Autentikasi dan Deteksi Adulterasi Pati Komersial Melalui Analisis Mikroskopik Granula

Widia Pangestika[1], Rifatul Masrikhiyah*[2], Nabila Fajriyati[4], Nayla Nasywazzahra[5], Rahma Sabila[6]
[1,2,3,4,5,6] *Program Studi Gizi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia*
e-mail: rifatul.masrikhiyah@untirta.ac.id

ABSTRAK

Autentikasi pangan merupakan langkah krusial dalam sistem jaminan mutu dan keamanan pangan untuk melindungi konsumen dari praktik kecurangan (food adulteration). Produk pati komersial memiliki kerentanan tinggi terhadap pemalsuan akibat disparitas nilai ekonomi serta potensi pemurnian yang tidak sempurna. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi morfologi granula dari lima jenis pati murni (jagung, garut, sagu, beras, dan singkong) serta mendeteksi keberadaan adulterasi/pengotor pada sampel komersial menggunakan teknik mikroskopi cahaya yang dikombinasikan dengan pewarnaan iodium (I_2/KI 0,01 N). Pengamatan dilakukan pada perbesaran 10× dan 40× dengan memindai minimal lima bidang pandang untuk menjamin keterwakilan data. Hasil pengamatan morfologi menunjukkan perbedaan spesifik berdasarkan asal botani: pati jagung dan beras dominan berbentuk poligonal, sedangkan pati garut, sagu, dan singkong cenderung berbentuk bulat hingga oval. Evaluasi kemurnian pada sampel komersial mengungkapkan keberadaan pengotor berupa debu dan serat tanaman dengan persentase bidang pandang tercampur sebesar 40% pada pati jagung, serta 100% pada pati garut dan sagu, sehingga ketiga sampel dikategorikan teradulterasi/palsu. Sebaliknya, sampel pati beras dan singkong komersial tidak menunjukkan adanya pengotor (0%) dan dikategorikan murni. Penelitian ini membuktikan bahwa analisis mikroskopik berbasis pewarnaan iodium merupakan metode skrining kualitatif yang cepat, handal, dan efisien untuk autentikasi dan pengendalian mutu produk berbasis pati.
Kata kunci: adulterasi pangan, analisis mikroskopik, autentikasi pangan, granula pati, pati komersial

ABSTRACT

Food authentication is a critical step in quality assurance and food safety systems to protect consumers from food adulteration. Commercial starch products exhibit high vulnerability to adulteration due to economic disparities and incomplete purification processes. This study aimed to characterize the granular morphology of five pure starch sources (maize, arrowroot, sago, rice, and cassava) and detect adulteration or impurities in commercial samples using light microscopy combined with iodine staining (0.01 N I_2/KI). Observations were conducted at 10× and 40× magnifications across a minimum of five optical fields to ensure representative sampling. Morphological identification revealed botanical-specific characteristics: maize and rice starches presented predominantly polygonal granules, whereas arrowroot, sago, and cassava starches displayed round-to-oval structures. Purity assessment of commercial samples identified non-starch impurities (dust and plant fibers) with optical field contamination rates of 40% in maize starch, and 100% in arrowroot and sago starches, leading to their classification as adulterated. Conversely, commercial rice and cassava starches showed no impurities (0%) and were classified as pure. This study demonstrates that iodine-stained light microscopy provides a rapid, reliable, and cost-effective screening approach for authentication and quality control of starch-based foods.
Keywords: *commercial starch, food adulteration, food authentication, microscopic analysis, starch granules*

Informasi Artikel:
Submitted: Juli 2026, **Accepted:** Agustus 2026, **Published:** Agustus 2026
ISSN: 2716-0084 (media online), Website: http://jurnal.umus.ac.id/index.php/jigk

