

Modifikasi Pati Sagu Baruk (*Arenga microcarpha* Beccari.) dengan Ekstrak Hidrotermal Tongkol Jagung (*Zea Mays* L.) dan Aktivitas Antioksidannya

Venesa Salsa Somalinggi¹, Edi Suryanto^{1*}, Audy Denny Wuntu¹

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

*Email korespondensi: edisuryanto@unsrat.ac.id

ABSTRAK

Antioksidan berperan penting dalam mencegah penyakit degenerative dengan menghambat radikal bebas. Tongkol jagung memiliki kandungan fenolik yang berpotensi sebagai antioksidan namun pemanfaatannya masih terbatas sebagai limbah. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi modifikasi pati sagu baruk menggunakan ekstrak hidrotermal tongkol jagung dan aktivitas antioksidannya. Perubahan morfologi, struktur molekul, dan kristalinitas dianalisis menggunakan metode SEM, FTIR, dan XRD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pati native (PN) memiliki struktur semi-kristalin Tipe A dengan morfologi granula bulat halus. Setelah modifikasi (H-8), terjadi transformasi menjadi fase amorf sepenuhnya yang dikonfirmasi oleh nilai FWHM tertinggi (5,88) dan munculnya puncak vibrasi khas fenolik pada FTIR (1573 cm^{-1} dan 1435 cm^{-1}). Analisis SEM menunjukkan kerusakan granula yang masif dan pembentukan matriks amorf akibat perlakuan panas 80°C. Uji DPPH menunjukkan peningkatan aktivitas antioksidan yang signifikan pada pati termodifikasi dibandingkan kontrol. Hal ini menunjukkan bahwa inkorporasi ekstrak hidrotermal tongkol jagung berpotensi meningkatkan nilai fungsional pati sagu baruk sebagai agen antioksidan.

Kata Kunci: Sagu baruk, tongkol jagung, hidrotermal, antioksidan, SEM, FTIR, XRD.

ABSTRACT

Antioxidants play an important role in preventing degenerative diseases by inhibiting free radicals. Corncobs contain phenolics that have potential as antioxidants, but their utilization is still limited as waste. This study aims to trigger the modification of sago starch using corncob hydrothermal extract and its antioxidant activity. Changes in morphology, molecular structure, and crystallinity were analyzed using SEM, FTIR, and XRD methods. The results showed that Native Starch (PN) has a Type A semi-crystalline structure with a smooth, round granule morphology. After modification (D-8), a transformation occurs into a fully amorphous phase, confirmed by the highest FWHM value (5.88) and the appearance of typical phenolic vibration peaks in FTIR (1573 cm^{-1} and 1435 cm^{-1}). SEM analysis showed massive granule damage and the formation of an amorphous matrix due to heat treatment at 80°C. The DPPH test showed a significant increase in antioxidant activity in modified patients compared to controls. This indicates that the incorporation of corncob hydrothermal extract has the potential to increase the functional value of sago starch as an antioxidant agent.

Keywords: Sago baruk, corn cob, hydrothermal, antioxidant, SEM, FTIR, XRD.

PENDAHULUAN

Radikal bebas dan spesies oksigen reaktif atau Reactive Oxygen Species (ROS) dihasilkan secara terus-menerus sebagai konsekuensi dari proses metabolisme seluler (Sinaga, 2016). Sebagai molekul yang tidak stabil karena memiliki elektron tidak berpasangan, radikal bebas dapat memicu reaksi oksidasi berantai yang merusak integritas molekul fungsional dalam tubuh. Untuk memitigasi dampak tersebut, diperlukan peran senyawa antioksidan yang mampu mendonorkan elektron guna menstabilkan radikal bebas. Berdasarkan sumbernya, antioksidan diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu antioksidan sintesis antioksidan alami yang berasal dari sumber nabati (Rahmi, 2017).

