk, serta campuran keduanya. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan pendekatan deskriptif menggunakan tiga jenis sampel dan dua ulangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan kategori mutu tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat fungsional, amilografi, dan fisikokimia. Namun, kategori mutu edel memiliki nilai kelarutan (41,27%), *swelling volume* (96 mL/g), dan daya serap air (3,05 g/g) tertinggi. Hal ini diduga terkait dengan kadar serat dan amilosa yang lebih tinggi serta kadar lemak yang lebih rendah. Secara umum, ketiga sampel menunjukkan profil viskositas rendah yang menandakan kemampuan pengembangan terbatas, namun memiliki kapasitas penyerapan air yang tinggi. Temuan ini mengindikasikan bahwa kulit biji kakao, khususnya kategori edel, berpotensi dikembangkan sebagai bahan pangan fungsional dalam bentuk nanopartikel yang aplikatif untuk industri.

Kata kunci: Kulit biji kakao; nanopartikel; sifat fungsional; fisikokimia; amilografi

ABSTRACT

Cocoa bean shell is an underutilized agro-industrial by-product, despite being rich in bioactive compounds and chemical constituents with high potential. Through nanotechnology, cocoa bean shell can be modified into nanoparticles, thereby improving its physicochemical, functional, and amylographic properties to meet food industry requirements. This study aimed to evaluate the functional, amylographic, and physicochemical characteristics of fermented cocoa bean shell nanoparticles from Edel, Bulk, and their 1:1 mixture quality categories. The experiment was carried out using a descriptive explanatory approach with three sample types and two replications. The results showed that quality categories had no significant effect on functional, amylographic, and physicochemical properties. However, the Edel category exhibited the highest solubility (41.27%), swelling volume (96 mL/g), and water absorption capacity (3.05 g/g). These characteristics are likely related to its higher fiber and amylose contents and lower fat levels. Overall, all samples demonstrated low viscosity profiles, indicating limited swelling ability but higher water absorption capacity. These findings suggest that cocoa bean shell, particularly the Edel category, has promising potential to be developed into functional food ingredients in nanoparticle form for industrial applications.

Keywords: Cocoa bean shells, nanoparticles, functional properties, physicochemical characteristics, amylographic profile

PENDAHULUAN

Pengolahan biji kakao menjadi produk coklat menghasilkan hasil samping kulit biji kakao dalam jumlah cukup besar. Keberadaan hasil samping tersebut sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal dan hanya menjadi sampah industri pengolahan coklat (Farhanandi *et al.*, 2022). Kulit biji kakao merupakan lapisan tipis, lunak, dan agak berlendir yang menyelubungi biji kakao. Persentasenya berkisar 10-16% dari keseluruhan bagian biji kakao kering (Langkong *et al.*, 2019). Di Indonesia, produksi kulit biji kakao sebagai hasil samping diperkirakan mencapai 11.200–12.600 ton per tahun (Kayaputri *et al.*, 2014). Dibandingkan

dengan biji kakao, kulit biji kakao mengandung lemak lebih rendah, tetapi memiliki kandungan serat yang jauh lebih tinggi (Meryandini *et al.*, 2019).

Dalam perdagangan internasional, kakao dikelompokkan ke dalam dua kategori mutu utama, yaitu kakao edel (fine flavor cocoa) dan kakao bulk (*ordinary cocoa*) (Farhanandi *et al.*, 2022). Kedua kategori mutu ini memiliki karakteristik kimia dan sensori yang berbeda sehingga berpotensi memengaruhi sifat kimia maupun fungsional dari kulit biji kakaonya. Proses fermentasi juga berperan penting dalam menentukan karakteristik kimia dan sensori kakao. Kakao edel umumnya difermentasi lebih singkat (2–4 hari) untuk mempertahankan profil rasa khasnya, sedangkan kakao bulk

memerlukan fermentasi lebih lama (5–7 hari) untuk menurunkan rasa sepat dan pahit serta meningkatkan keseragaman mutu (Afoakwa, 2021). Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan sampel kulit biji kakao edel dengan lama fermentasi tiga hari dan bulk dengan lama fermentasi lima hari sesuai standar perlakuan optimal masing-masing kategori mutu. Dengan pendekatan ini, perbandingan dilakukan pada kondisi yang representatif terhadap karakter alami masing-masing kategori.

Pemanfaatan kulit biji kakao masih terbatas, misalnya sebagai pakan ternak, pupuk kompos, substrat budidaya jamur, bahan bakar, dan sumber ekstraksi teobromin (Minifie, 2012). Kulit biji kakao kaya akan senyawa bioaktif, seperti alkaloid (teobromin), polifenol (tanin, antosianin), serat, protein, dan vitamin D, yang berpotensi diaplikasikan pada produk pangan fungsional. Salah satu bentuk diversifikasi adalah mengolah kulit biji kakao menjadi tepung. Pembuatan tepung tidak hanya memperpanjang daya simpan, tetapi juga meningkatkan nilai tambah hasil samping tersebut (Wahyuni *et al.*, 2021). Kandungan gizi tepung kulit biji kakao relatif tinggi, yaitu kadar abu 6,64%, lemak 8,82%, protein kasar 16,60%, dan serat kasar 25,10%. Penggunaannya pada industri pangan masih terbatas karena memiliki kelemahan seperti rendahnya daya serap air, kelarutan dalam air dingin, kestabilan rendah, waktu pemasakan yang lama, serta kapasitas retrogradasi dan sineresis yang tinggi (Hashimoto *et al.*, 2018).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mencoba memanfaatkan kulit biji kakao. Hashimoto *et al.* (2018) melaporkan bahwa tepung kulit biji kakao memiliki keterbatasan dalam aplikasinya, seperti rendahnya daya serap air, kelarutan, serta kestabilan selama pengolahan. Wahyuni *et al.* (2021) mengidentifikasi bahwa tepung kulit biji kakao memiliki kandungan gizi cukup tinggi (protein 16,60%, serat kasar 25,10%), sehingga berpotensi sebagai bahan pangan fungsional. Penelitian lain juga menyoroti bioaktivitas kulit biji kakao: Rojo-Poveda *et al.* (2020) menekankan kandungan polifenolnya sebagai antioksidan, sementara Meryandini *et al.* (2019) menekankan kandungan seratnya yang tinggi. Sebagian besar penelitian tersebut lebih fokus pada analisis kimia, aktivitas bioaktif, atau aplikasinya dalam bentuk ekstrak dan tepung, bukan dalam bentuk modifikasi nano.

Di sisi lain, perkembangan teknologi pangan menunjukkan bahwa modifikasi ukuran partikel menjadi skala nano dapat meningkatkan kelarutan, stabilitas, dan bioavailabilitas senyawa bioaktif (Duncan, 2011). Penelitian terkait nanopartikel dari bahan pangan lain, seperti pati sagu (Kusumayanti *et al.*, 2015) dan pati singkong (Li *et al.*, 2020), menunjukkan bahwa perubahan ukuran partikel dapat meningkatkan sifat fungsional, profil gelatinisasi, dan potensi aplikasinya dalam produk pangan. Akan tetapi, studi mengenai nanopartikel dari kulit biji kakao masih sangat terbatas, khususnya yang menilai aspek sifat fungsional, amilografi, dan fisikokimia secara komprehensif.