PENDAHULUAN

Keamanan dan mutu pangan merupakan prasyarat utama dalam mewujudkan kesehatan masyarakat dan keberlanjutan industri pangan modern [1]. Jaminan keamanan pangan tidak hanya terbatas pada pencegahan cemaran biologi, kimia, maupun fisik, melainkan mencakup kepastian bahwa produk pangan yang beredar di pasaran memiliki keaslian dan komposisi yang sesuai dengan klaim label. Seiring berkembangnya rantai pasok pangan global, tantangan terkait praktik kecurangan pangan (*food fraud*) dan pemalsuan (*food adulteration*) semakin kompleks [2]. Pemalsuan pangan umumnya dilakukan secara sengaja demi keuntungan ekonomi melalui penggantian bahan berkualitas tinggi dengan bahan murah, pencampuran materi non-target, maupun manipulasi informasi komposisi produk.

Komoditas pati dan tepung komersial merupakan bahan baku vital dalam industri pangan yang berfungsi sebagai pembentuk tekstur, agen pengental, stabilizer, dan sumber karbohidrat utama [3]. Tingginya permintaan pasar dan variasi harga antar-jenis pati menjadikan komoditas ini rentan terhadap praktik adulterasi. Pemalsuan produk pati dapat berupa pencampuran pati berharga murah ke dalam pati bernilai tinggi (misalnya pencampuran pati jagung ke dalam pati garut atau sagu), maupun ditemukannya residu non-pati akibat proses ekstraksi dan pemurnian yang tidak memenuhi standar [4]. Permasalahan ini tidak hanya merugikan konsumen secara finansial, tetapi juga berpotensi mengubah karakteristik fisikokimia, sifat gelatinisasi, hingga nilai gizi produk akhir.

Untuk mengatasi isu pemalsuan tersebut, penerapan autentikasi pangan berbasis ilmiah menjadi sebuah kebutuhan [2,4]. Berbagai teknik analitis modern seperti *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR), dan analisis DNA telah dikembangkan untuk autentikasi pangan [5]. Namun demikian, metode-metode tersebut membutuhkan instrumentasi berbiaya tinggi, preparasi sampel yang rumit, serta waktu analisis yang relatif lama. Di sisi lain, analisis mikroskopik berbasis mikroskopi cahaya tetap menjadi teknik skrining awal (*primary screening*) yang unggul karena sifatnya yang cepat, presisi, ekonomis, serta mampu mengidentifikasi karakteristik fisik bawaan bahan pangan secara langsung [6].

Secara biologis, setiap tanaman penyimpan karbohidrat menghasilkan granula pati dengan morfologi yang khas. Karakteristik tersebut dipengaruhi oleh faktor genetik tanaman, arsitektur amiloplas, proses biosintesis amilosa dan amilopektin, serta posisi hilum. Ciri morfologi ini mencakup bentuk geometris (bulat, oval, atau poligonal), distribusi ukuran granula, kejelasan hilum, serta pola lamela konsentris [7]. Oleh karena itu, analisis mikroskopik yang dipadukan dengan pewarnaan spesifik kompleks amilosa-iodium berpotensi kuat membedakan varietas pati murni dan memetakan kontaminasi partikel asing [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi secara komprehensif morfologi granula lima jenis pati murni (jagung, garut, sagu, beras, dan singkong) serta menguji keaslian produk pati komersial yang beredar di pasaran. Melalui pendekatan evaluasi multi-bidang pandang mikroskopis, penelitian ini diharapkan dapat menyajikan kerangka analitis yang valid dan aplikatif dalam mendukung sistem jaminan mutu serta autentikasi produk berbasis pati.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif eksploratif laboratorium dengan pendekatan kualitatif dan semi-kuantitatif. Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober hingga Desember 2025 bertempat di Laboratorium Analisis Zat Gizi, Program Studi Kedokteran, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Banten.