Salah satu sumber karbohidrat lokal yang potensial untuk dikembangkan sebagai pangan fungsional adalah sagu baruk (*Arenga microcarpha* Beccari.). Tanaman endemik Sulawesi Utara ini memiliki karakteristik morfologi yang menyerupai *Metroxylon* sp., namun mampu tumbuh optimal di lahan kering (Taringan dkk., 2015). Secara fungsional, pati sagu baruk memiliki keunggulan berupa

proporsi amilosa dan pati resisten yang lebih tinggi dibandingkan beras (Puspita dkk., 2019). Karakteristik pati tersebut sangat dipengaruhi oleh rasio dua polimer utamanya, yakni amilosa dan amilopektin, yang menentukan profil pencernaan dan sifat fisikokimia pati (Anggraini dkk., 2017). Meskipun memiliki potensi besar berbagai substitusi pangan pokok, eksplorasi mengenai peningkatan nilai fungsional sagu baruk melalui modifikasi dengan senyawa bioaktif masih terbatas.

Upaya penguatan aktivitas antioksidan pada pati sagu baruk dapat dilakukan melalui inovasi penambahan ekstrak limbah pertanian, seperti tongkol jagung. Sebagai biomassa yang melimpah, tongkol jagung mengandung senyawa bioaktif golongan fenolik yang memiliki kapasitas antioksidan tinggi. Melalui teknologi ekstraksi hidrotermal, senyawa-senyawa tersebut dapat dilepaskan secara efisien dari matriks pati sagu baruk melalui proses gelatinisasi dan retrogradasi diharapkan dapat menciptakan produk pati termodifikasi yang tidak hanya kaya akan karbohidrat, tetapi juga memiliki muatan antioksidan yang kuat (Sultan, 2025).

Penelitian ini menawarkan pendekatan baru dalam modifikasi pati sagu baruk menggunakan ekstrak hidrotermal tongkol jagung. Tujuan utama dari riset ini adalah untuk menentukan kandungan total fenolik, serta mengevaluasi kapasitas antioksidannya secara menyeluruh. Pengujian aktivitas antioksidan dilakukan dengan tiga parameter berbeda: metode DPPH (2,2-defenil-1-pikrihidrazil), ABTS (2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolin)-6-asam sulfonat) untuk mengukur kemampuan penangkapan radikal, serta metode FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) untuk mengukur daya reduksi terhadap ion feri (Fe^{3+}) menjadi feri (Fe^{2+}). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan ilmiah bagi pengembangan sagu baruk sebagai bahan pangan fungsional baru dengan profil antioksidan yang unggul.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan dalam riset ini yaitu ABTS, aluminium foil, etanol 96%, DPPH, aquadest, Folin Ciocalteu 50%, $FeCl_3$, Kalium Ferisianida, FRAP, PBS, sagu baruk, tongkol jagung, Na_2CO_3 2%, asam galat, $Fe_2SO_4 \cdot H_2O$, kertas saring.

Preparasi Sampel

Tongkol jagung yang diambil dari pemukiman warga dibersihkan terlebih dahulu, kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 50-60°C hingga mencapai kondisi kering yang merata. Setelah itu, tongkol jagung kering digiling menggunakan alat penggilingan, kemudian diayak dengan ayakan 100 mesh.

Ekstraksi Tongkol Jagung

Ekstraksi dilakukan dengan menggunakan metode hidrotermal. Sebanyak 2 gram sampel tongkol jagung dimasukkan ke dalam wadah hidrotermal kemudian ditambahkan aquades sebanyak 60 mL. Wadah hidrotermal dikunci erat kemudian dimasukkan dalam oven pada suhu 180 °C dengan variasi suhu 70, 80, dan 90 °C. Setelah itu hasil yang diperoleh kemudian disaring menggunakan kertas saring, kemudian larutan ekstrak diukur volume yang didapatkan.

Modifikasi Pati Sagu Baruk dengan Ekstrak Tongkol Jagung

Modifikasi pati sagu baru dilakukan metode gelatinisasi dan retrogradasi. Sebanyak 5 gram pati sagu baruk dilarutkan dengan larutan ekstrak hingga 100 mL. Selanjutnya dipanaskan sambil diaduk dengan pengaduk magnet pada suhu 70, 80, dan 90 °C selama 30 menit. Kemudian di letakkan dalam cawan petri dan didinginkan pada suhu 3-4 °C. Sampel yang menyerupai gel kemudian dikeringkan dengan microwave selama 30 menit. 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% dan dicampur menggunakan vortex selama 3 menit. Setelah itu, 2 mL larutan Na_2CO_3 2% ditambahkan ke dalam campuran dan diinkubasi dalam kondisi gelap selama 30 menit. Setelah proses inkubasi selesai, absorbansi campuran diukur pada panjang gelombang 750 nm

menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Hasil pengukuran dinyatakan dalam bentuk ekuivalen asam galat dengan satuan $\mu\text{g/mL}$ ekstrak atau fraksi (Sineke dkk., 2016).

