

Kompleks Pati Berpori Daluga (*Cyrtosperma merkusii*) dan Ekstrak Polifenolik Biji Alpukat (*Persea americana* Mill.) sebagai Agen Antihiperglikemia

Sidiq Maulana¹, Patricia Michella Rumbewas¹, Nekesha Guedine Liklikwatil¹, Intan Batari Sallata¹, Isna Yunitasari¹, Edi Suryanto^{1*}

¹Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia.

*Penulis korespondensi: edisuryanto@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Diabetes melitus merupakan penyakit kronis akibat konsumsi pangan berindeks glikemik tinggi. Upaya pencegahannya dapat dilakukan melalui modifikasi pati menjadi lebih resisten terhadap enzim pencernaan. Penelitian ini bertujuan memodifikasi pati umbi daluga (*Cyrtosperma merkusii*) menjadi pati berpori menggunakan enzim α -amilase dan mensintesis kompleksnya dengan ekstrak polifenolik biji alpukat (*Persea americana* Mill.) sebagai agen antihiperglikemia. Tahapan meliputi isolasi pati, pembuatan pati berpori, ekstraksi senyawa aktif, sintesis kompleks, serta karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, dan SEM. Hasil menunjukkan kompleks pati berpori-ekstrak pada suhu 70°C memiliki kandungan fenol tertinggi (31,33%), tanin (15,34%), dan aktivitas antioksidan (91,9%). Analisis FTIR mengindikasikan adanya interaksi polifenol dengan matriks pati melalui munculnya pita baru pada 1600–1510 cm^{-1} (C=C aromatik). XRD menunjukkan penurunan kristalinitas dari 38,77% menjadi 23,43%, sedangkan SEM memperlihatkan terbentuknya pori-pori pada granula. Kompleks ini memiliki daya cerna rendah dan menurunkan kadar glukosa lebih baik dibanding pati asli dan pati berpori tanpa ekstrak. Berdasarkan hasil tersebut, kompleks pati berpori-ekstrak polifenolik biji alpukat berpotensi dikembangkan sebagai bahan pangan fungsional lokal dengan aktivitas antihiperglikemia dan antioksidan tinggi.

Kata kunci: pati daluga, biji alpukat, polifenol, pati berpori, antihiperglikemia

ABSTRACT

Diabetes mellitus is a chronic disease caused by the consumption of foods with a high glycemic index. Prevention efforts can be made by modifying starch to be more resistant to digestive enzymes. This study aims to modify daluga tuber starch (*Cyrtosperma merkusii*) into porous starch using α -amylase enzyme and synthesize its complex with avocado seed polyphenolic extract (*Persea americana* Mill.) as an antihyperglycemic agent. The stages included starch isolation, porous starch production, active compound extraction, complex synthesis, and characterization using FTIR, XRD, and SEM. The results showed that the porous starch-extract complex at 70°C had the highest phenol content (31.33%), tannin (15.34%), and antioxidant activity (91.9%). FTIR analysis indicated the interaction of polyphenols with the starch matrix through the appearance of new bands at 1600–1510 cm^{-1} (aromatic C=C). XRD showed a decrease in crystallinity from 38.77% to 23.43%, while SEM showed the formation of pores in the granules. This complex has low digestibility and reduces glucose levels better than native starch and porous starch without extract. Based on these results, porous starch-avocado seed polyphenolic extract complex has the potential to be developed as a local functional food ingredient with high antihyperglycemic and antioxidant activities.

Keywords: daluga starch, avocado seed, polyphenol

PENDAHULUAN

Penyakit kronis merupakan salah satu penyebab utama kematian diseluruh dunia. World Health Organization (WHO) secara global menyatakan sekitar 422 juta orang menderita diabetes tipe 1 (WHO, 2022). Indonesia menempati urutan ke-6 dengan 10,3 juta penderita yang terus meningkat (IDF, 2021). Indonesia memiliki masalah terkait diabetes yang menjadi penyakit pembunuh nomor 3 dengan jumlah korban terbanyak. Per tahunnya terjadi peningkatan prevalensi diabetes, terutama pada usia produktif (35-44 tahun). Jika ditarik ulur, penyebab utama hal ini ada pada diet orang Indonesia yang

mengonsumsi makanan dengan indeks glikemik tinggi (Afandi dkk., 2019). Sebagai contoh, roti, nasi putih, kentang, dan gula yang memiliki kandungan pati tinggi sehingga dapat meningkatkan kadar glukosa darah secara cepat (Mulmuliana dan Rachmawati, 2022). Maka dari itu, diperlukan asupan serat makanan maupun mencari alternatif pangan aman dan sehat.

Banyak cara yang telah dilakukan, salah satunya dengan memodifikasi pati agar menjadi pati resisten seperti pada Saman dkk., (2023). yang memodifikasi dua pati dengan metode *microwave-cooling*. Ada juga pati modifikasi yang biasanya digunakan untuk menjerap suatu larutan tanpa suhu tinggi. Pati ini disebut dengan Pati Berpori (Lisda, 2025). Kemampuan untuk menjerap larutan, kemudian dimanfaatkan melalui inklusi dengan senyawa bioaktif seperti asam lemak dan fenol yang punya potensi untuk memperlambat pelepasan glukosa (Cetin-Babaoglu dkk., 2024).

