

Modifikasi Pati Umbi Daluga (*Cytosperma merkusii*) dengan Ekstrak Polifenol Biji Alpukat (*Persea americana Mill.*) serta Evaluasi Penghambatan Pencernaan Pati

Patricia Michella Rumbewas¹, Edi Suryanto^{1*}, Lidya Momuat¹

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

*Penulis korespondensi: edisuryanto@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Transformasi pola hidup masyarakat modern yang cenderung mengonsumsi makanan rendah serat serta makronutrien namun tinggi kandungan gula dan lemak jenuh meningkatkan prevalensi penyakit kronis non infeksi seperti diabetes melitus, hipertensi, jantung, kanker, dsb. Sehingga, restrukturisasi diet menjadi solusi jangka panjang namun dapat terhambat akibat konsumsi makanan pokok yang berindeks glikemik tinggi seperti nasi, singkong, dan sumber karbohidrat lainnya. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi pati umbi daluga dengan ekstrak polifenol biji alpukat, mengetahui karakteristik pati termodifikasi melalui FT-IR, XRD, dan SEM serta menentukan kemampuan antioksidan dan daya cerna dari pati termodifikasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pati termodifikasi dengan ekstrak hidrotermal 3 jam (H3) memiliki hasil terbaik dengan kandungan total fenolik di angka 21.2 µg/mL dan tanin terkondensasi 102 µg/mL serta nilai-nilai DPPH dan FRAP berturut-turut adalah 64% dan 23 µmol/mL. Hasil FTIR sebelum modifikasi dan sesudah modifikasi menunjukkan spektrum gugus fungsi khas aromatik (C=C) pada H3 yang mengindikasikan adanya gugus khas fenolik setelah dimodifikasi melalui proses gelatinisasi dan retrogradasi. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa sampel mengalami penurunan nilai FWHM dan pergeseran posisi puncak di sekitar 2θ 20° sesudah modifikasi. Selanjutnya, citra SEM memperlihatkan perubahan bentuk pati dari granula bulat dan halus menjadi granula yang memiliki bentuk tak teratur dengan permukaan yang agak halus, sedangkan analisis daya cerna menghasilkan angka 90%. Dari hasil penelitian ini, pati termodifikasi berpotensi dikembangkan sebagai bahan pangan fungsional lokal yang tahan cerna.

Kata kunci: Umbi daluga, biji alpukat, daya cerna, antioksidan.

ABSTRACT

The lifestyle transformation of modern society, characterized by a tendency to consume diets low in dietary fiber and micronutrients but high in sugar and saturated fats, has increased the prevalence of non-communicable chronic diseases such as diabetes mellitus, hypertension, cardiovascular disease, and cancer. Consequently, dietary restructuring serves as a long-term solution, yet it can be hindered by the consumption of high-glycemic-index staple foods like rice, cassava, and other carbohydrate sources. This study aims to modify daluga tuber starch using avocado seed polyphenol extract, investigate the characteristics of the modified starch via FT-IR, XRD, and SEM, and determine its antioxidant capacity and digestibility. The results demonstrated that the starch modified with a 3-hour hydrothermal extract (H3) yielded the best performance, with a total phenolic content of 21.2 µg/mL, condensed tannins at 102 µg/mL, and DPPH and FRAP values of 64% and 23 µg/mL, respectively. The FTIR results before and after modification revealed a characteristic aromatic functional group spectrum (C=C) in H3, indicating the presence of specific phenolic groups following the gelatinization and retrogradation processes. XRD characterization showed that the samples experienced a decrease in the FWHM value and a peak shift around 2θ = 20° after modification. Furthermore, SEM imagery exhibited a morphological alteration in the starch from smooth, spherical granules into irregularly shaped granules with relatively smooth surfaces, while the digestibility analysis yielded a value of 90%. Based on these findings, the modified starch has the potential to be developed as a local, digestion-resistant functional food ingredient.

Keyword : Daluga tuber, avocado seed, digestibility, antioxidant.

PENDAHULUAN

Transformasi pola hidup masyarakat modern menuju kebiasaan sedenter dan konsumsi pangan rendah nutrisi telah memicu peningkatan prevalensi penyakit degeneratif dan kronis non-infeksi secara signifikan (Lestari dkk., 2025). Pola makan tinggi kalori yang kaya lemak jenuh dan gula, namun rendah

serat, menyebabkan akumulasi radikal bebas dalam tubuh yang menjauhkan masyarakat dari konsep gizi seimbang (Fatihaturahmi dkk., 2023). Kondisi ini memerlukan pengendalian serius melalui restrukturisasi diet untuk memenuhi kebutuhan fisiologis sekaligus menurunkan risiko penyakit degeneratif (Dominguez dkk., 2022).