Penentuan Penangkal Radikal Bebas DPPH

Sebanyak 0,5 mL dari masing-masing ekstrak dan fraksi dicampurkan dengan 1,5 mL larutan DPPH, lalu diaduk menggunakan vortex selama 2 menit. Perubahan warna larutan dari ungu menjadi kuning menunjukkan efektivitas dalam menangkal radikal bebas. Selanjutnya, pada 5 menit terakhir sebelum mencapai 30 menit inkubasi, absorbansi larutan diukur pada panjang gelombang 517 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Pontoon, 2016). Aktivitas antioksidan dihitung sebagai persentase berkurangnya warna DPPH dengan menggunakan persamaan:

$$\text{APRB DPPH (\%)} = \frac{(\text{absorbansi kontrol} - \text{absorbansi sampel})}{\text{absorbansi kontrol}} \times 100\%$$

Penentuan Penangkal Radikal Bebas FRAP

Sebanyak 0,1 $\text{m}\mu\text{/mL}$ masing-masing sampel dan ditambahkan 3 $\text{m}\mu\text{/mL}$ larutan FRAP, lalu divortex. Perubahan warna biru pada larutan menunjukkan adanya aktivitas antioksidan (Jatmika *et al.*, 2015). Absorbansi dibaca pada panjang gelombang 716,20 nm menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasilnya dinyatakan dalam mmol/g .

Penentuan Penangkal Radikal Bebas ABTS

Sebanyak 0,1 mL filtrat dari masing-masing sampel dicampurkan dengan 2 mL larutan stok ABTS, kemudian divortex hingga homogen. Setelah itu, larutan diinkubasi selama 6 menit dan absorbansi larutan diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 734 nm. Hasil uji peredaman ABTS dinyatakan dalam bentuk persen (%) inhibisi terhadap radikal ABTS (Nasir dkk., 2021). Persen aktivitas antioksidan menggunakan persamaan:

$$\text{APRB ABTS (\%)} = \frac{(\text{absorbansi kontrol} - \text{absorbansi sampel})}{\text{absorbansi kontrol}} \times 100\%$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstraksi

Ekstraksi dilakukan dalam dua ulangan, menghasilkan rendemen sebesar 35.38% (b/b). Rendemen ekstrak merupakan parameter penting dalam proses ekstraksi karena menunjukkan efisiensi metode ekstraksi dalam memperoleh senyawa aktif dari bahan alam (Putri dkk., 2018). Semakin tinggi rendemen yang diperoleh, semakin banyak senyawa yang berhasil diekstraksi dari bahan dasar, yang dapat menunjukkan potensi kandungan bioaktif dalam ekstrak tersebut (Pratama dkk., 2020). Hasil rendemen hidrotermal tongkol jagung dan hasil modifikasi pati disajikan dalam Tabel 1 dan 2.

Table 1. Hasil Hidrotermal Tongkol Jagung

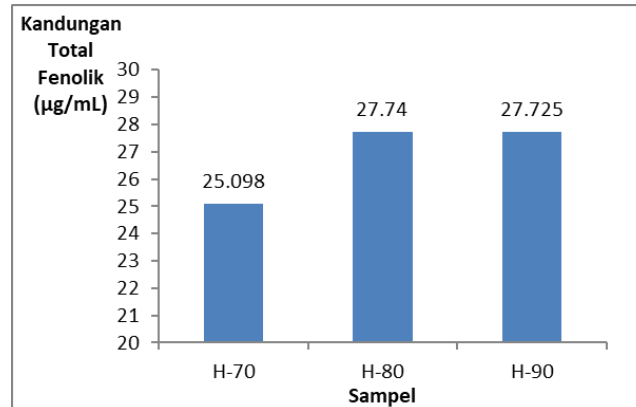
Berat serbuk	Vol. Aquadest awal	Waktu Hidrotemal	Vol. Filtrat yang dihasilkan	Rendemen (100%)
2 g	100 mL	2 Jam	45 mL	35.38