Bahan utama yang diuji terdiri dari sampel pati murni standar (sebagai kontrol positif) dan sampel pati komersial yang diperoleh dari pasar tradisional dan modern di wilayah Serang, Banten menggunakan teknik *purposive sampling*. Jenis pati yang dianalisis mencakup pati jagung (*Zea mays*), pati garut (*Maranta arundinacea*), pati sagu (*Metroxylon sagu*), pati beras (*Oryza sativa*), dan pati singkong/tapioka (*Manihot esculenta*). Kriteria inklusi sampel komersial meliputi

kemasan produk yang masih utuh/tersegel dan belum melewati tanggal kedaluwarsa. Kriteria eksklusi mencakup produk pati yang kemasannya rusak, basah, atau tidak mencantumkan informasi produsen. Reagen pewarnaan yang digunakan adalah larutan Iodium 0,01 N (I_2/KI) dan aquades steril sebagai medium suspensi. Peralatan analisis meliputi mikroskop cahaya (Olympus CX23), kaca objek (*object glass*), kaca penutup (*cover slip*), pipet tetes, spatula mikro, dan gelas beaker.

Preparasi sampel dan pewarnaan iodium

Sebanyak 1–2 mg sampel pati ditimbang dan ditempatkan di atas kaca objek yang bersih dan bebas lemak. Sampel disuspensikan dengan penambahan 10–20 µL aquades menggunakan pipet tetes untuk memisahkan agregat granula. Selanjutnya, sebanyak 10 µL larutan Iodium 0,01 N ditambahkan ke dalam suspensi sampel untuk menginduksi reaksi pembentukan kompleks amilosa–iodium [8]. Preparat ditutup dengan kaca penutup secara perlahan membentuk sudut 45° untuk mencegah terbentuknya gelembung udara pada bidang pengamatan [9].

Analisis Mikroskopik dan Variabel Penelitian

Preparat diamati di bawah mikroskop cahaya pada perbesaran lensa objektif 10× untuk evaluasi sebaran umum, dan perbesaran 40× untuk identifikasi detail struktur morfologi [9]. Variabel utama yang diteliti meliputi:

- Morfologi granula pati: bentuk geometris (bulat, oval, atau poligonal), keseragaman ukuran relatif, serta kejelasan dan posisi hilum (sentral/eksentral) [7,10];
- Tingkat kontaminasi pengotor: keberadaan partikel non-pati seperti serat tanaman dan debu/partikel asing.

Uji autentikasi, deteksi adulterasi dan analisis data

Uji autentikasi pada sampel pati komersial dilakukan dengan memindai minimal lima bidang pandang mikroskopis yang berbeda secara acak untuk menjamin keterwakilan sampling (*representative sampling*) [6]. Keberadaan komponen non-pati diidentifikasi berdasarkan perbedaan kontur optik, bentuk, dan respons pewarnaan. Pengotor dikategorikan menjadi serat tanaman (fragmen dinding sel/jaringan pembuluh) dan debu/partikel asing non-organik. Kuantifikasi tingkat kontaminasi dinyatakan dalam persentase bidang pandang tercampur (%) =

$$\left(\frac{Jumlah\ bidang\ pandang\ mengandung\ pengotor}{Total\ bidang\ pandang\ yang\ diamati}\right) x\ 100\%$$

Data hasil pengamatan ditabulasi dan dianalisis secara deskriptif naratif. Sampel dikategorikan sebagai Murni jika persentase bidang pandang tercampur sebesar 0%, dan dikategorikan Palsu/Teradulterasi jika persentase bidang pandang tercampur >0%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Morfologi Granula Pati

Hasil analisis pengamatan mikroskopis terhadap bentuk geometris, ukuran relatif, dan karakteristik hilum dari lima jenis pati murni standar dan komersial disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Identifikasi morfologi granula pati standar dan komersial

Jenis Pati	Kategori Sampel	Bentuk Granula	Keseragaman Ukuran	Karakteristik Hilum
Pati Jagung	Standar	Poligonal	Seragam	Jelas, sentral
Pati Jagung	Komersial	Poligonal	Seragam	
Pati Garut	Standar	Bulat/Oval	Seragam	Kecill, sentral