Tantangan utama dalam restrukturisasi diet adalah ketergantungan masyarakat pada konsumsi makanan pokok seperti nasi dan jagung yang memiliki indeks glikemik tinggi (Septianingrum dkk., 2016). Berbagai upaya telah dilakukan untuk menurunkan indeks glikemik pangan, mulai dari fortifikasi nutrisi (Inayah dkk., 2021) hingga modifikasi genetik (Salama dkk., 2022). Dalam konteks ini, pengembangan pangan fungsional berbasis sumber karbohidrat lokal menjadi alternatif strategis untuk menghasilkan produk pangan yang lebih sehat dan tahan cerna.

Penelitian ini berfokus pada modifikasi pati umbi lokal daluga dengan penambahan ekstrak polifenolik biji alpukat melalui metode gelatinisasi dan retrogradasi. Gelatinisasi memungkinkan pelepasan struktur amilosa (Ma dkk., 2022), sementara retrogradasi membentuk kembali struktur teratur molekul pati selama pendinginan (Nadhira & Cahyana, 2023). Integrasi senyawa polifenolik yang kaya gugus hidroksil (Proklamasiningsih dkk., 2019) ke dalam matriks pati diharapkan mampu menghasilkan pati tahan cerna yang tidak hanya memberikan rasa kenyang, tetapi juga berfungsi sebagai sumber antioksidan eksternal bagi tubuh.

BAHAN DAN METODE

Alat dan bahan

Alat-alat yang digunakan dalam riset ini yaitu ayakan 100 mesh, bak pengaduk, blender, cawan petri, sentrifuse, Erlenmeyer, *Fourier Transform Infrared* (FTIR), gelas beaker, gelas ukur, *hotplate*, kulkas/pendingin, *magnetic stirrer*, *microwave*, oven, pipet, pisau, reaktor hidrotermal, saringan, *Scanning Electron Microscope* (SEM), spektrofotometer UV-Vis, rak tabung, tabung reaksi, timbangan analitik, vortex, dan *X-ray Diffraction* (XRD).

Bahan-bahan yang digunakan pada riset ini yaitu aluminium foil, aquadest, asam 3,5-dinitrosalisilat (DNS), asam galat, asam sitrat, asam trikloro asetat 10%, besi(III) klorida (FeCl_3), biji alpukat, buffer asetat, buffer fosfat, buffer natrium asetat, DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil), enzim α -amilase, enzim glukosidase, etanol 96%, folin ciocalteu 50%, glukosa, HCl, kalium ferrisianida, kapas, kertas saring, kuersetin, label, larutan PBS (*Phosphate-Buffered Saline*), NaCO_3 (natrium karbonat) 2%, tisu, TPTZ (2,4,6-tripiryridyl-s-triazine), dan umbi daluga yang diambil dari Kepulauan Sangeihe.

Preparasi Sampel

Biji alpukat dibersihkan terlebih dahulu menggunakan air mengalir kemudian dipotong kecil-kecil, lalu direndam 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 dan diayak dengan ayakan 100 mesh.

Isolasi pati umbi daluga

Isolasi 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 aquadest, kemudian dikeringkan dalam oven 50-60°C selama 12 jam. Pati kering selanjutnya digiling dan diayak dengan ayakan ukuran 100 mesh hingga diperoleh serbuk pati halus. Pati hasil ayakan kemudian disimpan dalam plastik klip (Melani dkk., 2017).

Ekstraksi Biji Alpukat

Ekstraksi dilakukan dengan menggunakan metode hidrotermal. Sebanyak 2 g serbuk biji alpukat dimasukkan ke dalam wadah reaktor hidrotermal kemudian ditambahkan aquadest sebanyak 60 mL. Wadah Hidrotermal dikunci erat kemudian dimasukkan dalam oven pada suhu 180 °C. Proses hidrotermal dilakukan dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Setelah itu, hasil yang diperoleh disentrifus untuk memisahkan larutan dan residu. Selanjutnya, larutan ekstrak diukur volumenya.

Modifikasi Pati Umbi Daluga dengan Ekstrak Polifenol Biji Alpukat

Sintesis umbi daluga dilakukan dengan mengintegrasikan metode gelatinisasi dan retrogradasi. Sebanyak 2 g pati daluga dilarutkan dengan larutan ekstrak hidrotermal yang telah ditambah aquades hingga 100 mL (larutan ekstrak biasanya sekitar 35-45 mL). Selanjutnya, dipanaskan sambil diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu 90 °C selama 30 menit. Sampel kemudian diletakkan dalam cawan petri dan didinginkan pada suhu 3°C – 4°C. Sampel yang menyerupai gel, kemudian dikeringkan dengan *microwave*. Sampel yang sudah kering dihaluskan dengan menggunakan blender.