Table 2. Hasil Modifikasi Pati

Suhu	Berat Pati Sampel	Berat Pati Kering Gelatinasi	Rendemen (%)	Rata-rata Rendemen
70°C	5	3,5892	71,784	3,6978
	5	3,8064	76,128	
80°C	5	3,6042	72,084	3,76175
	5	3,9193	78,386	
90°C	5	3,786	75,72	3,81415
	5	3,8423	76,846	

Kandungan Total Fenolik

Kandungan total fenolik diukur menggunakan reaksi antara asam fosfomolibdat- fosfotungstat dan senyawa fenolik yang ada dalam modifikasi pati dengan ekstrak hidrotermal tongkol jagung, yang menghasilkan senyawa kompleks berwarna biru, yaitu molibdenum-tungstat (Makanaung dkk., 2021). Untuk kandungan total fenolik ekstrak dan fraksi daun cengkeh dapat dilihat pada Gambar 1.

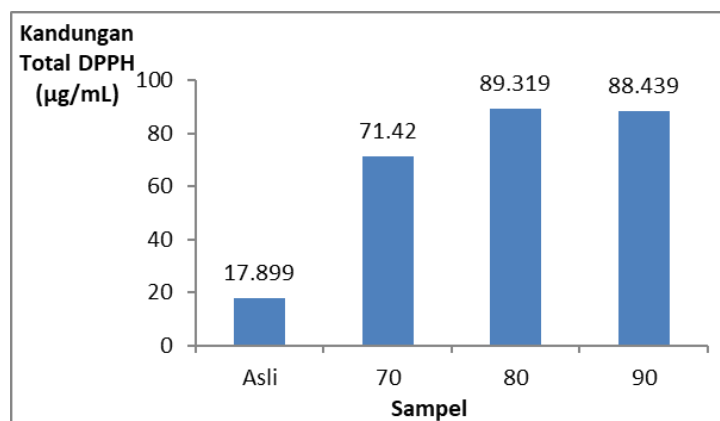


Gambar 1. Diagram Batang kandungan total fenolik modifikasi dengan konsentrasi 1000 µg/mL

Pada Gambar 1 terlihat bahwa kandungan total fenolik tertinggi terdapat pada sampel 80°C sebesar 27,740 µg/mL . Kemudian diikuti 90°C dengan kandungan total sebesar (27,725 µg/mL) dan 70°C (25,098 µg/mL). Mekanisme antioksidan senyawa fenolik adalah berdasarkan reaksi redoks, dimana senyawa fenolik akan berperan sebagai agen pereduksi sehingga akan dapat mereduksi radikal bebas (reaktif) yang terbentuk menjadi spesies yang tidak reaktif lagi. Dengan demikian radikal bebas tidak terbentuk dan kerusakan jaringan sebagai efek dari serangan radikal bebas dapat dicegah maupun diperbaiki.

Penangkal Radikal Bebas DPPH

Aktivitas antioksidan diuji dengan metode penyerapan radikal bebas 1,1-difenil-2- pikrilhidrazil (DPPH). Hasil aktivitas antioksidan modifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.

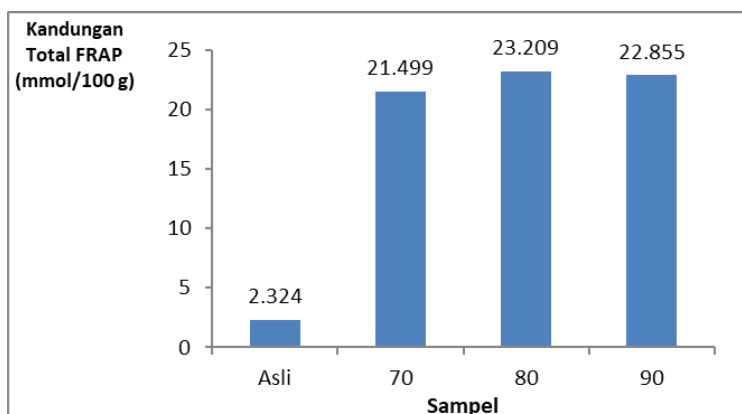


Gambar 2. Diagram batang kandungan antioksidan DPPH sebelum dan sesudah modifikasi dengan konsentrasi 1000 µg/mL

Dari hasil pengujian pada gambar diatas sampel 80°C memiliki total antioksidan tertinggi. Hal ini diduga karena sampel suhu 80°C lebih unggul karena merupakan suhu optimal (*sweet spot*). Pada suhu 70°C, pati belum tergelatinisasi sempurna sehingga senyawa bioaktif tidak terjebak maksimal. Sebaliknya, pada suhu 90°C, energi panas mulai merusak senyawa bioaktif (degradasi termal) sebelum proses inkapsulasi selesai. Jadi, 80°C memberikan keseimbangan terbaik antara pembukaan struktur pati dan pelestarian aktivitas antioksidan.