Pati Garut	Komersial	Poligonal	Ukuran lebih kecil	Terlihat terbatas
Pati Sagu	Standar	Bulat/Oval	Seragam	Jelas, eksentral
Pati Sagu	Komersial	Bulat/Oval	Tidak seragam	Jelas
Pati Beras	Standar	Poligonal	Seragam (sangat kecil)	Tidak terlihat
Pati Beras	Komersial	Poligonal	Seragam (sangat kecil)	Tidak terlihat
Pati Singkong	Standar	Bulat/Lonceng	Seragam	Jelas, sentral
Pati Singkong	Komersial	Bulat/Lonceng	Seragam	Jelas, sentral

Pengamatan morfologi memperlihatkan bahwa setiap jenis pati memiliki penanda biologis yang khas [7]. Granula pati jagung (*Zea mays*), baik pada sampel standar maupun komersial, menunjukkan bentuk poligonal yang tegas dengan sudut-sudut menyudut akibat tekanan mekanis antar-granula yang saling berdempetan di dalam amiloplas sel endosperma selama masa kematangan benih [10,21]. Hilum pada pati jagung terletak di bagian pusat (sentral) dan tampak jelas di bawah pencahayaan mikroskop. Kesesuaian morfologi antara pati jagung standar dan komersial mengindikasikan bahwa struktur utama matriks pati jagung komersial tidak mengalami pemusnahan struktur akibat pemrosesan mekanis.

Pada sampel pati beras (*Oryza sativa*), granula memiliki bentuk poligonal bersudut tajam dengan ukuran relatif yang jauh lebih kecil (mikro-granula) dibandingkan jenis pati lainnya [7]. Hilum pada granula pati beras tidak terlihat secara visual di bawah mikroskop cahaya biasa. Hal ini disebabkan oleh dimensi granula yang ultra-kecil (2–8 μm) serta kerapatan internal kristalinitas amilopektin yang tinggi, sehingga tingkat refraksi cahaya pada area pusat tidak menghasilkan kontras optik yang memadai [22].

Sebaliknya, kelompok pati berbasis umbi dan batang seperti garut, sagu, dan singkong didominasi oleh bentuk bulat hingga oval [11, 14, 15]. Perbedaan bentuk ini berkaitan erat dengan lingkungan pembentukan granula di dalam sel parenkim organ penyimpan yang lebih leluasa tanpa desakan matriks protein padat seperti pada serealia [21,23]. Pati singkong (*Manihot esculenta*) menunjukkan bentuk granula bulat dengan salah satu sisi terpotong (*truncated/bell-shaped*) serta hilum sentral yang memantulkan cahaya secara jelas [11,15]. Pati sagu (*Metroxylon sagu*) memiliki granula berbentuk oval berukuran sedang hingga besar dengan hilum yang terletak agak ke tepi (eksentral) [12]. Namun, pada sampel pati sagu komersial terdeteksi adanya variasi ukuran granula yang tidak seragam, yang diduga dipengaruhi oleh perbedaan usia panen tanaman sagu maupun perlakuan ekstraksi fisik saat pengolahan [13].

Ketidaksesuaian morfologi yang sangat signifikan ditemukan pada sampel pati garut komersial. Sementara pati garut standar (*Maranta arundinacea*) memperlihatkan bentuk bulat/oval dengan hilum berukuran kecil, sampel komersialnya justru menunjukkan granula berbentuk poligonal berukuran kecil [14]. Penyimpangan bentuk granula dari bulat menjadi poligonal pada produk yang dilabeli pati garut merupakan indikator kuat terjadinya manipulasi bahan [16]. Bentuk poligonal kecil tersebut mengarah pada indikasi pencampuran atau penggantian (substitution) pati garut dengan pati serealia murah seperti pati jagung atau pati beras. Praktik ini dipicu oleh disparitas harga pasar yang tinggi, di mana pati garut murni memiliki nilai ekonomi yang jauh lebih mahal dibandingkan tepung jagung atau beras [4].