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 adsorbansinya pada Panjang gelombang 750 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil dinyatakan sebagai ekuivalen asam galat dalam µg/mL ekstrak (Sineke, 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 dicampurkan 8 mL aquadest, kemudian ditambahkan dengan FeCl₃ 0,1 M sebanyak 0,5 mL dan kalium ferrisianida 8 mM sebanyak 0,5 mL. Diinkubasi selama 10 menit lalu serapanya dibaca pada λ 770 nm.

Penentuan Aktivitas Antioksidan DPPH dan FRAP

Penentuan aktivitas antioksidan dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu DPPH dan FRAP. Metode DPPH menggunakan metode dalam Shah dan Modi (2016) yang mana 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:

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

Pengujian dengan metode FRAP dilakukan mengikuti prosedur yang dikerjakan oleh Yuliawati dkk. (2022) yang telah dimodifikasi. pengujian diawali dengan membuat larutan FRAP yang mencampurkan 2,5 mL buffer asetat pH 3,6, 2,5 mL TPTZ, dan 2,5 FeCl₃ 20 mmol dalam 100 mL aquades. Selanjutnya, diambil 0,1 mL sampel cair ditambah dengan 3 mL larutan FRAP dan dibaca pada λ 598 nm.

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/mL) dan glucosidase (260 U/mL). Kemudian sampel diinkubasi dalam penangan air pada suhu 37°C selama 120 menit. Selanjutnya, 1 mL larutan hasil inkubasi dipindahkan ke dalam tabung reaksi tertutup yang berisi 2 mL larutan DNS dan dipanaskan dalam penangan air mendidih selama 10 menit. Setelah itu, larutan didinginkan dan absorbansinya diukur pada Panjang gelombang 520 nm. Presentase penurunan daya cerna pati kemudian dihitung menggunakan rumus berikut:

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

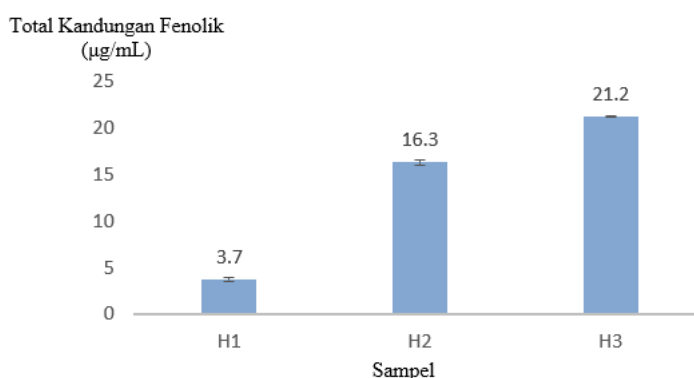
HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen Hasil Preparasi Sampel dan Isolasi Pati

Preparasi sampel biji alpukat mendapatkan rendemen sebesar 56,27% (b/b) di mana hasil sampel ini merupakan sampel yang mengandung konsentrasi polifenol yang tinggi dan telah dipisahkan dari kandungan patinya. Sedangkan untuk isolasi pati didapati jika rendemen pati yang bisa didapatkan dari satu buah umbi daluga (± 4000 g) adalah 14.12% (b/b).

Kandungan total fenolik pati daluga-ekstrak polifenolik biji alpukat

Setelah proses sintesis pada variasi lama ekstraksi hidrotermal biji alpukat yaitu 1 jam, 2 jam, dan 3 jam, ditemukan jika hasil ekstraksi terbaik adalah modifikasi dengan hasil ekstraksi 3 jam (H3). Pada kondisi tersebut, pati termodifikasi memiliki kandungan total fenolik seperti pada Gambar 1

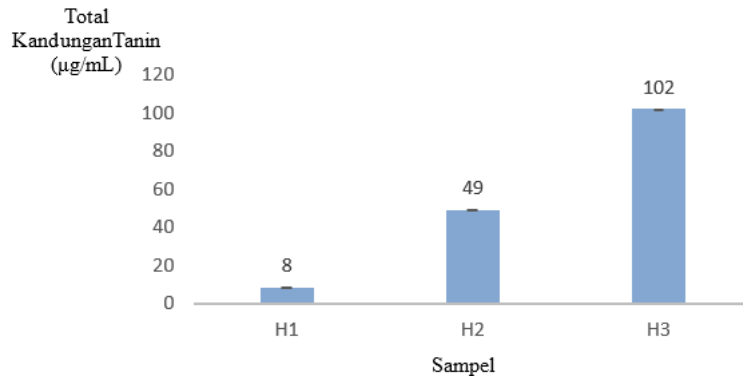


Gambar 1. Kandungan total fenolik ekstrak polifenolik pada pati termodifikasi. H1 : modifikasi dengan ekstrak hidrotermal 1 jam, H2 : modifikasi dengan ekstrak hidrotermal 2 jam, H3 : modifikasi dengan ekstrak hidrotermal 3 jam