Penelitian sebelumnya umumnya tidak membedakan kategori mutu kakao (edel dan bulk) sebagai faktor yang berpotensi memengaruhi karakteristik kulit biji kakao. Padahal, kedua kategori mutu ini memiliki perbedaan dalam komposisi kimia dan mutu sensori (Afoakwa, 2021). Penelitian mengenai campuran edel dan bulk (1:1) juga belum pernah dilaporkan, padahal kombinasi ini berpotensi menghasilkan sifat fungsional dan fisikokimia yang lebih seimbang dibandingkan jika hanya menggunakan salah satunya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat fungsional, amilografi, dan fisikokimia nanopartikel kulit biji kakao dari kategori mutu edel dan bulk terfermentasi. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan sampel ketiga berupa

campuran edel dan bulk (1:1). Penggunaan campuran tersebut bertujuan untuk mengeksplorasi kemungkinan terciptanya sifat fungsional dan fisikokimia yang lebih seimbang, yaitu dengan mengombinasikan karakteristik edel yang kaya serat dan amilosa dengan bulk yang lebih stabil secara produksi. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai potensi pemanfaatan kulit biji kakao sebagai bahan pangan fungsional dalam bentuk nanopartikel.

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *planetary ball mill* (Fritsch Pulverisette 6, Jerman) yang dilengkapi dengan bola zirconia berdiameter 1 mm dan 2 mm untuk proses pembuatan nanopartikel, serta *grinder* (IKA MF 10 Basic, Jerman) sebagai tahap penghalusan awal sampel. Proses pengeringan dilakukan menggunakan oven *blower* (Memmert UN55, Jerman) pada suhu 40–60°C, kemudian sampel diayak menggunakan ayakan 400 mesh (Retsch, Jerman) untuk memperoleh ukuran partikel yang halus dan seragam. Penimbangan dilakukan dengan timbangan digital (Shimadzu TXB622L, Jepang; ketelitian 0,01 g) serta timbangan analitik (Mettler Toledo XS105, Swiss; ketelitian 0,0001 g). Pengemasan sampel menggunakan *vacuum sealer* (DZ-260, China), sedangkan pengukuran warna dilakukan dengan *chromameter* (Konica Minolta CM-5, Jepang).

Analisis amilografi dilakukan dengan *Rapid Visco Analyzer* (RVA 4500, Perten Instruments, Swedia). Karakterisasi morfologi partikel diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM, JEOL JSM-6510, Jepang), sedangkan distribusi ukuran partikel dianalisis menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA, Malvern Mastersizer 3000, Inggris). Sampel cair dan suspensi dianalisis menggunakan *centrifuge* (Eppendorf 5810R, Jerman) dan tabung sentrifus (Corning 50 mL, USA), serta dihomogenisasi menggunakan *vortex mixer* (VWR VX-200, USA). Pengujian juga menggunakan *waterbath* (Memmert WNB14, Jerman) untuk perlakuan pemanasan terkontrol. Sampel kering disimpan menggunakan desikator (Nalgene, USA). Peralatan lain yang digunakan antara lain cawan berbahan *stainless steel*, aluminium, nikel, atau porselen, serta perlengkapan laboratorium standar seperti gelas ukur, labu ukur, pipet, spatula, dan penjepit cawan.

Bahan utama penelitian ini berupa kulit biji kakao kering dari dua kategori mutu. Sampel kulit biji kakao bulk difermentasi selama lima hari diperoleh dari Perkebunan Kendeng Lembu, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur, sedangkan sampel kulit biji kakao edel difermentasi selama tiga hari diperoleh dari Taman Teknologi Pertanian Nglanggeran, Kabupaten Gunung Kidul, DI Yogyakarta. Perbedaan lama fermentasi ini mengikuti standar pascapanen yang umum digunakan pada masing-masing kategori mutu, di mana fermentasi edel lebih singkat untuk menjaga aroma khas, sementara bulk memerlukan fermentasi lebih lama untuk menurunkan rasa sepat dan pahit. Dengan demikian, perbandingan yang dilakukan dalam penelitian ini merepresentasikan kondisi optimal dan nyata dari masing-masing kategori mutu kakao. Diguatkan pula sampel ketiga berupa campuran edel dan bulk dengan perbandingan 1:1 untuk mengeksplorasi kemungkinan sifat fungsional dan fisikokimia yang lebih seimbang.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2023 hingga Februari 2024 di Laboratorium Keteknikan

Pengolahan Pangan, Laboratorium Teknologi Pengolahan Pangan, dan Laboratorium Jasa Uji, Departemen Teknologi Industri Pangan, serta Laboratorium Pascapanen, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Industri Pertanian, Universitas Padjadjaran. Beberapa analisis tambahan dilakukan di laboratorium pihak ketiga di luar Universitas Padjadjaran. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan deskriptif (*explanatory research*). Tiga perlakuan digunakan dalam penelitian ini, yaitu tepung kulit biji kakao varietas edel (A), tepung kulit biji kakao varietas bulk (B), dan tepung campuran keduanya dengan perbandingan 1:1 (C). Setiap perlakuan dilakukan dua kali ulangan. Bahan penelitian berupa kulit biji kakao kering terfermentasi yang diperoleh dari masing-masing kebun penghasil kakao.

Pembuatan tepung kulit biji kakao mengacu pada metode Husna *et al.* (2017) dengan modifikasi. Kulit biji kakao terfermentasi kemudian dikeringkan dalam oven *blower* pada suhu 50°C selama 24 jam hingga kadar air mencapai $\leq 7,5\%$ sesuai SNI 01-2323-2008. Sampel kering digiling dengan grinder dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh untuk memperoleh tepung halus. Untuk perlakuan campuran (C), tepung edel dan bulk dicampur dengan perbandingan 1:1. Nanopartikel tepung kulit biji kakao dibuat dengan metode *top-down* menggunakan *ballmilling* pada kecepatan 1200 rpm. Hasil gilingan kemudian diayak kembali pada 100 mesh untuk menjaga homogenitas, lalu dianalisis ukurannya menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