Mekanisme Pewarnaan Iodium dan Pemetaan Interaksi Molekul

Pewarnaan dengan larutan Iodium (I_2/KI 0,01 N) terbukti menjadi teknik pendukung utama yang mempermudah diferensiasi visual antar-materi [8]. Secara kimiawi, molekul amilosa dalam granula pati membentuk konformasi heliks tunggal bersisi hidrofobik di bagian dalam [24]. Ketika larutan iodium ditambahkan, ion triiodida (I_3^-) dan pentaiodida (I_5^-) akan masuk dan

terperangkap di dalam rongga heliks amilosa tersebut melalui pembentukan kompleks inklusi supramolekul transfer muatan (*charge-transfer complex*).

Reaksi ini menghasilkan perubahan warna yang dramatis dari larutan asal kuning kecokelatan menjadi warna biru-keunguan pekat hingga hitam pada granula pati murni [24]. Sebaliknya, komponen non-pati seperti serat dinding sel (selulosa dan hemiselulosa), lignin, maupun debu anorganik tidak memiliki arsitektur heliks spesifik yang mampu memfasilitasi penjeratan poliodida [8]. Akibatnya, komponen pengotor tersebut tidak menyerap warna biru dan tetap berwarna transparan, cokelat muda, atau abu-abu terdispersi [9]. Perbedaan respons warna yang kontras ini secara signifikan meningkatkan sensitivitas optik pengamat untuk mengenali fragmen pengotor mikro meskipun berada di antara ribuan granula pati.

Deteksi Adulterasi dan Analisis Pengotor Pati Komersial

Hasil pengujian keaslian sampel pati komersial berdasarkan pemindaian minimal lima bidang pandang mikroskopis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis deteksi adulterasi dan keberadaan pengotor pada pati komersial

Nama Sampel	Persentase Bidang Pandang Tercampur (%)	Jenis Pengotor Teridentifikasi	Kesimpulan Autentikasi
Pati Jagung	40	Debu dan Serat Tanaman	Palsu / Teradulterasi
Pati Garut	100	Debu / Partikel Asing	Palsu / Teradulterasi
Pati Sagu	100	Serat Tanaman	Palsu / Teradulterasi
Pati Beras	0	Tidak Ditemukan	Murni
Pati Singkong	0	Tidak Ditemukan	Murni

Berdasarkan kriteria pengamatan mikroskopis, sampel pati beras dan pati singkong dikategorikan sebagai sampel Murni. Seluruh bidang pandang (0% pencampuran) pada preparat pati beras dan singkong didominasi sepenuhnya oleh granula pati murni tanpa adanya kontaminasi serat maupun debu. Tingkat kemurnian yang tinggi ini mencerminkan efisiensi proses dekantasi, penyaringan, dan sanitasi yang baik selama proses produksi industri tepung beras dan tapioka komersial tersebut [17].

Sebaliknya, sampel pati jagung, garut, dan sagu dikategorikan sebagai Palsu / Teradulterasi akibat ditemukannya partikel asing berupa debu dan serat tanaman. Pada pati jagung komersial, sebanyak 40% bidang pandang pengamatan terkontaminasi oleh campuran debu mikro dan serat jaringan tanaman. Serat tanaman teridentifikasi sebagai struktur memanjang tak beraturan yang tidak menyerap warna iodium secara spesifik [9]. Keberadaan serat tersebut mengindikasikan bahwa proses penyaringan perikarp atau dinding sel jagung pasca-penggilingan basah (*wet milling*) tidak berlangsung sempurna [17, 24].