Pada Gambar 1, kandungan total fenolik tertinggi ditemukan pada pati termodifikasi ekstrak polifenol dengan lama ekstraksi 3 jam atau H3 (21.2 µg/mL), dilanjutkan dengan pati termodifikasi H2 (16.3 µg/mL), dan terakhir pati termodifikasi H1 (3.7 µg/mL). Total fenolik yang dihitung adalah fenolik yang terikat dengan pati termodifikasi sehingga senyawa fenolik yang berikatan dengan pati diekstraksi menggunakan etanol. Semakin banyak senyawa fenolik yang berikatan dengan gugus pati maka gugus pati akan semakin kompleks sehingga menyebabkan peningkatan halangan sterik di pati termodifikasi. Dibandingkan dengan pati daluga gelatinisasi tanpa penambahan senyawa polifenol, metode ini mampu menaikkan kadar fenolik hingga 245,5%.

Kandungan tanin terkondensasi

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

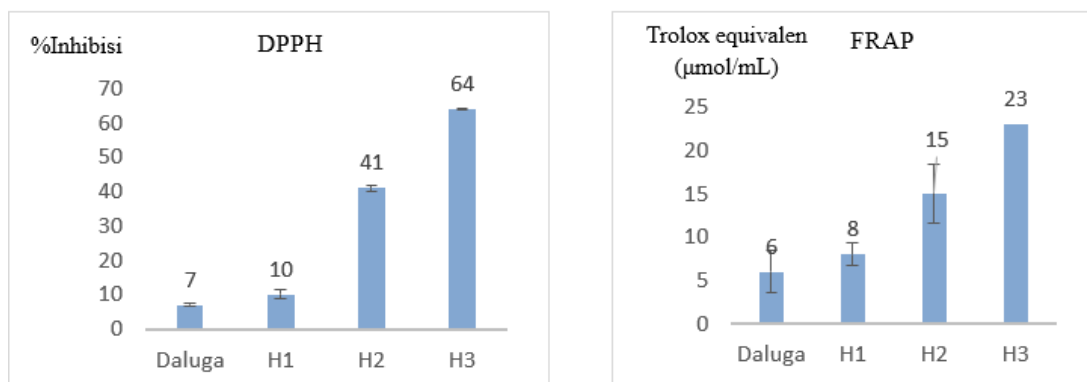


Gambar 2. Kandungan total tanin terkondensasi dari variasi pati termodifikasi ekstrak polifenol biji alpukat. H1 : modifikasi dengan ekstrak hidrotermal 1 jam, H2 : modifikasi dengan ekstrak hidrotermal 2 jam, H3 : modifikasi dengan ekstrak hidrotermal 3 jam

Hasil modifikasi dengan kandungan tanin tertinggi dimiliki oleh modifikasi pati H3 dengan nilai 102 µg/mL. Tingginya kadar tanin pada sampel ini menunjukkan bahwa ekstraksi hidrotermal mampu mengikat senyawa polifenol. Menurut Bendito-Roman dkk. (2020), ketika penurunan dielektrik air pada suhu 180°C menjadi 40-45 tanin segera terlarut dan terstabilkan dalam fase cair sebelum energi panas mendegradasi kandungan tanin. Jika pemanasan di atas 100°C terjadi, degradasi parsial yang memecah tanin menjadi senyawa fenolik lebih sederhana seperti asam galat juga bisa terbaca sebagai tanin dalam pengujian ini.

Penentuan Aktivitas Antioksidan DPPH dan FRAP

Aktivitas antioksidan pada penelitian ini dilakukan dengan metode DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) dan FRAP (*Ferric Reducing Antioxidant Power*) dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 3.