Sampel tepung nanopartikel selanjutnya dianalisis kadar air, sifat fungsional (*swelling volume*, *solubility*, kapasitas penyerapan air), profil amilografi menggunakan *Rapid Visco Analyzer* (RVA), distribusi ukuran partikel dengan PSA, morfologi partikel menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), serta warna menggunakan *chromameter* CM-5 dengan sistem CIE-Lab (L^* , a^* , b^*). Data hasil pengujian dianalisis menggunakan SPSS dengan metode One Way ANOVA pada taraf kepercayaan 95%. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji Tukey (BNJ) untuk melihat perbedaan nyata antar sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil penelitian Djali *et al.* (2023), terdapat perbedaan komposisi kimia kulit biji kakao setelah melewati proses fermentasi dan pengeringan. Perbedaan komponen proksimat dan bioaktif antar kategori mutu kakao edel dan bulk ini diduga akan berpengaruh terhadap karakteristik nanopartikel yang dihasilkan. Komposisi proksimat dan bioaktif kulit biji kakao varietas edel (Mulia) dan bulk (Lindak) yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa kulit biji kakao edel (Mulia) memiliki kandungan protein (18,89%) dan aktivitas antioksidan (49,82 $\mu\text{g/mL}$) yang lebih tinggi dibandingkan bulk (Lindak). Kandungan polifenol, theobromin, dan kafein juga relatif lebih besar pada edel, sehingga berpotensi memberikan kontribusi pada sifat bioaktif dan fungsionalnya. Sebaliknya, kulit biji kakao bulk memiliki kandungan serat (21,53%) dan karbohidrat (61,34%) yang lebih tinggi dibandingkan edel. Komposisi ini mengindikasikan bahwa bulk berpotensi lebih unggul dalam sifat fisikokimia terkait daya serap air dan *swelling volume*, sementara edel lebih menonjol dalam aktivitas bioaktif seperti kapasitas antioksidan.

Perbedaan komposisi kimia ini diperkirakan akan memengaruhi karakteristik nanopartikel yang dihasilkan, baik dari sisi sifat fungsional, profil amilografi, maupun

fisikokimia. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya membandingkan dua kategori mutu kakao (edel dan bulk) secara individual, tetapi juga mengeksplorasi potensi campuran edel : bulk (1:1) untuk memperoleh karakteristik yang lebih seimbang antara sifat bioaktif (dari edel) dan sifat fungsional berbasis serat (dari bulk).

Kadar Air

Pengeringan biji kakao bertujuan untuk menurunkan kadar air dan aktivitas air sehingga biji kakao lebih stabil dan tidak mudah rusak selama penyimpanan. Menurut SNI 01-2323-2008, kadar air maksimum kulit biji kakao yang memenuhi syarat mutu adalah 7,5%. Berdasarkan hasil pengukuran (Tabel 2), kadar air sampel A (bulk), B (edel), dan C (campuran) masing-masing sebesar $5,75 \pm 0,14\%$, $5,78 \pm 0,03\%$, dan $5,53 \pm 0,15\%$.

Berdasarkan Tabel 2, seluruh sampel memiliki kadar air di bawah ambang batas standar mutu ($\leq 7,5\%$), sehingga dapat dikategorikan memenuhi syarat kualitas penyimpanan. Rendahnya kadar air ini dipengaruhi oleh proses fermentasi yang dilakukan sebelum pengeringan. Pada saat fermentasi, pulp yang menyelimuti biji mengalami degradasi akibat aktivitas mikroba dan enzim, sehingga lebih mudah terlepas dari kulit biji. Kondisi ini mempermudah keluarnya air bebas selama proses pengeringan (Wahyuni *et al.*, 2016). Hal ini sejalan dengan pendapat Ackah & Dompey (2021) yang menyatakan bahwa *pulp* yang tebal akan meningkatkan kadar air karena sulit melepaskan air selama pengeringan.

Komposisi pulp kakao yang terdiri dari 80–90% air serta komponen lain seperti albuminoid, glukosa, sukrosa, asam sitrat, dan garam-garam (Nurfaillah *et al.*, 2018), menjadi faktor utama yang memengaruhi kadar air akhir kulit biji kakao. Pada penelitian ini, kadar air sampel B (edel) sedikit lebih tinggi dibandingkan A (bulk) dan C (campuran). Hal tersebut diduga karena pulp kakao edel relatif lebih tebal dibandingkan bulk, sehingga proses pelepasan air berlangsung lebih lambat (Ariyanti, 2017). Temuan ini konsisten dengan data pustaka pada Tabel 1, di mana kadar air segar maupun setelah fermentasi–pengeringan kulit biji kakao edel tetap lebih tinggi dibandingkan bulk.

Tabel 1. Komponen kimia kulit biji kakao

Varietas	Komponen Proksimat	Komponen Bioaktif
Mulia (Kakao Edel)	Air : 7,46%	Polyfenol : 6,01%
	Abu : 8,19%	Theobromin : 2,2%
	Protein : 18,89%	Kafein : 0,64%
	Lemak : 2,62%	Serat : 15,61%
	KH : 41,02%	Antioksidan : 49,82 $\mu\text{g/mL}$
Lindak (Kakao Bulk)	Air : 6,42%	Polyfenol : 5,7%
	Abu : 7,45%	Theobromin : 1,98%
	Protein : 17,16%	Kafein : 0,36%
	Lemak : 2,26%	Serat : 21,53%
	KH : 61,34%	Antioksidan : 45,4 $\mu\text{g/mL}$

Sumber: Djali, *et al.* (2023)

Tabel 2. Kadar air nanopartikel kulit biji kakao

Sampel	Kadar Air (%)
Bulk (A)	$5,75 \pm 0,14$
Edel (B)	$5,78 \pm 0,03$
Campuran (C)	$5,53 \pm 0,15$

Tabel 3. Sifat Fungsional nanopartikel

Sampel	Swelling Volume	Solubility	KPA
Bulk (A)	7,96±1,13 ^a	41,27±16,11 ^a	3,05±0,04 ^a
Edel (B)	6,37±1,52 ^a	40,13±11,59 ^a	2,52±0,07 ^b
Campuran (C)	7,57±2,02 ^a	29,84±7,86 ^a	2,47±0,16 ^b

Keterangan: Rata-rata yang ditandai huruf yang sama arah vertikal berdasarkan Uji Tukey pada taraf 5%

Selain faktor fermentasi dan ketebalan pulp, kadar air juga dipengaruhi oleh struktur dinding sel kulit biji kakao. Selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang menyusun dinding sel memiliki kemampuan berbeda dalam mengikat air. Kandungan serat kasar yang lebih tinggi pada kakao bulk (Tabel 1) dapat meningkatkan daya ikat air secara internal, namun justru membantu proses pengeringan karena struktur serat yang lebih porous (Hashimoto *et al.*, 2018). Hal ini menjelaskan mengapa kadar air sampel bulk (A) lebih rendah dibanding edel (B), meskipun kadar seratnya lebih tinggi.

Selain itu, perbedaan varietas atau kategori mutu juga turut berperan. Kakao edel umumnya memiliki *pulp* dengan kandungan gula lebih tinggi (glukosa, sukrosa) dibanding bulk (Afoakwa, 2021). Kandungan gula yang tinggi menyebabkan *pulp* lebih higroskopis sehingga cenderung mempertahankan air lebih lama. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Ariyanti (2017) yang melaporkan bahwa *pulp* edel lebih tebal dan lebih sulit mengalami dehidrasi dibanding bulk.