Penangkal Radikal Bebas FRAP

Metode FRAP Ferric Reducing Antioxidant Power adalah satu metode penentuan kandungan antioksidan secara spektrofotometri yang berdasarkan pada reduksi analog ferroin, kompleks Fe^{3+} dari tripiridiltraazin $\text{Fe}(\text{TPTZ})^{3+}$ menjadi kompleks Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{TPTZ})^{2+}$ yang berwarna biru intensif oleh antioksidan pada suasana asam. Hasil aktivitas antioksidan modifikasi dapat dilihat pada Gambar 3.

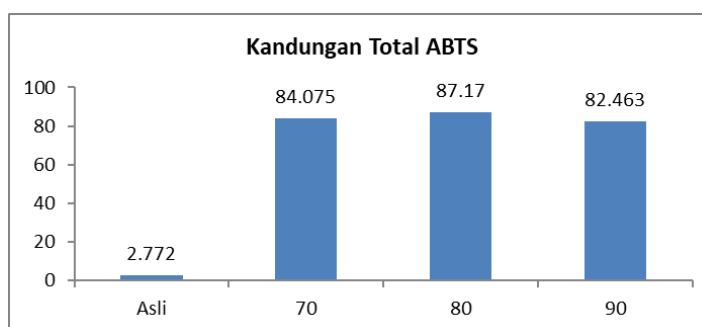


Gambar 3. Diagram batang kandungan antioksidan FRAP modifikasi dengan konsentrasi 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

Dari hasil pengujian pada gambar, menunjukkan bahwa sampel 80°C lebih unggul dibandingkan dengan sampel pada suhu lainnya. Nilai total antioksidan yang dimiliki sampel pada suhu 80°C sebesar 23,209 mmol/100 g. diketahui juga semakin besar konsentrasi maka kandungan total antioksidannya semakin bagus dalam menangkal radikal bebas. Hal ini ditunjukkan dengan kemampuan senyawa fenolik yang ada dalam sampel mampu mereduksi senyawa Fe^{3+} menjadi Fe^{2+} yang lebih stabil.

Penangkal Radikal Bebas ABTS

Metode 2,2-azinobis-3-ethyl-benzothiazoline-6-sulphonic Acid (ABTS) digunakan untuk menguji aktivitas antioksidan dengan menilai kemampuan senyawa antioksidan dalam menetralkan radikal bebas melalui mekanisme transfer proton. Proses ini ditandai dengan perubahan warna larutan dari biru kehijauan menjadi transparan (Theafelicia & Wulan, 2023). Hasil kandungan penangkal radikal bebas ABTS hasil modifikasi disajikan dalam Gambar 4.



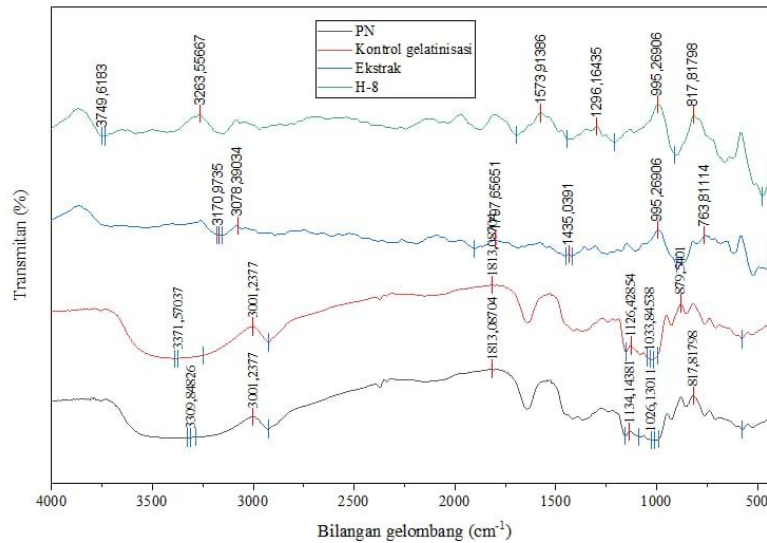
Gambar 4. Diagram batang kandungan antioksidan ABTS modifikasi dengan konsentrasi 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$.