Metode dengan jenis sampel ini, belum pernah dibahas dalam publikasi nasional, namun pembahasan pati berpori dengan senyawa aktif murni hanya sedikit dibahas dalam jurnal internasional. Maka dari itu, penulis berinovasi untuk memodifikasi umbi endemik Sulawesi Utara seperti daluga (*Cyrstosperma merkussi*) yang belum banyak dimanfaatkan (Lintang dkk., 2016) dengan Biji alpukat yang kaya akan senyawa aktif seperti flavonoid, tanin, alkaloid, dan saponin sebagai potensi pangan antidiabetes dan kaya antioksidan (Patala dkk., 2020). Dengan memanfaatkan sumber pangan lokal seperti daluga yang memiliki kadar pati yang tinggi namun pati resisten rendah (Agustina dkk., 2017), dan penerapan metode modifikasi bisa menurunkan indeks glikemik pada pangan lokal, sehingga pangan lokal bisa dimanfaatkan secara maksimal tanpa mengancam kesehatan masyarakat yang mengonsumsinya terutama mereka pada golongan rentan terhadap penyakit gula.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan tempat

Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan di Laboratorium Kimia Lanjut, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado.

Alat dan bahan

Alat yang digunakan antara lain alat-alat gelas (*Iwaki Pyrex*), ayakan 100 mesh, bak pengaduk, bejana maserasi, blender, cawan petri, *centrifuge*, erlenmeyer, *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), gelas beaker, gelas ukur, *Hotplate*, kain sifon, labu ukur, *magnetic stirrer*, oven, pengaduk, pipet volume, pisau, *rotary vacuum evaporator*, saringan, *Scanning Electron Microscope* (SEM), spektrofotometer UV-Vis, tabung reaksi, timbangan analitik, vortex, dan *X-Ray Diffraction* (XRD).

Bahan yang digunakan antara lain umbi daluga yang diambil dari Kepulauan Sangihe, Sulawesi Utara, biji alpukat yang diambil dari tempat penjualan minuman jus di Kota Manado, Sulawesi Utara, aluminium foil, aquadest, asam 3,5-dinitrosalisilat (DNS), biji alpukat, buffer fosfat, 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH), enzim α -amilase komersial, etanol 96%, FeCl_3 , Folin Ciocalteu 50%, glukosa, HCl, kalium ferrisianida, Kapas, kertas saring, label, natrium karbonat 2%, reagen arsenomolibdat, dan tissue

Preparasi

Biji alpukat dibersihkan terlebih dahulu, memotong kecil-kecil, lalu merendamnya semalaman dalam larutan asam sitrat untuk mencegah oksidasi. Biji kemudian diblender dengan air, disaring, dan ampasnya dikeringkan dalam oven 40–60°C selama 24 jam. Setelah kering, ampas digiling kembali dan diayak 100 mesh.

Isolasi pati umbi daluga

Umbi daluga diawali dengan memotong umbi berukuran 2-3 cm, mencucinya, lalu merendam semalaman dalam larutan asam sitrat untuk mencegah oksidasi. Umbi kemudian diblender dengan air hingga halus dan disaring menggunakan kain sifon. Filtrat yang diperoleh didiamkan 24 jam hingga pati mengendap. Endapan tersebut dicuci tiga kali dengan air suling, kemudian dikeringkan dalam oven 50-60°C selama 12 jam. Pati kering selanjutnya digiling dan diayak dengan ukuran 100 mesh hingga diperoleh serbuk pati halus (Melani dkk., 2017).

Pembuatan pati berpori

Proses pembuatan pati berpori dilakukan dengan mencampurkan 10 g pati daluga dan 0,5 g enzim α -amilase dalam 100 mL buffer fosfat 50 mM (pH 6,9), lalu diinkubasi pada suhu 37°C selama 12 jam dengan pengadukan 150 rpm. Setelah inkubasi, campuran disaring dan dicuci dengan aquades untuk menghilangkan sisa enzim, kemudian ditambahkan etanol 90% dan dicuci kembali dengan etanol 50% guna menghentikan aktivitas enzim. Endapan yang terbentuk dikeringkan dalam oven 40°C selama 12 jam, digiling, dan diayak hingga diperoleh serbuk pati berpori halus yang disimpan dalam plastik klip tertutup (Hu dan Du, 2019).

Ekstraksi

Ekstraksi polifenol dilakukan dengan merendam 150 g serbuk biji alpukat dalam 750 mL etanol 96% selama 3 × 24 jam dengan pengadukan berkala. Filtrat kemudian disaring dan diuapkan pada suhu 50°C menggunakan rotary vacuum evaporator hingga diperoleh ekstrak pekat (Badriyah dan Fariyah, 2022).

Sintesis pati berpori dengan ekstrak polifenolik biji alpukat

Proses dilakukan dengan mencampurkan 1 g pati berpori ke dalam 10 mL ekstrak polifenolik (10 mg/mL), lalu dipanaskan pada 50°C selama 30 menit untuk memfasilitasi interaksi keduanya. Campuran kemudian dikeringkan pada 40°C selama 12 jam, dilanjutkan dengan pemanasan pada 100°C selama 30 menit untuk meningkatkan stabilitas. Produk akhir disimpan dalam plastik klip pada suhu 5°C guna menjaga kestabilan dan aktivitas senyawa polifenolik dalam matriks pati berpori (Chumsri dkk., 2022).