Hasil kontaminasi paling parah ditemukan pada sampel pati garut dan pati sagu komersial, di mana 100% bidang pandang pengamatan menunjukkan keberadaan pengotor. Pada pati sagu, serat tanaman terdistribusi merata di seluruh area bidang pandang. Hal ini berkaitan erat dengan metode ekstraksi empulur batang sagu yang secara tradisional atau semimekanis sering kali menyisakan fragmen pembuluh empulur (*pith fibers*) jika tidak melewati tahap sentrifugasi atau penyaringan bertingkat yang memadai [12,13]. Pada pati garut komersial, keberadaan partikel debu pada 100% bidang pandang, disertai penyimpangan bentuk granula menjadi poligonal (Tabel 1), memberikan bukti ganda (*double evidence*) terkait rendahnya kualitas produk [4,16]. Pengotor berupa debu mikro umumnya berasal dari lingkungan pengeringan terbuka (*sun drying*) yang tidak higienis, kontaminasi selama pengemasan, atau sanitasi ruang penyimpanan komoditas yang buruk [17].

Implikasi Adulterasi Terhadap Sifat Fisikokimia, Fungsional dan Keamanan Pangan

Dampak dari ditemukannya pengotor non-pati (serat dan debu) ini tidak hanya Ditemukannya pengotor non-pati (serat tanaman dan debu) serta indikasi pemalsuan jenis pati berdampak sistemik terhadap kualitas fungsional dan keamanan pangan produk akhir [18]. Keberadaan serat non-pati dalam jumlah tinggi dapat mengganggu sifat rheologi dan reologi gelatinisasi [23]. Serat selulosa bersifat hidrofilik dan menyerap air secara kompetitif melawan granula pati [25]. Kompetisi hidrasi ini menghambat proses pembengkakan granula (*swelling power*), menurunkan puncak viskositas (*peak viscosity*), serta melemahkan kekuatan gel (*gel strength*) saat produk pati dimasak [19].

Bagi industri pengolahan pangan yang mengandalkan pati garut atau sagu sebagai agen pengental (thickener) atau pembentuk tekstur pada produk bebas gluten (gluten-free), adanya adulterasi pati murah atau serat non-target dapat menyebabkan kegagalan formulasi, seperti terjadinya pemisahan air (syneresis) dan tekstur produk yang rapuh [18,23].

Dari sudut pandang keamanan pangan dan sanitasi, keberadaan debu mikro dan partikel asing pada 100% bidang pandang sampel pati garut dan sagu mencerminkan buruknya sistem *Good Manufacturing Practices* (GMP) dan HACCP pada rantai pasok tradisional [1]. Pengeringan terbuka (sun drying) langsung di atas tanah atau di tepi jalan tanpa pelindung merupakan sumber utama masuknya debu kontaminan, pasir silika, hingga spora kapang mikotoksigenik (*Aspergillus flavus*) [17]. Hal ini menegaskan bahwa adulterasi tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi bagi konsumen (*economic fraud*), tetapi juga mengancam kesehatan akibat potensi bahaya fisik dan biologi [2].

Evaluasi Efisiensi Analisis Mikroskopik dalam Kontrol Mutu Pangan

Meskipun metode instrumentasi modern seperti FTIR, XRD, dan Real-Time PCR memiliki keunggulan kuantitatif dan analisis molekuler hingga tingkat genetik [5,16], analisis mikroskopik berbasis pewarnaan iodium tetap memiliki posisi strategis sebagai metode lini pertama (*first-line screening*) [20]. Keunggulan utama metode mikroskopik ini meliputi:

- Kecepatan dan Kemudahan: Preparasi sampel tidak memerlukan reaksi destruktif atau ekstraksi kimia yang rumit, sehingga hasil autentikasi dapat diperoleh dalam hitungan menit [9].
- Efisiensi Biaya: Tidak membutuhkan reagen mahal atau pengoperasian instrumen rumit, menjadikannya sangat aplikatif untuk laboratorium industri skala kecil hingga menengah (UMKM) serta pengawasan lapangan oleh regulator [2].
- Resolusi Spesial Fisik: Mampu mendeteksi secara langsung integritas fisik, variasi ukuran, serta pengotor padat yang sering kali tidak terdeteksi pada instrumen spektroskopi akibat efek perataan rata-rata matriks (*matrix averaging effect*) [5].