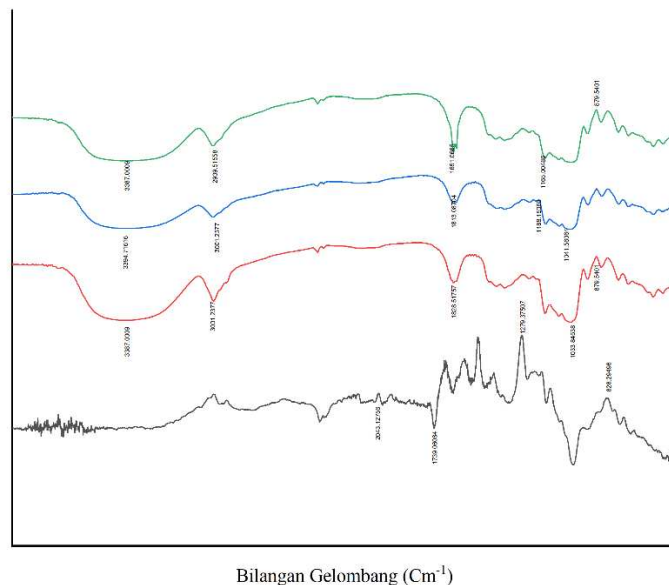


Gambar 3. Aktivitas penangkal radikal bebas DPPH dan FRAP

Berdasarkan Gambar 3, H3 memiliki aktivitas antioksidan terbaik, selaras dengan kandungan tanin dan senyawa fenolik yang terbaca pada pengujian sebelumnya dengan nilai 64% pada DPPH dan 23 µmol/mL pada FRAP. Hasil sampel kemudian diikuti dengan H2 dan H3 yang walau nilainya lebih rendah dari H3, tetap lebih tinggi dibandingkan sampel kontrol daluga.

Data ini mengindikasikan bahwa metode sintesis yang diterapkan efektif dalam menghasilkan pati fungsional dengan aktivitas antioksidan yang tinggi. Secara keseluruhan, proses modifikasi dengan ekstraksi biji alpukat selama 3 jam (H3) 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 termodifikasi ekstrak polifenolik biji alpukat



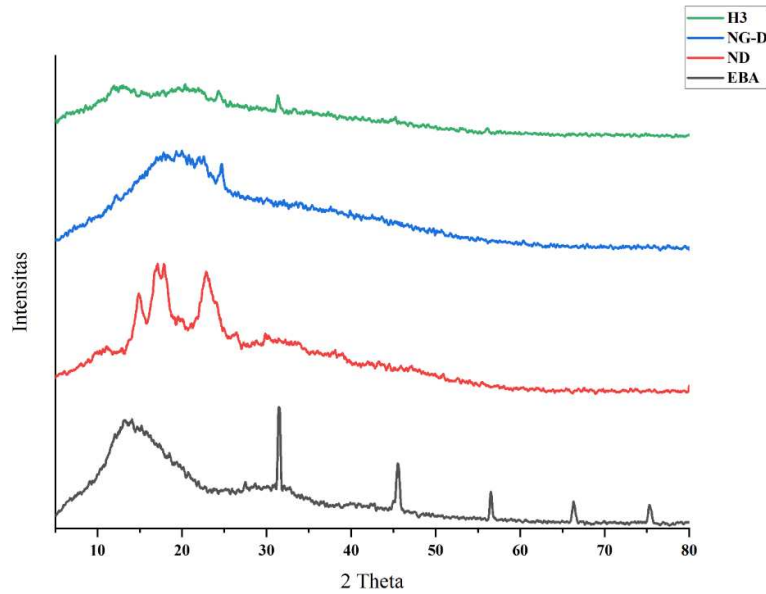
Gambar 4. Spektra FTIR dari Ekstrak Biji Alpukat (EBA), Pati Daluga (ND), Pati Gelatinisasi (NG-D), dan Pati Termodifikasi Ekstrak Biji Alpukat (H3).

Berdasarkan gambar 4, pati yang termodifikasi dengan hasil ekstraksi hidrotermal biji alpukat selama tiga jam menunjukkan bahwa senyawa fungsional berhasil ditambahkan di dalam pati. Dimulai dengan sampel ND yang merupakan pati murni tanpa modifikasi memiliki pita serapan khas karbohidrat yang sangat kuat. Terbukti dari adanya gugus hidroksil (O-H) pada area 3387 cm^{-1} , gugus alifatik (C-H) pada puncak sekitar $3001\text{-}2923\text{ cm}^{-1}$, serta wilayah $1200\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ terdapat pola serapan untuk vibrasi C-O-C dan C-O-H terutama pada peak di area 1010 cm^{-1} . Jika dibandingkan dengan NG-D yang merupakan pati setelah melewati proses gelatinisasi dan retrogradasi, mengalami perubahan yang cukup signifikan dengan menurunnya pita serapan hidroksil. Kemudian, pada bagian gugus alifatik juga mengalami penurunan ketajaman, sedangkan pada daerah “*fingerprint*” pati, puncak-puncak daerah ini menjadi lebih landai. Penurunan intensitas di daerah ini kemungkinan dipengaruhi oleh struktur kristalin pati yang teratur menjadi acak (amorf) setelah pati pecah saat gelatinisasi.