Penentuan kandungan total fenolik

Sebanyak 0,1 mL sampel dimasukkan ke dalam tabung reaksi, lalu ditambahkan 0,1 mL reagen Folin Ciocalteu 50%. Setelah itu, ditambahkan 2 mL larutan Na₂CO₃ 2%, campuran diinkubasi dalam ruang gelap selama 30 menit. Selanjutnya dibaca absorbansinya pada panjang gelombang 750 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil dinyatakan sebagai ekuivalen asam galat dalam $\mu\text{g/mL}$ ekstrak (Sineke dkk., 2016).

Penentuan kandungan total tanin

Metode Basri dkk. (2023) digunakan untuk menghitung total kandungan tanin. Sebanyak 0,5 mL ekstrak dengan konsentrasi 1000 ppm dimasukkan ke dalam tabung reaksi, lalu dicampur 8 mL aquadest, kemudian ditambahkan dengan FeCl₃ 0,1 M sebanyak 0,5 mL dan kalium ferrisianida 8 mM sebanyak 0,5 mL selanjutnya diinkubasi selama 10 menit. Lalu serapannya dibaca pada λ 770 nm.

Penentuan aktivitas penangkal radikal bebas DPPH

Menurut penelitian Shah dan Modi, (2016), aktivitas antioksidan dilakukan dengan menggunakan metode 1,1-difenil-2-pikrilhidrazil (DPPH). Sebanyak 1 mL larutan DPPH 0,1 mM dalam etanol ditambahkan dengan 2 mL ekstrak, lalu diinkubasi selama 30 menit dalam gelap pada suhu kamar. Absorbansi diukur pada λ 517 nm menggunakan spektrofotometer, dengan etanol sebagai blanko. Kontrol dibuat tanpa penambahan sampel. Aktivitas antioksidan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\% \text{ Inhibisi} = \frac{\text{Abs. Kontrol} - \text{Abs. Sampel}}{\text{Abs. Kontrol}} \times 100\%$$

Karakterisasi pati berpori-ekstrak polifenolik termodifikasi

Kompleks pati-ekstrak polifenolik termodifikasi dengan hasil pengujian antioksidan terbaik dianalisis menggunakan FT-IR, XRD dan SEM.

Uji daya cerna pati berpori-ekstrak polifenolik termodifikasi

Analisis daya cerna pati secara in vitro dilakukan berdasarkan metode Hao dkk. (2024) yang telah dimodifikasi. Proses analisis dimulai dengan mengambil 200 mg sampel pati (basis kering) dalam gelas Erlenmeyer 50 mL, kemudian menambahkan 20 mL larutan buffer natrium asetat 0,1 mol/L (pH 5,2). Campuran tersebut kemudian dipanaskan pada suhu 90°C selama 30 menit. Setelah pendinginan

hingga suhu sekitar 37°C, ditambahkan 5 mL larutan enzim yang mengandung α -amilase (5 U/mg) dan glukosidase (260 U/mL), kemudian diinkubasi dalam penangas air pada suhu 37°C selama 120 menit. Selanjutnya, 1 mL larutan hasil inkubasi dipindahkan ke dalam tabung reaksi bertutup yang berisi 2 mL larutan DNS (asam 3,5-dinitrosalisilat) dan dipanaskan dalam penangas air mendidih selama 10 menit. Setelah itu, larutan didinginkan dan absorbansinya diukur pada panjang gelombang 520 nm. Persentase penurunan daya cerna pati kemudian dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Penurunan daya cerna pati (\%)} = \frac{\text{Absorbansi pati kontrol} - \text{pati termodifikasi}}{\text{Absorbansi pati kontrol}} \times 100\%$$

Uji penurunan kadar glukosa

Menurut Zulhijja dkk. (2023). Metode spektrofotometri digunakan untuk mengukur kadar glukosa. Ekstrak Modifikasi pati dibuat dalam konsentrasi 40, 50, dan 60 ppm dari larutan ekstrak 1000 ppm. Sebanyak 3 ml diambil, kemudian ditambahkan dengan 3 mL larutan baku glukosa 16 ppm. Diambil 1 ml dari larutan dan ditambahkan sebanyak 1 mL reagen asam 3,5-dinitrosalisilat (DNS), ditutup dengan kapas, dan dipanaskan diatas air mendidih selama 10 menit. Larutan didinginkan selama 5 menit, Hasilnya dibaca dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 550 nm.

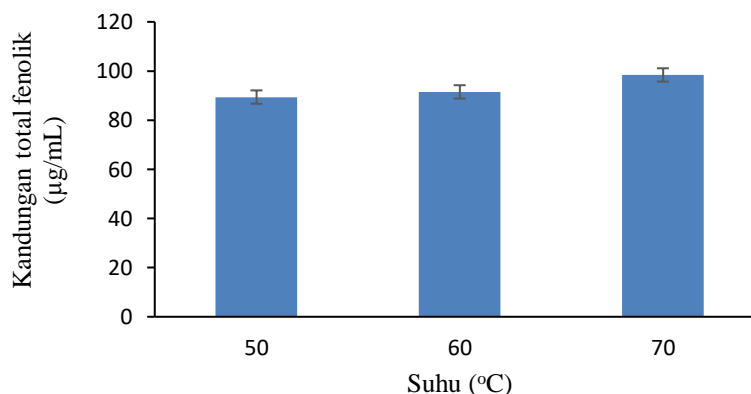
HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen ekstrak polifenolik biji alpukat

Ekstraksi dilakukan dengan dua kali pengulangan sehingga didapatkan persentase sebesar 5,18% (b/b). Pelarut yang digunakan pada penelitian ini adalah pelarut polar etanol 96% yang memiliki sifat mampu menyaring senyawa kimia (Aminah dkk., 2017) dan semua zat, baik bersifat polar, semipolar, maupun nonpolar (Sulastrri dkk., 2015).