Oleh karena itu, kombinasi karakterisasi morfologi granula dan kuantifikasi bidang pandang tercampur terbukti menjadi kerangka analitis yang valid, responsif, dan ekonomis untuk menjamin autentikasi serta keamanan produk pati di pasaran [6].

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa analisis mikroskopik cahaya yang dikombinasikan dengan pewarnaan iodium 0,01 N merupakan metode kualitatif dan semi-kuantitatif yang efektif untuk autentikasi pati dan deteksi pemalsuan. Setiap jenis pati murni memiliki identitas morfologi yang spesifik: pati jagung dan beras berkarakteristik poligonal, sedangkan pati garut, sagu, dan singkong berbentuk bulat hingga oval. Evaluasi keaslian pada produk komersial mengungkapkan bahwa pati beras dan singkong komersial memiliki tingkat kemurnian sempurna (0% pengotor). Namun, sampel pati jagung, garut, dan sagu terbukti teradulterasi/palsu dengan ditemukannya pengotor berupa debu dan serat tanaman pada 40% hingga 100% bidang pandang pengamatan. Penyimpangan bentuk granula pada pati garut komersial juga mengindikasikan adanya potensi pencampuran dengan pati murah. Metode mikroskopi ini direkomendasikan sebagai teknik

skrining standar yang cepat dan ekonomis dalam sistem pengawasan mutu dan autentikasi pangan komersial di pasaran.

SARAN

Berdasarkan hasil dan keterbatasan dalam penelitian ini, saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya serta pemangku kepentingan adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan Metode Analisis Kuantitatif: Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengombinasikan pengamatan mikroskopik dengan perangkat lunak pengolah citra digital (image processing software) seperti ImageJ guna mengukur distribusi diameter granula secara pasti, serta mengintegrasikannya dengan instrumen canggih (seperti FTIR, XRD, atau DSC) untuk mengonfirmasi perubahan struktur kristalinitas dan gugus fungsi pati secara mendalam.
2. Perluasan Sampel dan Jenis Pati: Perlu dilakukan penambahan variasi jenis pati komersial lainnya (seperti pati kentang, gandum, dan ubi jalar) serta perluasan cakupan lokasi pengambilan sampel (sampling site) dari berbagai daerah dan produsen yang berbeda untuk memetakan tingkat risiko pemalsuan pangan secara lebih komprehensif.
3. Penerapan pada Industri dan Regulator: Produsen industri pangan dan badan pengawas (seperti BPOM) direkomendasikan untuk mengadopsi teknik mikroskopi berbasis pewarnaan iodium ini sebagai standar uji skrining cepat (rapid screening test) pada penerimaan bahan baku (incoming raw material) guna mencegah praktik kecurangan pangan dan menjamin autentikasi produk pati di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