Kadar air yang rendah pada semua sampel (5,53–5,78%) sangat menguntungkan dari sisi daya simpan, karena kadar air di bawah 7,5% dapat menghambat pertumbuhan kapang, ragi, maupun aktivitas enzim perusak (SNI 01-2323-2008). Dengan demikian, baik bulk, edel, maupun campuran memiliki prospek yang baik untuk dijadikan bahan baku tepung nanopartikel yang stabil selama penyimpanan.

Hal menarik terlihat pada sampel campuran (C), yang justru memiliki kadar air paling rendah (5,53%). Kondisi ini dapat dijelaskan sebagai hasil dari efek kombinasi: bulk yang lebih cepat kehilangan air karena *pulp* lebih tipis dan edel yang memberikan struktur kimia lebih kompleks, menghasilkan komposisi yang lebih seimbang dalam proses pengeringan. Dengan kata lain, penggunaan campuran edel dan bulk berpotensi memberikan keuntungan dari sisi kestabilan kadar air dan daya simpan, selain dari aspek fungsional yang akan dianalisis lebih lanjut.

Sifat Fungsional Nanopartikel

Sifat fungsional tepung, seperti swelling volume, kelarutan, dan kapasitas penyerapan air (KPA), merupakan parameter penting dalam menentukan potensi aplikasinya pada produk pangan. Karakteristik ini dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan, struktur granula pati, serta perlakuan modifikasi yang diberikan. Pada penelitian ini, analisis sifat fungsional dilakukan terhadap nanopartikel kulit biji kakao edel, bulk, dan campurannya. Hasil pengukuran sifat fungsional ketiga sampel disajikan pada Tabel 3.

Swelling Volume

Nilai swelling volume tertinggi diperoleh pada sampel bulk (A) yaitu 7,96 mL/g, sedangkan terendah terdapat pada edel (B) yaitu 6,37 mL/g. Meskipun demikian, perbedaan ketiga sampel tidak signifikan secara statistik. Swelling volume yang lebih tinggi pada sampel bulk diduga disebabkan oleh proses fermentasi lebih lama (5 hari), yang memicu pemecahan granula pati sehingga lebih mudah

menyerap air (Yuan *et al.*, 2008). Selain itu, bulk memiliki kadar lemak lebih rendah (2,26%) dibanding edel (2,62%) (Tabel 1). Lemak dapat menghambat penyerapan air karena menutupi granula pati, sehingga kadar lemak rendah mendukung peningkatan swelling (Sung & Stone, 2004).

Kerusakan permukaan granula akibat ballmilling juga menghasilkan pori dan retakan (Lasale *et al.*, 2022), yang memudahkan penetrasi air. Bulk yang memiliki struktur sel lebih padat dan serat kasar lebih tinggi (21,53%) juga berhubungan dengan kandungan amilosa lebih besar, sehingga gugus hidrofilik (–OH, –COOH) lebih banyak berikatan dengan air dan meningkatkan pembengkakan (Bukhori *et al.*, 2019; Ekafitri, 2009).

Solubility

Nilai kelarutan tertinggi terdapat pada bulk (A) (41,27%), diikuti edel (B) (40,13%), dan terendah pada campuran (C) (29,84%). Perbedaan ini tidak signifikan secara statistik. Tingginya nilai kelarutan pada bulk sejalan dengan kandungan amilosanya yang lebih tinggi, karena amilosa lebih mudah larut dibanding amilopektin. Proses ballmilling (1000–2000 rpm, ±1 jam) menyebabkan kerusakan fisik granula, terutama pada daerah amorf, sehingga amilosa terdifusi keluar (Widjanarko *et al.*, 2014). Hal ini meningkatkan pelepasan amilosa ke dalam air (leaching), yang berkontribusi pada kelarutan (Ulfa *et al.*, 2022).

Rendahnya kelarutan pada campuran (C) kemungkinan disebabkan oleh efek interaksi komposisi. Bulk yang tinggi serat dan edel yang lebih kaya protein menghasilkan struktur yang relatif lebih padat, sehingga mengurangi jumlah amilosa yang terdifusi ke dalam medium berair.

Kapasitas Penyerapan Air (KPA)

KPA tertinggi ditunjukkan oleh bulk (A) yaitu 3,05 g/g, sedangkan terendah pada campuran (C) yaitu 2,47 g/g. Berdasarkan uji Tukey, bulk berbeda nyata dengan edel dan campuran. Tingginya nilai KPA bulk konsisten dengan nilai swelling dan kelarutan yang tinggi, karena struktur granula yang berpori memungkinkan air masuk lebih mudah. Semakin banyak pori dan retakan akibat ballmilling, semakin luas permukaan yang dapat berinteraksi dengan air (Bemiller & Huber, 2015).

Kadar amilosa juga berperan besar, karena amilosa bersifat hidrofilik dan mampu meningkatkan indeks penyerapan air (Winarno, 2008; Subroto *et al.*, 2022). Pada penelitian ini, bulk diperkirakan memiliki kandungan amilosa lebih tinggi dibanding edel, sehingga mampu menyerap air lebih banyak. Selain itu, pati yang terbawa dari lembaga biji kakao selama proses fermentasi dan pengeringan juga dapat berkontribusi pada tingginya kapasitas penyerapan air pada bulk (Febrianto, 2022). Sebaliknya, pada edel, *pulp* dan kulit lebih bersih dari lembaga sehingga kandungan pati relatif lebih sedikit (Kimberly, 2023), yang menjelaskan rendahnya KPA edel.

Warna

Warna merupakan salah satu parameter penting yang menentukan penerimaan konsumen terhadap produk pangan. Pada tepung atau nanopartikel kulit biji kakao, warna dipengaruhi oleh kandungan kimia bahan, seperti lignin, polifenol, antosianin, serta kadar air yang berhubungan dengan tingkat pencoklatan selama fermentasi dan pengeringan. Pengukuran warna dilakukan dengan sistem CIE-Lab (L*, a*, b*) untuk mengevaluasi tingkat kecerahan (L*), intensitas merah (a*), dan intensitas kuning (b*). Hasil analisis warna nanopartikel kulit biji kakao disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan Tabel 4, nilai L* (kecerahan) berkisar antara 40,76 - 44,18. Nilai L* sampel bulk (A) lebih tinggi dan

berbeda nyata dibandingkan edel (B) dan campuran (C), yang menunjukkan bahwa bulk lebih cerah, sedangkan edel dan campuran cenderung lebih gelap. Hasil ini sesuai dengan karakteristik kulit biji kakao varietas bulk yang secara alami lebih terang dibanding edel. Perbedaan kecerahan ini juga berkaitan dengan kadar air, di mana sampel edel (5,78%) memiliki kadar air sedikit lebih tinggi daripada bulk (5,75%), sehingga lebih mudah mengalami pencoklatan enzimatis maupun non-enzimatis (Mubarq, 2023).