Kandungan total fenolik pati daluga-ekstrak polifenolik biji alpukat

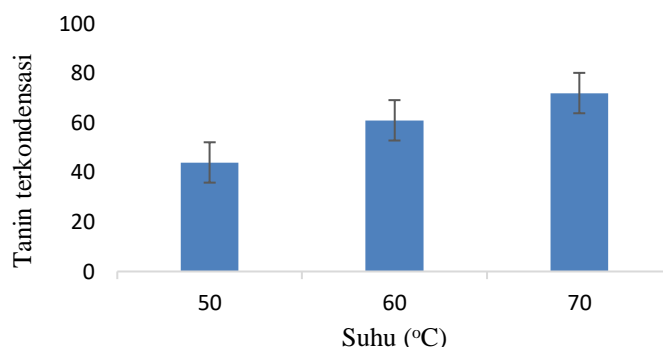
Setelah proses sintesis pada variasi suhu 50, 60, dan 70°C, diperoleh bahwa hasil paling optimal dicapai pada suhu 70°C. Pada kondisi tersebut, pati berpori ekstrak (PE) menunjukkan kandungan total fenol seperti pada Gambar 1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan suhu sintesis berbanding lurus dengan total kandungan fenolik yang dihasilkan. Kandungan fenolik tertinggi diperoleh pada suhu 70°C sebesar 98,4 $\mu\text{g/mL}$, diikuti suhu 60°C sebesar 91,5 $\mu\text{g/mL}$, dan terendah pada suhu 50°C sebesar 89,4 $\mu\text{g/mL}$, yang mengindikasikan bahwa suhu 70°C memiliki peningkatan 31,33% dibandingkan dengan pati daluga asli dan lebih efektif dalam memfasilitasi terikatnya senyawa fenolik ke dalam matriks pati berpori.



Gambar 1. Kandungan total fenolik ekstrak polifenolik biji alpukat pada perlakuan berbagai suhu

Kandungan total tanin pati daluga-ekstrak polifenolik biji alpukat

Kandungan total tanin terkondensasi pada berbagai variasi suhu dapat dilihat pada (Gambar 2). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kadar tanin berbanding lurus dengan suhu perlakuan, di mana terjadi peningkatan seiring kenaikan suhu.

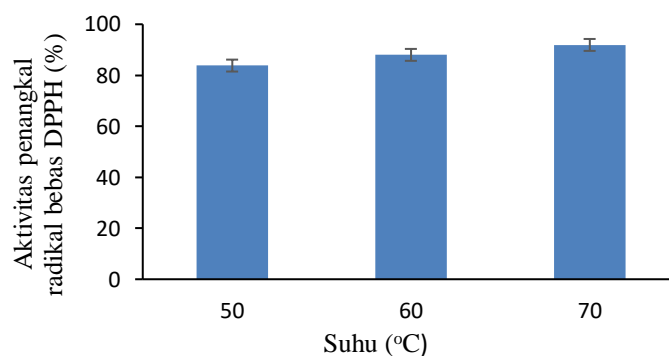


Gambar 2. Kandungan total tannin terkondensasi ekstrak polifenolik biji alpukat pada perlakuan berbagai suhu

Pada suhu 50°C, rata-rata kandungan tanin sebesar 44, meningkat menjadi 61 pada suhu 60°C, dan mencapai puncaknya pada suhu 70°C dengan nilai 72. Tingginya kadar tanin pada suhu 70°C ini merepresentasikan kondisi perlakuan terbaik, dengan peningkatan sebesar 15,34% dibandingkan dengan pati daluga asli. Hal ini membuktikan bahwa metode yang digunakan mampu menaikkan kadar antioksidan secara signifikan, bahkan hingga 15 kali lipat pada tanin terkondensasi dibandingkan kontrol.

Aktivitas penangkal radikal bebas DPPH pati daluga-ekstrak polifenolik biji alpukat

Aktivitas antioksidan pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Aktivitas penangkal radikal bebas dari ekstrak polifenolik biji alpukat yang dimuat dalam pati berpori pada berbagai variasi suhu perlakuan disajikan secara lengkap pada (Gambar 3).