Pada sampel pati termodifikasi (H3), terlihat jika modifikasi ini menunjukkan keberhasilan inkorporasi ekstrak biji alpukat ke dalam matriks pati. Muncul puncak 1515 cm^{-1} yang merupakan vibrasi cincin aromatik yang khas pada senyawa fenolik/flavonoid dalam biji alpukat, puncak 1280 cm^{-1} untuk gugus C-O dari senyawa fenolik dan pola serapan khas karbohidrat yang tetap muncul pada bilangan gelombang $1000\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$, namun profilnya memiliki intensitas yang lebih tinggi akibat EBA.

Karakterisasi XRD pati berpori-ekstrak polifenolik biji alpukat

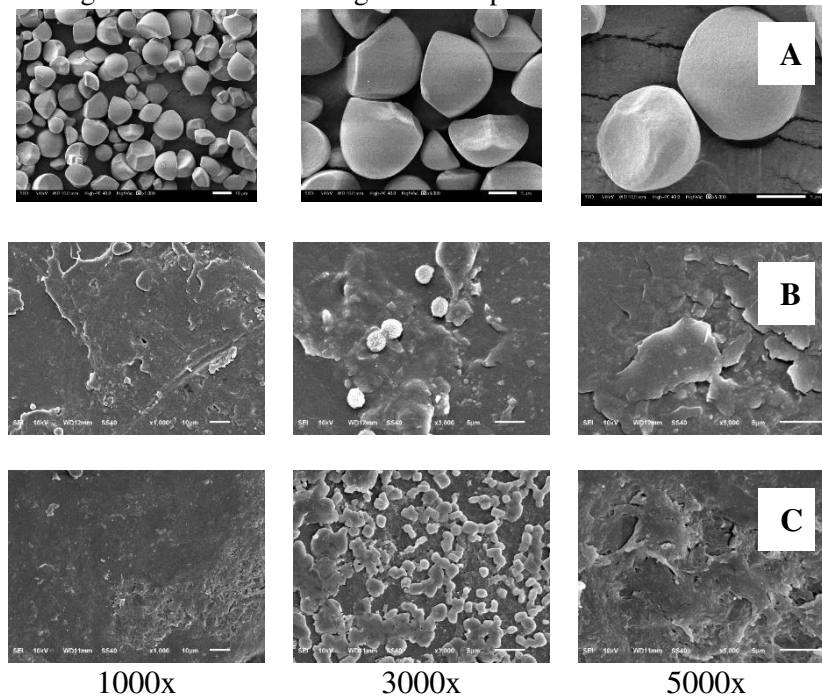
Difraktogram pati daluga dan termodifikasi ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar 5 menunjukkan perbedaan pola difraksi yang cukup jelas. Pada ND, pola difraksi sekitar 15° , 17° , 18° , dan 23° . Pola ini mengindikasikan tipe kristalin A yang umum ditemukan pada pati serelia atau umbi-umbian. Setelah mengalami gelatinisasi (NG-D), terjadi pergeseran puncak ke sudut 2θ 17.72° dan 20.12° serta kenaikan nilai FWHM dengan rata-rata nilai 4.74. Hal ini disebabkan oleh rusaknya struktur kristalin amilopektin akibat pemanasan dengan air berlebih. Pada sampel H3, muncul pelebaran puncak yang signifikan pada sudut 2θ sekitar 11.98° , 13.04° , dan 20.38° dengan nilai FWHM tertinggi diantara sampel pati (rata-rata 5.87). Munculnya puncak ini, menguatkan teori bahwa senyawa fenolik dari ekstrak biji alpukat telah berhasil berinteraksi dengan matriks pati selama proses modifikasi.



Gambar 5. Difraktogram XRD dari Ekstrak Biji Alpukat (EBA), Pati Daluga (ND), Pati Gelatinisasi (NG-D), dan Pati Termodifikasi Ekstrak Biji Alpukat (H3)

Karakterisasi SEM pati berpori-ekstrak polifenolik biji alpukat

Hasil analisis morfologi menggunakan SEM mendukung temuan tersebut dengan memperlihatkan perbedaan bentuk dan permukaan granula pada ketiga sampel. Sampel pati asli (A), memiliki bentuk granula yang masih utuh dan halus mencerminkan struktur pati alami tanpa modifikasi signifikan. Ketika digelatinisasi tanpa penambahan fenolik (B), permukaan kasar dan bergelombang menunjukkan bahwa granula telah meleleh dan menyatu satu sama lain. Pada beberapa bagian terlihat sisa granula yang pecah atau terfragmentasi, dengan tepi yang tidak tajam. Jika dibandingkan dengan modifikasi yang menggunakan penambahan polifenol (C) agregat yang terbentuk terlihat lebih homogen, permukaan granula lebih halus dengan sedikit porositas.