Selain kadar air, lignin juga berperan penting. Kulit biji kakao edel memiliki kandungan lignin lebih tinggi (38,78%) dibanding bulk (14,7%) (Wanti, 2008). Lignin yang tinggi cenderung menghasilkan warna cokelat lebih tua karena mudah mengalami degradasi termal selama pengeringan, membentuk senyawa berwarna gelap (Fatriasari *et al.*, 2016). Oleh karena itu, nilai L^* yang lebih rendah pada edel dibanding bulk merupakan cerminan dari komposisi kimianya.

Nilai a^* dan b^* seluruh sampel bernilai positif, menunjukkan dominasi warna merah kekuningan. Nilai a^* relatif tidak berbeda nyata antar sampel, yang mengindikasikan kontribusi antosianin dan β -karoten serupa pada ketiga perlakuan (Sholichah *et al.*, 2021). Sementara itu, nilai b^* sampel bulk (A) lebih tinggi dan berbeda nyata dibanding edel (B) maupun campuran (C), menunjukkan kecenderungan warna kekuningan lebih kuat. Warna kekuningan ini terkait dengan kandungan flavonoid (epikatekin) dan karotenoid, yang pada bulk lebih terdeteksi akibat kadar serat dan karbohidrat lebih tinggi sehingga mampu melindungi pigmen dari degradasi.

Hasil penelitian ini konsisten dengan temuan Lembong *et al.* (2021) yang melaporkan nilai L^* kulit biji kakao asal Gunungkidul sebesar 46,08, nilai a^* 10,77, dan b^* 16,99. Nilai ini lebih tinggi dibandingkan edel pada penelitian ini, menunjukkan adanya variasi warna antar daerah. Perbedaan juga sesuai dengan studi Barbosa-Pereira *et al.* (2019a) yang menganalisis 44 kulit biji kakao dari berbagai varietas (Forastero, Trinitario, Criollo) dan lokasi, di mana perbedaan varietas dan lingkungan budidaya menghasilkan variasi signifikan pada nilai L^* , a^* , dan b^* .

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa bulk lebih cerah dan kekuningan karena kadar air dan lignin lebih rendah, sedangkan edel lebih gelap karena kadar air dan lignin lebih tinggi. Campuran menunjukkan nilai menengah, yang mencerminkan sifat transisi antara kedua kategori mutu.

Sifat Amilografi

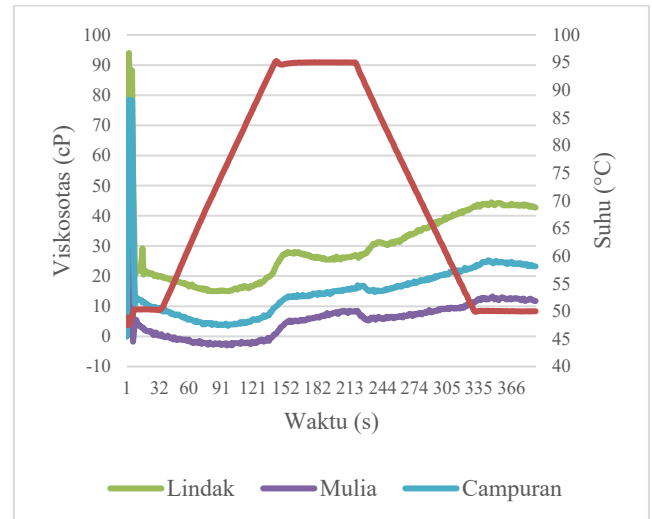
Analisis amilografi menggunakan Rapid Visco Analyzer (RVA) bertujuan untuk mengetahui profil gelatinisasi pati yang terkandung dalam nanopartikel kulit biji kakao. Parameter yang diukur meliputi viskositas puncak, viskositas holding, suhu gelatinisasi, serta *setback viscosity* yang merepresentasikan kemampuan retrogradasi pati. Hasil amilografi ketiga sampel disajikan pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1, ketiga sampel menunjukkan profil viskositas yang rendah, menandakan bahwa nanopartikel kulit biji kakao mengalami pengembangan terbatas. Rendahnya viskositas berkaitan dengan ukuran partikel yang sangat kecil akibat proses *ballmilling*, yang menyebabkan granula pati kehilangan struktur aslinya sehingga kemampuan pengembangan berkurang. Namun demikian, ketiga sampel tetap menunjukkan kemampuan menyerap air cukup tinggi karena kandungan amilosa relatif besar. Amilosa bersifat lebih hidrofilik dibandingkan amilopektin, sehingga mampu berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen (Hadi, 2017).

Tabel 4. Warna nanopartikel

Sampel	L^*	a^*	b^*
Bulk (A)	44,18±2,33 ^b	13,34±0,90 ^a	21,95±1,35 ^b
Edel (B)	40,76±0,89 ^a	12,57±0,32 ^a	17,83±0,32 ^a
Campuran(C)	41,09±0,97 ^a	12,52±0,14 ^a	18,32±0,31 ^a

Keterangan: Rata-rata yang ditandai huruf yang sama berdasarkan Uji Tukey pada taraf 5%



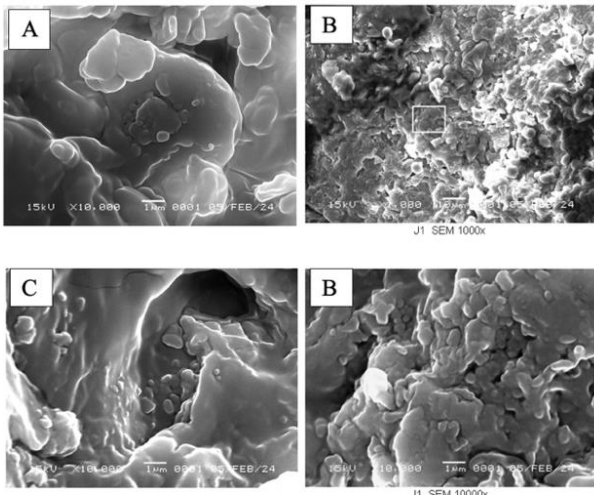
Gambar 1. Sifat amilografi nanopartikel

Hasil analisis menunjukkan bahwa suhu gelatinisasi tercatat 0°C, yang tidak relevan dengan proses gelatinisasi pati pada umumnya. Hal ini menunjukkan bahwa pati dalam kulit biji kakao sama sekali tidak membentuk gel yang stabil, kemungkinan karena kandungan pati sangat rendah dan terfragmentasi selama fermentasi dan *ballmilling*. Faktor yang memengaruhi suhu gelatinisasi antara lain ukuran granula, kandungan amilosa, dan interaksi amilosa–lemak (Sodhi & Singh, 2005; Jading *et al.*, 2011; Aini *et al.*, 2016).