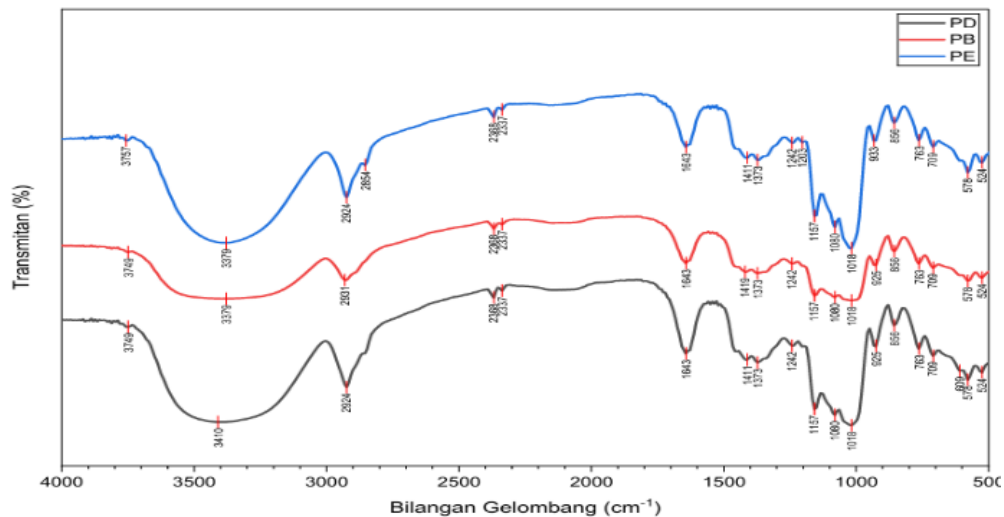
Gambar 3. Aktivitas penangkal radikal bebas DPPH ekstrak polifenolik biji alpukat pada perlakuan berbagai suhu

Berdasarkan grafik di atas, hasil pengujian menunjukkan tren yang selaras dengan data kandungan fenolik sebelumnya. Nilai persen inhibisi tertinggi diperoleh pada perlakuan suhu 70°C yaitu sebesar 91,9%, diikuti oleh suhu 60°C sebesar 88%, dan terendah pada suhu 50°C sebesar 83,8%

Data ini mengindikasikan bahwa metode sintesis yang diterapkan efektif dalam menghasilkan pati berpori fungsional dengan aktivitas antioksidan yang tinggi. Secara keseluruhan, proses pada suhu 70°C terbukti sebagai kondisi paling optimal dalam meningkatkan kandungan senyawa fenolik maupun kemampuan antioksidan, sehingga mampu meningkatkan potensi pati daluga sebagai bahan pangan fungsional yang menjanjikan.

Karakterisasi FTIR pati berpori-ekstrak polifenolik biji alpukat

Hasil uji FTIR dianalisis dengan menginterpretasikan puncak-puncak serapan dari spektrum inframerah. Hasil analisis spektra FTIR (Gambar 4) menunjukkan bahwa PD, PB, dan PE memiliki pola serapan yang serupa dengan beberapa perbedaan intensitas dan munculnya pita baru pada PE. Spektra menunjukkan bahwa pati (PD dan PB) memiliki pita serapan utama pada $3410\text{--}3379\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya gugus O-H, $2924\text{--}2854\text{ cm}^{-1}$ untuk getaran ulur C-H alifatik, serta pita kuat pada $1242\text{--}1018\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan ciri khas getaran C-O dan C-O-C dari ikatan glikosidik pada pati. Pita pada 1643 cm^{-1} berasal dari getaran tekuk H-O-H air terikat, sedangkan daerah $930\text{--}700\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan getaran cincin piranosa khas pati.



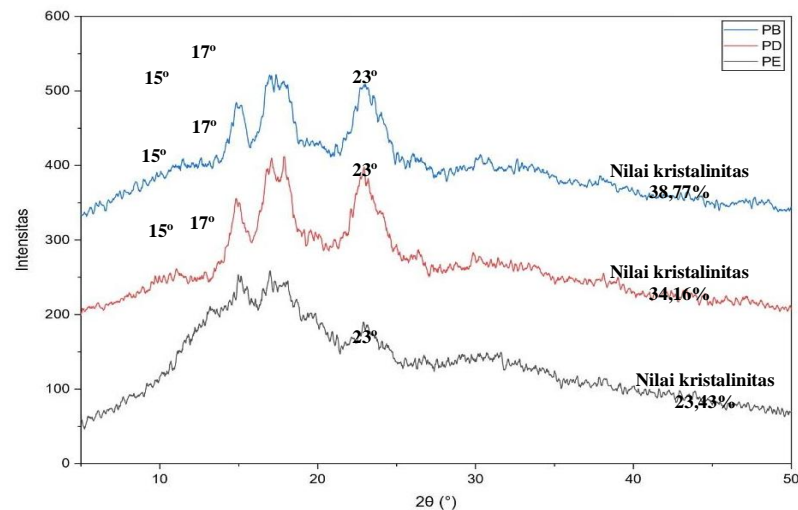
Gambar 4. Spektra FTIR pati daluga (PD), pati berpori (PB) dan pati ekstrak polifenol biji alpukat (PE)

Pada sampel pati ekstrak polifenol (PE), selain puncak khas pati, muncul peningkatan intensitas pada 1643 cm^{-1} (getaran C=O) dan $1600\text{--}1510\text{ cm}^{-1}$ (getaran C=C aromatik), serta pita O-H yang lebih lebar pada 3410 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan adanya tambahan gugus O-H fenolik, C=O, dan C=C aromatik dari senyawa polifenol yang berinteraksi dengan matriks pati.