1. Raharjo B, Rahayu WP, Hunaefi D. Relevansi budaya keamanan pangan dengan implementasi teknologi industri 4.0 di industri pangan Indonesia. Jurnal Teknologi dan Industri Pangan. 2023;34(2):152-65.
2. Müller-Maatsch J, van Ruth SM. Handheld devices for food authentication and their applications: A review. Foods. 2021;10(12):2901.
3. PATPI. Inovasi Teknologi Pangan Menuju Indonesia Emas. Jakarta: IPB Press; 2021.
4. Caixeta MA, Teixeira MG, Campos KA, Vilas Boas BM. Validation of a microscopic method and mathematical model for the detection of corn and wheat starch in adulterated ground black pepper. Revista Agrogeoambiental. 2026;18(1):e20262049.
5. Pratiwi EZD, Kurniawati AD. Spektroskopi Fourier Transform Infrared dengan kemometrika: Metode deteksi cepat untuk autentikasi dan keamanan pangan. Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno. 2025;10(2):8-16.
6. Dutta P, Chaurasia B. Microscopic characterization and analysis of Ayurvedic herbal products using light microscopy. International Journal of Ayurvedic Medicine. 2023;13(4):859-66.
7. Apriyanto A, Compart J, Fettke J, Singh J. A review of starch, a unique biopolymer: Structure, metabolism and in planta modifications. Food Hydrocolloids. 2022;132:107805.
8. Pesek S, Lehene M, Brânzanic AMV, Silaghi-Dumitrescu R. On the origin of the blue color in the iodine/iodide/starch supramolecular complex. Molecules. 2022;27(24):8974.
9. Parker ML, Ryden P, Wilde PJ, Edwards CH. A simple and effective method for observing starch in whole plant cells and in raw and processed food ingredients. Starch - Stärke. 2021;73(3-4):2000110.
10. Chen Z, Zhong H, Chen M, Gong F, Li J. The fine structure of starch: A review. npj Science of Food. 2025;9(1):50.
11. Kasim A, Permata DA, Mutiar S. Perubahan kimia fisika dan ukuran granula pati tape ubikayu pasca fermentasi. Jurnal Teknologi Pertanian Andalas. 2024;28(2):151-61.

12. Santoso B, Sarungallo ZL, Puspita AM. Physicochemical and functional properties of spineless, short-spines, and long-spines sago starch. Biodiversitas. 2021;22(1):137-43.
13. Zailani MA, Kamilah H, Husaini A, Sarbini SR. Physicochemical properties of microwave heated sago (Metroxylon sagu) starch. CyTA – Journal of Food. 2021;19(1):596-605.
14. Suriya M, Jantanasakulwong K, Leksawasdi N, Seesuriyachan P, Chaiyaso T, Techapun C, et al. The effect of dual-modification by heat-moisture treatment and octenylsuccinylation on physicochemical and pasting properties of arrowroot starch. Polymers. 2023;15(15):3215.
15. Torres FG, Troncoso OP, Pisani A, Gatto F, Bardi G. Physicochemical characterization and properties of cassava starch: A review. Polymers. 2025;17(12):1663.
16. Zhou D, Yao W, Guo S, Wang Y, Liu J, Song C, et al. Rapid detection of wheat components in starch products using the Proofman-LMTIA method. Quality Assurance and Safety of Crops & Foods. 2025;17(2):11-20.
17. Wijayanti NRA, Rahmadhia SN. Analisis kadar pati dan impurities tepung tapioka. Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian. 2021;16(2):45-52.
18. Suri K, Singh J. Modification of starch by novel and traditional ways: Influence on the structure and functional properties. Food & Function. 2023;14(3):1060-82.
19. Miao M, BeMiller JN. Enzymatic approaches for structuring starch to improve functionality. Annual Review of Food Science and Technology. 2023;14:271-95.
20. Šárka E, Sinica A, Smrčková P, Sluková M. Non-traditional starches, their properties, and applications. Foods. 2023;12(20):3794.
21. Thomas DJ, Atwell WA. Starches. Eagan Press Handbook Series. St. Paul: Eagan Press; 1999.
22. Bertoft E. Understanding starch structure: Recent progress. Agronomy. 2017;7(3):56.
23. Alcázar-Alay SC, Meireles MAA. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. Food Science and Technology. 2015;35(2):215-36.
24. BeMiller JN. Starch chemistry and technology. 3rd ed. San Diego: Academic Press; 2009.
25. Ellis RP, Cochrane MP, Dale MF, Duffus CM, Lynn A, Morrison IM, et al. Starch production and industrial uses. Journal of the Science of Food and Agriculture. 1998;77(3):289-311.