Perbedaan yang menonjol terdapat pada nilai *setback viscosity*. Sampel bulk (A) menunjukkan nilai tertinggi (16,75 ± 2,22 cP), sedangkan edel (B) terendah (6,25 ± 0,96 cP), dengan campuran (C) berada di antara keduanya. Perbedaan ini signifikan berdasarkan uji Tukey ($p < 0,05$). *Setback viscosity* mencerminkan kemampuan pati untuk retrogradasi saat pendinginan, yaitu pembentukan kembali struktur kristal dari amilosa. Nilai *setback* yang tinggi pada bulk menunjukkan kecenderungan retrogradasi lebih besar, yang mungkin disebabkan oleh tidak maksimalnya pengembangan granula saat pemanasan, sehingga amilosa cepat membentuk kristal kembali saat pendinginan (Prabowo *et al.*, 2014). Kondisi ini mengindikasikan bahwa bulk berpotensi lebih stabil pada produk yang membutuhkan retrogradasi, tetapi kurang sesuai untuk aplikasi yang menghendaki tekstur lembut dan stabil selama penyimpanan (Maulani *et al.*, 2013; Imam *et al.*, 2014).

Scanning Electron Microscope (SEM)

Untuk memahami struktur partikel setelah proses *ballmilling*, dilakukan analisis *Scanning Electron Microscope* (SEM). Pencitraan ini memberikan gambaran morfologi permukaan nanopartikel, termasuk ukuran, bentuk, homogenitas, dan adanya fenomena agregasi partikel. Hasil pencitraan SEM untuk ketiga sampel disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Morfologi nanopartikel: (A) bulk, (B) edel, (C) campuran

Tabel 5. Ukuran nanopartikel

Sampel	Ukuran Partikel (nm)	PDI
Bulk (A)	516	1,43
Edel (B)	373	1,87
Campuran(C)	370,95	1,73

Analisis morfologi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) memperlihatkan bahwa ketiga sampel nanopartikel kulit biji kakao (bulk, edel, dan campuran) memiliki karakteristik yang berbeda. Pada perbesaran $\times 1000$, terlihat gambaran umum distribusi partikel yang menunjukkan adanya kecenderungan agregasi pada seluruh sampel. Fenomena ini diduga terjadi karena proses ballmilling menyebabkan fusi antar granula pati sehingga partikel cenderung menyatu dan tidak sepenuhnya terpisah (Das & Sit, 2021).

Sementara itu, pada perbesaran $\times 10.000$, detail morfologi partikel dapat diamati lebih jelas. Sampel bulk (A) memperlihatkan partikel berukuran relatif lebih besar dengan permukaan berpori, sedangkan sampel edel (B) menunjukkan partikel berukuran lebih kecil dan relatif lebih seragam, namun permukaannya tampak kasar. Sampel campuran (C) memiliki bentuk partikel yang tidak beraturan dengan distribusi ukuran yang heterogen. Perbedaan ini sejalan dengan komposisi kimia masing-masing sampel. Kadar lignin yang lebih tinggi pada edel (38,78%) menyebabkan tekstur permukaan lebih kasar, sedangkan bulk dengan lignin lebih rendah (14,7%) memiliki permukaan yang lebih halus dan pori-pori lebih terbuka (Wanti, 2008; Heradewi *et al.*, 2007).

Perbedaan perbesaran yang digunakan ($\times 1000$ dan $\times 10.000$) bertujuan untuk memberikan dua sudut pandang analisis: (1) *overview* distribusi partikel dan fenomena agregasi pada perbesaran rendah, dan (2) detail morfologi serta tekstur permukaan pada perbesaran tinggi. Namun, untuk membandingkan morfologi antar sampel secara langsung, interpretasi dilakukan pada perbesaran yang sama ($\times 10.000$). Dengan demikian, hasil perbandingan tetap valid dan dapat dipertanggungjawabkan.

Secara keseluruhan, hasil SEM memperkuat temuan pada analisis sifat fungsional dan warna. Sampel bulk yang lebih terang juga menunjukkan struktur berpori yang memudahkan penyerapan air, sedangkan edel yang lebih gelap memiliki permukaan kasar akibat tingginya lignin. Campuran menampilkan sifat transisi, dengan bentuk partikel yang tidak seragam.

Ukuran Nanopartikel

Ukuran partikel merupakan parameter penting yang menentukan sifat fisik, stabilitas, serta potensi aplikasi nanopartikel dalam pangan. Analisis ukuran partikel pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Dynamic Light Scattering* (DLS), yang mengukur distribusi ukuran berdasarkan gerak Brownian partikel dalam suspensi. Parameter lain yang diamati adalah *Polydispersity Index* (PDI), yang menunjukkan tingkat keseragaman ukuran partikel. $PDI < 0,3$ menunjukkan partikel relatif seragam (*monodispersed*), sedangkan $PDI > 0,3$ menunjukkan partikel heterogen atau *polydispersed* (Borase *et al.*, 2013). Hasil analisis ukuran partikel dan PDI ditampilkan pada Tabel 5

Hasil analisis ukuran partikel menggunakan *Dynamic Light Scattering* (DLS) (Tabel 5) menunjukkan bahwa sampel bulk (A) memiliki ukuran partikel terbesar (516 nm), sedangkan edel (B) dan campuran (C) memiliki ukuran partikel yang lebih kecil (373 nm dan 370,95 nm). Meskipun demikian, ketiga sampel memiliki nilai *Polydispersity Index* (PDI) > 1 , yang mengindikasikan distribusi ukuran partikel tidak seragam (*polydispersed*) dan cenderung kurang stabil. Menurut Borase *et al.* (2013), partikel dengan distribusi homogen ($PDI < 0,3$) umumnya memiliki kestabilan dispersi yang lebih baik.

Nilai PDI yang tinggi pada ketiga sampel konsisten dengan hasil SEM (Gambar 2), yang menunjukkan adanya fenomena agregasi partikel akibat proses ballmilling. Agregasi ini juga dapat menjelaskan mengapa ukuran partikel rata-rata masih relatif besar (370–516 nm), meskipun dihasilkan dengan teknik nanopartikel. Hal ini karena DLS menghitung gerak Brownian dan hamburan cahaya, sehingga partikel yang beragregasi dianggap sebagai satu partikel berukuran besar (Das & Sit, 2021).