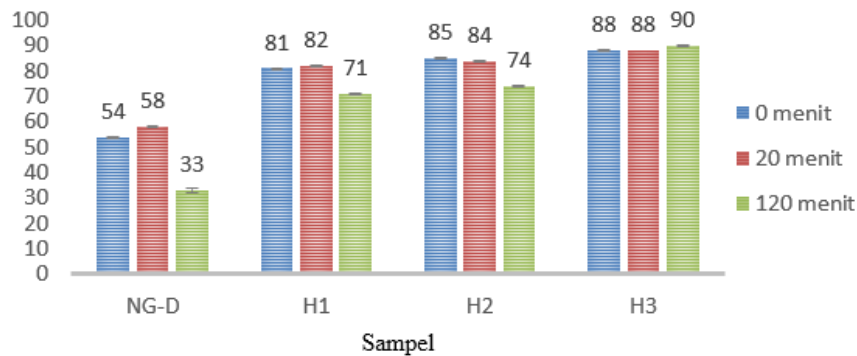


Gambar 6. Citra SEM Pati Daluga Asli (A), Pati Hasil Gelatiniasi (B), dan Pati Hasil Modifikasi dengan Ekstrak Biji Alpukat (C)

Daya cerna

Data hasil FT-IR, XRD, dan SEM menunjukkan adanya perubahan dari pati menjadi lebih kompleks. Perubahan ini yang menjadi penentu keberhasilan penelitian ini. Dengan adanya perubahan, pati menjadi sulit untuk terhidrolisis oleh enzim yang memiliki sistem *lock and key* untuk memecah pati. Pada pengujian daya cerna (Gambar 7), enzim menjadi kunci utama untuk melihat kandungan glukosa yang terhidrolisis selama 0, 20, dan 120 menit. Semakin tinggi persentase, maka pati hasil termodifikasi ini semakin memiliki indeks glikemik yang rendah.

Penurunan Daya Cerna (%)



Gambar 7. Persentase penurunan daya cerna pati termodifikasi

persentase tertinggi ada pada H3 dengan nilai 90% pada menit 120, 88% pada menit 20 dan 0. Pada menit ke-0, seluruh sampel menunjukkan persentase yang tinggi di rentang 82-88%, namun setelah 120 menit inkubasi, pola yang berbeda muncul. Sampel NG-D mengalami penurunan dari 54% menjadi 33%. Sampel H1 turun dari 82% menjadi 71%, dan H2 dari 85% menjadi 74%. Sampel yang paling mencolok adalah H3, karena menunjukkan peningkatan persentase dari 88% menjadi 90% pada menit 120. Penambahan ekstrak polifenol biji alpukat pada sampel hasil modifikasi (H1, H2, dan H3) berkontribusi pada penurunan daya cerna melalui mekanisme inhibisi enzim. Polifenol ini dapat menghambat aktivitas enzim pencernaan pati melalui dua mekanisme utama yaitu, ikatan langsung antara polifenol dengan enzim, dan pembentukan kompleks pati-polifenol yang resisten terhadap hidrolisis. Melalui pengujian ini, metode gelatinisasi dan retrogradasi berhasil untuk mengubah struktur dasar dan kemampuan pati untuk tercerna sehingga pati termodifikasi ini memiliki potensi sebagai pati resisten.

KESIMPULAN

Modifikasi pati umbi daluga melalui metode gelatinisasi dan retrogradasi terbukti efektif menginkorporasikan senyawa polifenol dari ekstrak biji alpukat ke dalam matriks pati, sebagaimana dikonfirmasi oleh perubahan signifikan pada profil gugus fungsi (FTIR), sifat kristalin (XRD), dan morfologi granula (SEM). Sampel terbaik, H3 (ekstrak hidrotermal 3 jam), menunjukkan aktivitas antioksidan yang superior berdasarkan uji DPPH dan FRAP, yang berkorelasi dengan retensi total fenolik dan tanin di dalam struktur pati. Selain meningkatkan nilai fungsional, modifikasi ini berhasil menurunkan daya cerna pati hingga mencapai persentase 90% pada menit ke-120, sehingga sampel H3 berpotensi strategis untuk dikembangkan sebagai sumber pati resisten yang bermanfaat bagi kesehatan metabolik.