Karakterisasi XRD pati berpori-ekstrak polifenolik biji alpukat

Analisis difraktogram XRD (Gambar 5) pada tiga sampel, yaitu pati daluga (PD), pati berpori (PB), dan pati dengan ekstrak biji alpukat (PE), menunjukkan perbedaan pola difraksi yang cukup jelas. Puncak-puncak utama pada sudut 2θ sekitar 15° , 17° , dan 23° mengindikasikan bahwa ketiga sampel memiliki pola difraksi tipe A yang khas untuk pati. Berdasarkan hasil perhitungan derajat kristalinitas, PB memiliki nilai kristalinitas tertinggi sebesar 38,77%, diikuti oleh PD sebesar 34,16%, dan PE sebesar 23,43%. Puncak difraksi pada PB terlihat paling tajam dan dengan intensitas tertinggi, menandakan tingkat kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan dua sampel lainnya. Sementara itu, pola difraksi PE menunjukkan puncak yang lemah dan melebar, menandakan struktur yang lebih amorf akibat proses ekstraksi.

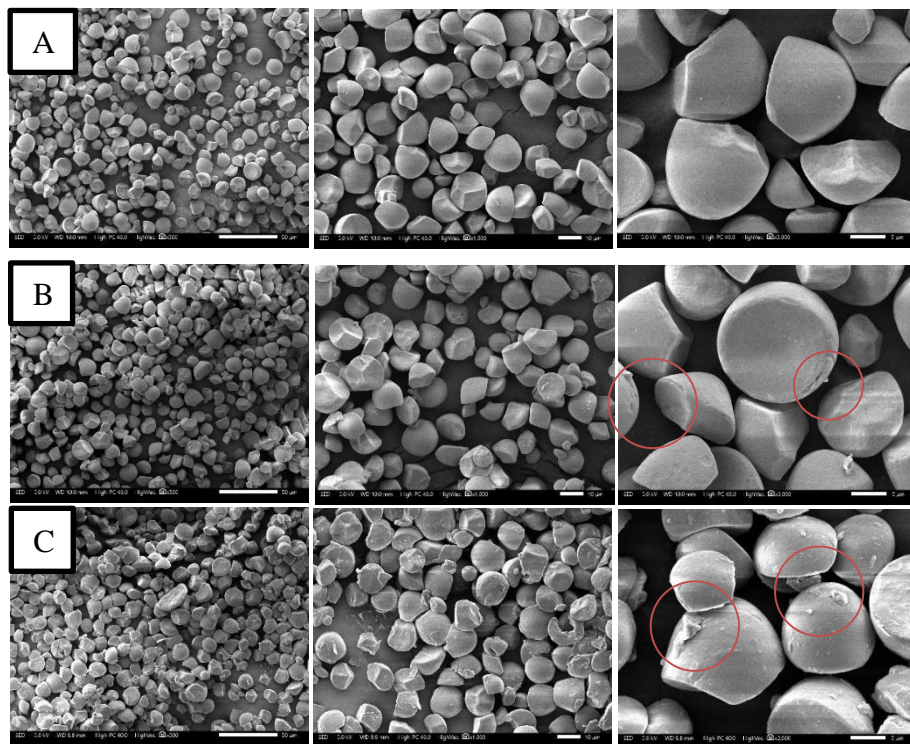
Perbedaan menunjukkan adanya perubahan struktur kristalin yang cukup jelas. Perubahan ini menandakan keberhasilan proses dalam penelitian, karena modifikasi pada tingkat kristalinitas menunjukkan bahwa struktur pati telah mengalami transformasi. Hal ini penting mengingat enzim bekerja berdasarkan prinsip “lock and key”, yang mana sedikit perubahan pada struktur kristalin dapat memengaruhi kemampuan enzim untuk mengenali dan mendegradasi substrat pati. Dengan demikian, meskipun puncak-puncak difraksi yang muncul tidak terlalu banyak atau tidak terlalu signifikan, pergeseran dan perubahan bentuk puncak tersebut sudah cukup membuktikan adanya perubahan struktur yang berdampak pada interaksi enzim terhadap pati.



Gambar 5. Difraktogram pati daluga (PD), pati berpori (PB) dan pati ekstrak polifenol biji alpukat (PE) dengan X-RD

Karakterisasi SEM pati berpori-ekstrak polifenolik biji alpukat

Hasil analisis morfologi menggunakan SEM (Gambar 6) mendukung temuan tersebut dengan memperlihatkan perbedaan bentuk dan permukaan granula pada ketiga sampel. Sampel pati berpori (B) menunjukkan granula dengan permukaan yang relatif halus dan pori-pori kecil yang terbentuk di beberapa bagian, menandakan keberhasilan proses pembuatan pati berpori yang meningkatkan luas permukaan. Granula pati daluga asli (A) memiliki bentuk yang masih utuh dan halus, mencerminkan struktur pati alami tanpa modifikasi signifikan.

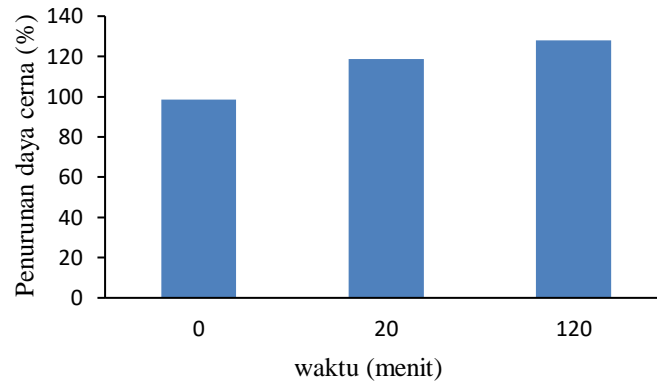


Gambar 6. Hasil Pembacaan SEM (Scanning Electron Microscope)

Sementara itu, PE memperlihatkan permukaan granula yang kasar dan sebagian terfragmentasi, yang menunjukkan bahwa proses ekstraksi dari biji alpukat menyebabkan kerusakan sebagian pada struktur permukaan pati. Berdasarkan analisis ukuran partikel diperoleh nilai rata-rata ukuran partikel sebesar 13,31 μm , yang menunjukkan bahwa granula pati masih berada dalam kisaran mikrometer seperti pati alami pada umumnya.