Perlu dicatat bahwa analisis ukuran partikel dilakukan melalui layanan pihak ketiga, sehingga data yang diterima hanya berupa nilai rata-rata hasil instrumen, tanpa data pengulangan individual. Kondisi ini menyebabkan uji statistik lanjutan (*post hoc*) seperti Tukey atau Duncan tidak dapat dilakukan pada parameter ukuran partikel dan PDI. Untuk mengantisipasi keterbatasan ini, hasil DLS diinterpretasikan secara deskriptif dan dikonfirmasi dengan data SEM, sehingga validitas temuan tetap terjaga.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa meskipun nanopartikel kulit biji kakao memiliki ukuran pada rentang ratusan nanometer, kestabilannya masih rendah karena distribusi ukuran partikel heterogen. Hal ini membuka peluang untuk penelitian lanjutan dengan optimasi metode *ballmilling* atau kombinasi teknik lain, serta penggunaan analisis tambahan seperti zeta potential untuk mengevaluasi stabilitas dispersi partikel secara lebih detail.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa nanopartikel tepung kulit biji kakao varietas bulk (A) cenderung memiliki karakteristik fisikokimia, fungsional, dan profil amilografi yang lebih baik dibandingkan varietas edel (B) maupun campuran (C), meskipun perbedaannya tidak signifikan. Bulk menghasilkan nilai kelarutan (41,27%), *swelling volume* (96 mL/g), dan kapasitas penyerapan air (3,05 g/g) tertinggi, yang berkaitan dengan tingginya kadar serat dan amilosa serta rendahnya kadar lemak. Ketiga sampel menunjukkan profil viskositas yang rendah sehingga pengembangannya terbatas, namun tetap memiliki kemampuan penyerapan air yang tinggi karena kandungan amilosa. Analisis ukuran partikel menunjukkan bahwa semua sampel berada pada rentang 370–516 nm dengan distribusi tidak seragam ($PDI >$

1), sehingga kestabilannya masih rendah. Secara keseluruhan, perbedaan kategori mutu kulit biji kakao tidak berpengaruh signifikan terhadap sifat fungsional, amilografi, dan fisikokimia nanopartikel, meskipun varietas bulk memberikan kecenderungan hasil yang lebih unggul.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Rektor Universitas Padjadjaran atas dukungan pendanaan melalui Academic Leader Grant (ALG) Tahun 2024 Nomor: 1500/UN6.3.1/PT.00/2024. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada rekan-rekan tim penelitian yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kerja sama sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackah, E., & Domphey, 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. Bulletin of the National Research Centre*, 45(1). <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00634-7>
- Afoakwa, E. O. (2021). *Chocolate Science and Technology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444319880>
- Aini, N., Wijonarko, G. & Sustrawan, B. (2016). Sifat Fisik, Kimia dan Fungsional Tepung Jagung Yang Diproses Melalui Fermentasi. *Acta Universitatis Cibiniensis Series E: Food Technology*, 36(2), 160–169. <https://doi.org/10.22146/agritech.12860>
- Al Bukhori, J., Karim, A., Hariyadi, P. (2019). Pengaruh Teknik Pengolahan terhadap Karakteristik Kimia dan Swelling Power pada Tapioka yang Dihasilkan.
- Arief, R. W., & Asnawi, R. (2011). Karakterisasi sifat fisik dan kimia beberapa jenis biji kakao lindak di Lampung. *Journal of Industrial and Beverage Crops*, 2(3), 325-330.
- Ariyanti, M. (2017). Karakteristik mutu biji kakao (Theobroma cacao L) dengan perlakuan waktu fermentasi berdasar SNI 2323-2008. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 12(1), 34-42.
- Barbosa-Pereira, L., Rojo-Poveda, O., Ferrocino, I., Giordano, M., Zeppa, G., & Bertolino, M. (2019a). *Cocoa bean shell: A by-product with nutritional properties and biofunctional potential. Nutrients*, 11(9), 2479. <https://doi.org/10.3390/nu11092479>
- BeMiller, J. N., & Huber, K. C. (2015). *Physical modification of food starch functionalities. Annual review of food science and technology*, 6(1), 19-69.
- Borase, H. P., Patil, C. D., Suryawanshi, R. K., & Patil, S. V. (2013). *Ficus carica latex-mediated synthesis of silver nanoparticles and its application as a chemophotoprotective agent. Applied biochemistry and biotechnology*, 171, 676-688.
- Bukhori, A., Haryanto, B., & Rochima, E. (2019). *Effect of amylose content on physicochemical and functional properties of starch. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 251(1), 012024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/251/1/012024>
- Das, S., & Sit, S. (2021). *Mechanochemical synthesis of nanomaterials by high energy ball milling. Materials Today: Proceedings*, 45, 4606–4611. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.479>
- Djali, M.; Santasa, K.; Indianto, R.; Subroto, E.; Fetriyuna, F.; Lembong, E. *Proximate Composition and Bioactive Compounds of Cocoa Bean Shells as a By-Product from Cocoa Industries in Indonesia. Foods* 2023, 12, 3316. <https://doi.org/10.3390/foods12173316>
- Duncan, T. v. (2011). *Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>
- Ekafitri, R. (2009). Hubungan kadar amilosa dengan sifat fungsional tepung-tepungan. *Agrointek*, 3(2), 123–131.
- Faridah, A., & Widjanarko, S. B. (2014). Penambahan tepung porang pada pembuatan mi dengan substitusi tepung mocaf (modified cassava flour)[Addition of Porang Flour in Noodle as Mocaf Substitution (Modified cassava Flour)]. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 25(1), 98-98.
- Farhanandi, B. W., Indah, N. K., Biologi, J., Matematika, F., Pengetahuan, I., Universitas, A., & Surabaya, N. (2022). Karakteristik Morfologi dan Anatomi Tanaman Kakao (Theobroma cacao L.) yang Tumbuh pada Ketinggian Berbeda *Morphological and Anatomical Characteristics of Cocoa Plants (Theobroma cacao L.) That Grow at Different Heights*. 11(2), 310–325. <https://journal.unesa.ac.id/index.php/lenterabio/index31>
- Fatriasari, W., Syafii, W., Wibowo, S., & Syamsu, K. (2016). *Characterization of lignin from cocoa pod husk. Indonesian Journal of Forestry Research*, 3(1), 13–25. <https://doi.org/10.20886/ijfr.2016.3.1.13-25>
- Febrianto, H. (2022). Karakterisasi pati pada lembaga biji kakao dan implikasinya terhadap mutu tepung kulit biji kakao. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 23(1), 77–85.
- Hadi, N., Yusmarini, Y., & Efendi, R. (2017). Pemanfaatan tepung biji nangka dan tepung jagung dalam pembuatan flakes (Doctoral dissertation, Riau University).
- Hashimoto, J. C., Lima, J. C., Celeghini, R. M. S., Nogueira, A. B., Efraim, P., Poppi, R. J., & Pallone, J. A. L. (2018). *Quality Control of Commercial Cocoa Beans (Theobroma cacao L.) by Near-infrared Spectroscopy. Food Analytical Methods*, 11(5). <https://doi.org/10.1007/s12161-017-1137-2>
- Heradewi, S., Arifin, M., & Susilowati, D. (2007). Interaksi lignin dengan karbohidrat dan protein dalam biomaterial. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 2(1), 15–22.
- Husna, A., Suherman, S., & Nuryanti, S. (2017). Pembuatan tepung dari biji kakao (Theobroma cacao L) dan uji kualitasnya. *Jurnal Akademika Kimia*, 6(2), 132-142.
- Imam, R. H., Primaniyarta, M., & Palupi, N. S. (2014). Konsistensi mutu pilus tepung tapioka: identifikasi parameter utama penentu kerenyahan. *Jurnal Mutu Pangan: Indonesian Journal of Food Quality*, 1(2), 91-99.
- Imam, S. H., Glenn, G. M., & Orts, W. J. (2014). Starch-based nanocomposites: Properties and applications. *Journal of Polymers and the Environment*, 22, 331–336.
- Jading, A., Tang, J., & Jun, S. (2011). Effect of amylose content on starch retrogradation and gel texture. *Carbohydrate Polymers*, 85(1), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.02.009>
- Kayaputri, I. L., Sumanti, D. M., Djali, M., Indianto, R., & Dewi, D. L. (2014). *KAJIAN FITOKIMIA EKSTRAK KULIT BIJI KAKAO (Theobroma cacao L.)*. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 24(2), 98–104
- Kimberly, P. (2023). Evaluasi keberadaan lembaga pada kulit biji kakao setelah fermentasi. *Jurnal Agroindustri*, 15(1), 55–64.
- Langkong, J., Mahendradatta, M., Tahir, M. M., Abdullah, N., & Reski, M. (2019b). PEMANFAATAN KULIT BIJI KAKAO (THEOBROMA CACAO L) MENJADI PRODUK COOKIES COKLAT (Utilization Of Cocono Seed Skin (Theobroma Cacao L) Become Chocolate Cookies