DAFTAR PUSTAKA

- Basri, R., Abidin, Z., Pratama, M. 2023. Penetapan Kadar Tanin Ekstrak Etanol Biji Alpukat (*Persea americana* Mill.) dengan Menggunakan Metode Spektrofotometri UV-Vis. *Makassar Natular Product Journal*. 1(2): 125-137.
- Bendito-Roman, O., Blanco, B., Sanz, M., dan Sagrario, B. 2020. Subcritical Water Extraction of Phenolic Compounds from Onion Skin Wastes (*Allium cepa* cv.Horcal): Effect of Temperature and Solvent Properties. *Antioxidant (Basel)*. 9(12): 1233.
- Dominguez, L., Veronese, N., Baiamonte, E., Guerra, M., Parisi, A., Ruffolo, C., Tagliaferri, F., dan Barbagallo, M. 2022. Healthy Aging and Dietary Patterns. *Nutrients*. 14(4):889.
- Fatihaturahmi, Yuliana, dan Yulastri, A. 2023. Literature Riview: Penyakit Degeneratif: Penyebab, Akibat, Pencegahan, dan Penanggulangan. *Jurnal Gizi dan Kesehatan*. 3(1):63-72.
- Hao, Z., Han, S., Zheng, M., Zhao, Z., Zhou, Y., Du, Y., Wu, Z., dan Yu, Z. 2024. Investigation of Physicochemical Properties and Structure of Ball Milling Pretreated Modified Strach-ferulic Acid Complexes. *Food Chemistry*. 124(17): 101919.
- Inayah, I., Metty, M., Aprilia, Y. 2021. Indeks Glikemik dan Bebas Glikemik Nasi Jagung Instan dengan Penambahan Tepung Tempe sebagai Alternatif Makanan Pokok Pasien Diabetes Mellitus. *Ilmu gizi Indonesia*. 4(2): 97-188.
- Lestari, T., Bachtiar, A., Kurniawa, A., Feyki, D., Melina, Fitri, A., Baqiyatusshalihah, R., Rizky, M., Audriana, R., Luthfiah, A., dan Dipriana. 2025. Pengendalian Konsumsi Gula dalam Pencegahan Penyakit Diabetes Melitus Tipe II di Usia Dini. *Abdi Geomedisains*. 6(1):1-5.
- Ma, H., Liu, M., Liang, Y., Zheng, X., Sun, L., Dang, W., Li, J., Li, L., dan Liu, C. 2022. Research Progress on Properties of Pre-gelatinized Starch and Its Application in Wheat Flour Products. *Grain & Oil Science and Technology*. 5(2) : 87-97.
- Melani, A., Herawati, N., dan Kurniawan, A. 2017. Bioplastik Pati Umbi Talas Melalui Proses Melt Interacalation. *Jurnal Distilasi*. 2(2): 53-67.
- Nadhira, R., dan Cahyana, Y. 2023. Kajian Sifat Fungsional dan Amilografi Pati dengan Penambahan Senyawa Fenolik. *Jurnal Penelitian Pangan*. 3(1): 14-19.
- Proklamasiningsih, E., Budisantoso, I., Maula, I. Pertumbuhan dan Kandungan Polifenol Tanaman Katuk pada Media Tanam dengan Pemberian Asam Humat. *Al-Kauniyah: Journal of Biology*. 12(1) : 97-102.
- Salama, M., Din, O., dan Wahed, N. 2022. Impacts of Genetically Modified Food on Insulin Hormone, Glucose, and Lipid Profile of Male and Female Wister Albino Rats. *Journal of Scientific Research in Science*. 39(2) : 165-178.
- Septianingrum, E., Liyanan., dan Kusbiantoro, B. 2016. Review Indeks Glikemik Beras: Faktor-Faktor yang Mempengaruhi dan Keterkaitannya terhadap Kesehatan Tubuh. *Jurnal Kesehatan*. 9(1): 1-9.
- Shah, P., dan Modi, H. 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): 64-641.
- Sineke, F. 2016. Penentuan Kandungan Fenolik dan Sun Protection Factor (SPF) dari Ekstrak Etanol dari Beberapa Tongkol Jagung (*Zea mays* L.). *Pharmacon*. 5(1): 275-283.
- Yuliawati, K., Lukmayani, Y., dan Patricia, V. 2022. Pengujian Aktivitas Antioksidan Menggunakan Metode FRAP dan Penentuan Kadar Fenol Total pada Ekstrak Air Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*). *Journal of Pharmacopolium*. 5(2): 205-210.