Daya cerna

Pati kemudian diuji menggunakan pengujian DNS untuk mengevaluasi kemampuannya dalam menghasilkan glukosa setelah perlakuan enzimatis. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah struktur pati hasil modifikasi masih dapat dihidrolisis oleh enzim menjadi glukosa atau mengalami perubahan yang menghambat proses hidrolisis tersebut. Hasil pengujian (Gambar 7) menunjukkan bahwa nilai penurunan daya cerna tertinggi tercapai pada waktu inkubasi 120 menit, yaitu sebesar 128%. Pencapaian nilai puncak pada waktu akhir ini mengindikasikan bahwa struktur pati berpori-ekstrak (PE) memiliki stabilitas yang sangat baik dalam menahan serangan enzim pencernaan, yang mengonfirmasi keberhasilannya membentuk pati resisten (*resistant starch*) yang tinggi dan potensial sebagai pangan aman diabetes.

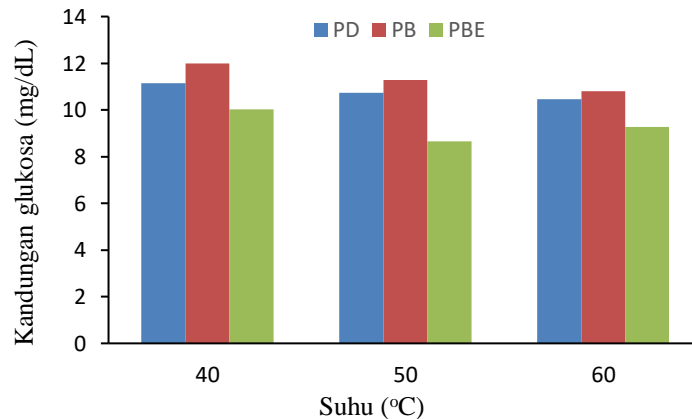


Gambar 7. Persentase penurunan daya cerna pati berpori-ekstrak polifenolik biji alpukat

Untuk menunjang pernyataan bahwa PE aman bagi penderita diabetes serta bisa menjadi agen antihiperqlikemia, maka dilakukan perbandingan efektivitas terhadap Acarbose. Data menunjukkan bahwa ekstrak biji alpukat pada konsentrasi 500 ppm dan 1000 ppm menghasilkan nilai aktivitas masing-masing sebesar 79,803% dan 94,286%. Nilai ini menunjukkan potensi yang kompetitif, bahkan melampaui Acarbose yang mencatatkan nilai 63,547% pada konsentrasi 50 ppm dan 57,635% pada konsentrasi 100 ppm. Fakta bahwa ekstrak pada konsentrasi tersebut mampu memberikan efek yang sebanding atau lebih baik dibandingkan obat komersial menegaskan bahwa PE aman dan prospektif untuk dikembangkan sebagai sumber pangan fungsional bagi penderita diabetes.

Penurunan kadar glukosa

Pengujian ini untuk melihat apakah PE bisa menjadi agen untuk mencegah adanya kenaikan gula dan membuktikan apakah PE memiliki efek antidiabetes dengan melihat kadar glukosa yang didapatkan setelah menambahkan glukosa ke dalam alikuot. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 8. Data menunjukkan bahwa PE memiliki kadar glukosa terendah, dibandingkan PD dan PB. Walau tidak terlalu signifikan perbedaan kadar yang ditunjukkan, namun PE berpotensi menjadi antidiabetes.



Gambar 8. Grafik Penurunan Kadar Glukosa. Pati Daluga (PD), Pati berpori (PB), Pati ekstrak biji alpukat (PE).