- Products). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri*, 2(1).
- Lasale, N. R., Liputo, S. A., & Limonu, M. (2022). Karakteristik Fisik dan Kimia Pati Resisten Pisang Goroho (*Musa acuminata* sp.) pada Berbagai Suhu Pengeringan. *Jambura Journal of Food Technology (JJFT)*, 4(1), 64–77.
- Lembong, E., Djali, M., Zaida, & Utama, G. L. (2021). The potential of dry fermented cocoa (*Theobroma cacao* L.) variety Bulk bean shell treated at different degrees of roasting as a functional food. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012068>
- Maulani, R. R., Fardiaz, D., Kusnandar, F., & Sunarti, T. C. (2013). Functional properties of hydroxypropylated and crosslinked arrowroot starch.
- Meryandini, A., Basri, A., & Sunarti, T. C. (2019). Peningkatan Kualitas Biji Kakao (*Theobroma Cacao* L) Melalui Fermentasi Menggunakan *Lactobacillus* Sp. Dan *Pichia kudriavzevii*. *Jurnal Bioteknologi & Biosains Indonesia (JBBi)*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.29122/jbbi.v6i1.3048>
- Minifie, B. (2012). *Chocolate, cocoa and confectionery: science and technology*.
- Mubarog, F. (2023). Pengaruh kadar air terhadap warna coklat kulit biji kakao. *Jurnal Teknologi Pertanian Tropis*, 6(2), 89–96.
- Nurfailah, N., Sari, E. R., Herlinda, H., & Patang, P. (2018). Pemanfaatan Limbah *Pulp* Kakao Menjadi Nata De Cacao. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 4(2), 24–33.
- Prabowo, A. Y., Estiasih, T., & Purwantiningrum, I. (2014). Umbi Gembili (*Dioscorea esculenta* L.) Sebagai Bahan Pangan Mengandung Senyawa Bioaktif: Kajian Pustaka [In Press Juli 2014]. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 2(3), 129–135.
- Rojo-Poveda, O., Barbosa-Pereira, L., Zeppa, G., & Bertolino, M. (2020). Cocoa bean shell: A by-product with antioxidant and functional properties. *Foods*, 9(6), 715. <https://doi.org/10.3390/foods9060715>
- Setiaboma, W., Desnilasari, D., Iwansyah, A. C., Putri, D. P., Agustina, W., Sholichah, E., & Herminiati, A. (2021). Karakterisasi kimia dan uji organoleptik bakso ikan manyung (*Arius thalassinus*, Ruppell) dengan penambahan daun kelor (*Moringa oleifera* Lam) segar dan kukus. *Biopropal Industri*, 12(1), 9–18.
- Sodhi, N. S., & Singh, N. (2005). Characteristics of acetylated starches prepared using starches separated from different rice cultivars. *Journal of Food Engineering*, 70(1), 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.09.018>
- Sholichah, E., Fitri, N., & Dewi, K. (2021). Pigmen alami pada kakao dan peranannya terhadap warna. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 9(2), 101–110.
- Subroto, E., Sitha, N., Filianty, F., Indarto, R., & Sukri, N. (2022). Freeze Moisture Treatment and Ozonation of Adlay Starch (*Coix lacryma-jobi*): Effect on Functional, Pasting, and Physicochemical Properties. *Polymers*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/polym14183854>
- Sung, C.W. dan Stone, M. (2004). Characterization of legume starches and their noodle quality. *Journal of Marine Science and Technology* 12(1): 25–32.
- Ulfa, G. M., Nopriyani, I., Fathuroya, V., Putri, W. D. R., Fibrianto, K., & Widjanarko, S. B. (2022). PENGARUH SUHU TERHADAP DAYA KEMBANG, KELARUTAN, DAN KAPASITAS PENGIKATAN AIR PADA PATI UBI JALAR TERMODIFIKASI ULTRASONIK. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 23(3), 193–202.
- Wahyuni, N. L., Sunarharum, W. B., Muhammad, D. R. A., & Saputro, A. D. (2021). Formation and development of flavour of cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivar Criollo and Forastero: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 733(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/733/1/012078>
- Wahyuni, A., Lullung, D., Wuri, A., Balai, B., Industri, H., Perkebunan, J., & Basalamah, A. (2016). FORMULASI DAN PENINGKATAN MUTU MASKER WAJAH DARI BIJI KAKAO NON FERMENTASI DENGAN PENAMBAHAN RUMPUT LAUT Formulation and quality improvement of non fermented cocoa bean face masks with seaweed addition.
- Wanti, S. (2008). Kandungan lignin kulit biji kakao varietas edel dan bulk. *Buletin Penelitian Perkebunan*, 14(1), 33–39.
- Winarno, F. G. (2008). *Kimia Pangan dan Gizi*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Widjanarko, S. B., Estiasih, T., & Fauziah, A. (2014). Effect of ball milling on starch properties. *Carbohydrate Polymers*, 103, 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.12.056>
- Yuan, M.L., Lu, Z.H., Cheng, Y.Q. dan Li, L.T. (2008). Effect of spontaneous fermentation on the physical properties of corn starch and rheological characteristics of corn starch noodle. *Journal of Food Engineering* 85(1): 12–17.
- Zahara, Y. (2016). Pengaruh waktu milling terhadap ukuran butir quartz dari Nagari Saruaso Kabupaten Tanah Datar. *PILLAR OF PHYSICS*, 8(2).