KESIMPULAN

Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa telah terbentuk struktur berpori pada pati, yang menandakan modifikasi fisik berhasil dilakukan dan mampu meningkatkan sifat fungsionalnya. Sintesis kompleks antara pati berpori dan ekstrak polifenolik biji alpukat juga terbukti berhasil. Melalui tiga metode karakterisasi instrumen, yaitu FTIR, XRD, dan SEM, terdeteksi adanya gugus fenolik seperti O-H, C=O, dan C=C aromatik pada sampel pati berpori-ekstrak, yang mengindikasikan terbentuknya kompleks aktif. Pada suhu 70°C, kompleks tersebut menunjukkan peningkatan total fenol sebesar 31,33% dan tanin sebesar 15,34%, serta memiliki aktivitas antioksidan tinggi mencapai 91,9%. Selain itu, kompleks ini mampu menghambat hidrolisis enzim α -amilase, sehingga berpotensi sebagai agen antihiperlikemia alami.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A., Wijaya, H., Fari dah, N., & Suyatma, E. 2019. Hubungan Antara Kandungan Karbohidrat & Indeks Glikemik pada Pangan Tinggi Karbohidrat. *Jurnal Pangan*. 28(2), 145-160.
- Aminah, A., Tomahayu, N., & Abidin Z. 2017. Penetapan Kadar Flavonoid Total Ekstrak Etanol Kulit Buah Alpukat (*Persea americana* Mill.) dengan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*. 4(2), 226-230.
- Badriyah, L., & Fariyah, D. 2022. Optimalisasi Ekstrak Kulit Bawangmerah (*Allium cepa* L.) Menggunakan Metode Maserasi. *Jurnal Sintesis: Penelitian Sains, Terapan dan Analisisnya*. 3(1), 30-37.
- Basri, R., Abidin, Z., Pratama, M. 2023. Penetapan Kadar Tanin Ekstrak Etanol Biji Alpukat (*Persea americana* Mill.) dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Makassar Natural Product Journal*. 1(2), 125-137.
- Cetin-Babaoglu, H., Aydin. H., Kumas, R., & Arslan-Tontul, S. 2024. Enhancing Nutritional and Functional Properties of Rice Starch by Modification with Matcha Extract. *Food Science & Nutrition*. 12(6), 4284-4291.
- Chumsri, P., Panpipat, W., Cheong, L-Z., Nisoa, M., & Chaijan, M. 2022. Comparative Evaluation of Hydrothermally Produced Rice Starch-phenolic Complexes: Contributions of Phenolic Type, Plasma-activated Water, and Ultrasonication. *Foods*. 11(23), 1-21.
- Hao, Z., Han, S., Zheng, M., Zhao, Z., Zhou, Y., Du, Y., Wu, Z., & Yu, Z. 2024. Investigation of Physicochemical Properties and Structure of Ball Milling Pretreated Modified Starch-ferulic Acid Complexes, *Food Chemistry*. 124(17), 101919.
- Hu, X., & Du, X. 2019. Adsorption of Tea Polyphenols Using Microporous Starch: A Study of Kinetics, Equilibrium and Thermodynamics. *Molecules*. 24(8), 1-13.
- IDF. 2021. IDF Diabetes Atlas (10th ed). Brussels: International Diabetes Federation.
- Lisda, S.E. 2025. Karakteristik Pati Berpori dari Biji Nangka (*Artocarpus heterophyllus*) Hasil Hidrolisis dengan α -Amilase, Glukoamilase, dan Kombinasi Keduanya. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada
- Melani, A., Herawati, N., & Kurniawan, A. 2017. Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt Intercalation. *Jurnal Distilasi*. 2(2), 53-67.
- Mulmuliana, M., & Rachmawati, R. 2022. Dampak Konsumsi Pangan Tinggi Kandungan Indeks Glikemik dengan Kejadian Diabetes Melitus Tipe-II di Kabupaten Pidie. *Jurnal SAGO Gizi dan Kesehatan*. 3(2), 163-167.
- Patala, R., Dewi, N.P., & Pasaribu, M.H. 2020. Efektivitas ekstrak etanol biji alpukat (*Persea americana* Mill.) terhadap kadar glukosa darah tikus putih jantan (*Rattus norvegicus*) model hiperkolesterolemia-diabetes. *Jurnal Farmasi Galenika (Galenika Journal of Pharmacy) (e-Journal)*. 6(1), 7-13.
- Saman, W., Isra, M., Ahmad, L., Mahmud, A., Lumalaga, N., Ismail, N., Ramdina, A., Tunai, K., Makalag, A., Dahlan, M., Isima, R., & Djibu, J. 2024. Perbandingan Modifikasi pada Pati Jagung Pulut dan Pati Sorgum dengan Metode *Microwave-cooling*. 3(1), 107-117.

- Shah, P., & Modi, H.A. 2015. Comparative Study of DPPH, ABTS, dan FRAP Assays for Determination of Antioxidant Activity. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. 3(6), 63 -641.
- Sineke, F.U. 2016. Penentuan Kandungan Fenolik dan Sun Protection Factor (spf) dari Ekstrak Etanol dari beberapa Tongkol Jagung (*Zea mays L.*). *Pharmacon*. 5(1) 275-283.
- Sulastri, E., Oktaviani, C., & Yusriadi, Y. 2015. Formulasi Mikroemulsi Ekstrak Bawang Hutan dan Uji Aktivitas Antioksidan. *Jurnal Parmascience*. 2(2), 1-14.
- WHO. 2022. Diabetes. Geneva: Worls Health Organization. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diabetes> (Accessed 29 May 2025).
- Zulhijja, F., Abidin, Z., & Wati, A. 2023. Uji Aktivitas Antidiabetes Ekstrak Etanol Biji Alpukat (*Persea Americana* Mill.) Secara In vitro dengan Menggunakan Spektrofotometri UV-Vis. *Makasar Parmaceutical Science Journal (MPSJ)*. 1(2), 57-65.
- Lintang, M., Layuk, P., dan Joseph, G. H. 2016. Karakteristik Tepung Umbi Daluga (*Cyrtosperma mercurii*), Wongkai (*Dioscorea sp.*), Kolerea (*Colocasia sp.*), dan Longki (*Xanthosoma sp.*) Asal Sulawesi Utara, Substitusi Terigu Untuk Pangan Pokok. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*. 13 (2): 84-91.
- Agustina, Faridah, D.N., dan Jenie, B.S.L. 2016. Pengaruh retrogradasi dan perlakuan kelembaban panas terhadap kadar pati resisten tipe III daluga. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 27 (1): 78-86.