Pati sagu baruk asli memiliki aktivitas ABTS rendah (2,772), namun meningkat drastis setelah dimodifikasi dengan ekstrak tongkol jagung. Kapasitas antioksidan tertinggi dicapai pada suhu 80°C (87,17), sementara pada 90°C terjadi penurunan (82,463) akibat degradasi termal senyawa bioaktif. Hasil ini membuktikan efektivitas modifikasi hidrotermal dalam mentransformasi sugu baruk menjadi pati fungsional kaya antioksidan.

FTIR

Analisis spektrum FTIR dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam sampel pati serta mengamati perubahan struktur kimianya akibat perlakuan yang diberikan. Secara

umum, spektrum FTIR seluruh sampel menunjukkan pita serapan khas pati yang didominasi oleh vibrasi gugus hidroksil, gugus C–H alifatik, dan ikatan C–O dari cincin glukosa (Gambar 5).

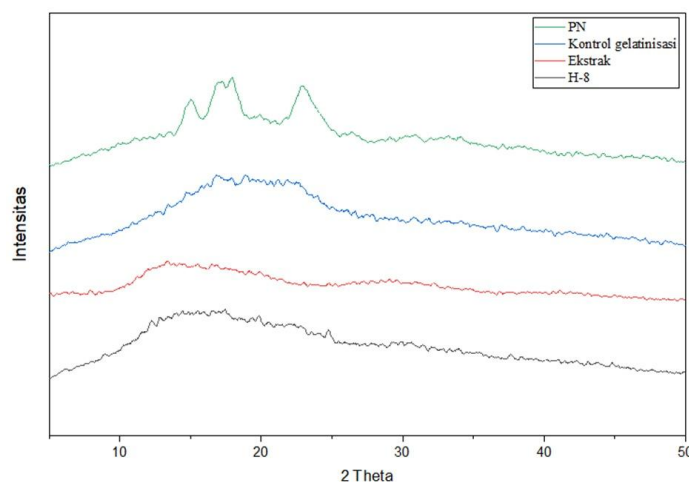


Gambar 5. Spektra dari FT-IR Ekstrak Tongkol Jagung Tongkol Pati Native (PN), Kontrol gelatinisasi, dan Pati Termodifikasi Ekstrak Hidrotermal (H-80)

Analisis spektrum FTIR mengonfirmasi interaksi molekuler yang kuat antara pati sagu baru dan ekstrak hidrotermal tongkol jagung pada sampel H-8. Pergeseran tajam gugus hidroksil (O-H) ke bilangan gelombang lebih rendah (3263 cm^{-1}) membuktikan terbentuknya ikatan hidrogen baru yang lebih stabil antara gugus -OH pati dengan polifenol ekstrak. Meskipun kerangka alifatik (C-H) pada 3001 cm^{-1} tetap terjaga, munculnya pengaruh bahu puncak dari ekstrak (3078 cm^{-1}) menunjukkan adanya keterjeratan rantai antar polimer. Reorganisasi struktur amilosa-amilopektin juga terdeteksi melalui penyatuan profil puncak ikatan glikosidik (C-O-C) pada area $1134\text{--}1150\text{ cm}^{-1}$. Selain itu, pergeseran signifikan puncak sensitif kristalinitas (C-O) dari 1026 cm^{-1} ke 995 cm^{-1} pada sampel H-8 mengonfirmasi perubahan derajat keteraturan jangka pendek (*short-range order*) pati akibat pembentukan kompleks inklusi dengan senyawa polifenol.

XRD

XRD digunakan untuk melihat fase kristalin dari sampel. Pati yang terdiri atas amilosa dan amilopektin memiliki area kristalin yang disusun oleh berbagai gugus amilopektin, serta area dengan struktur amorf yang dikomposisi oleh gugus amilosa (Gambar 6).

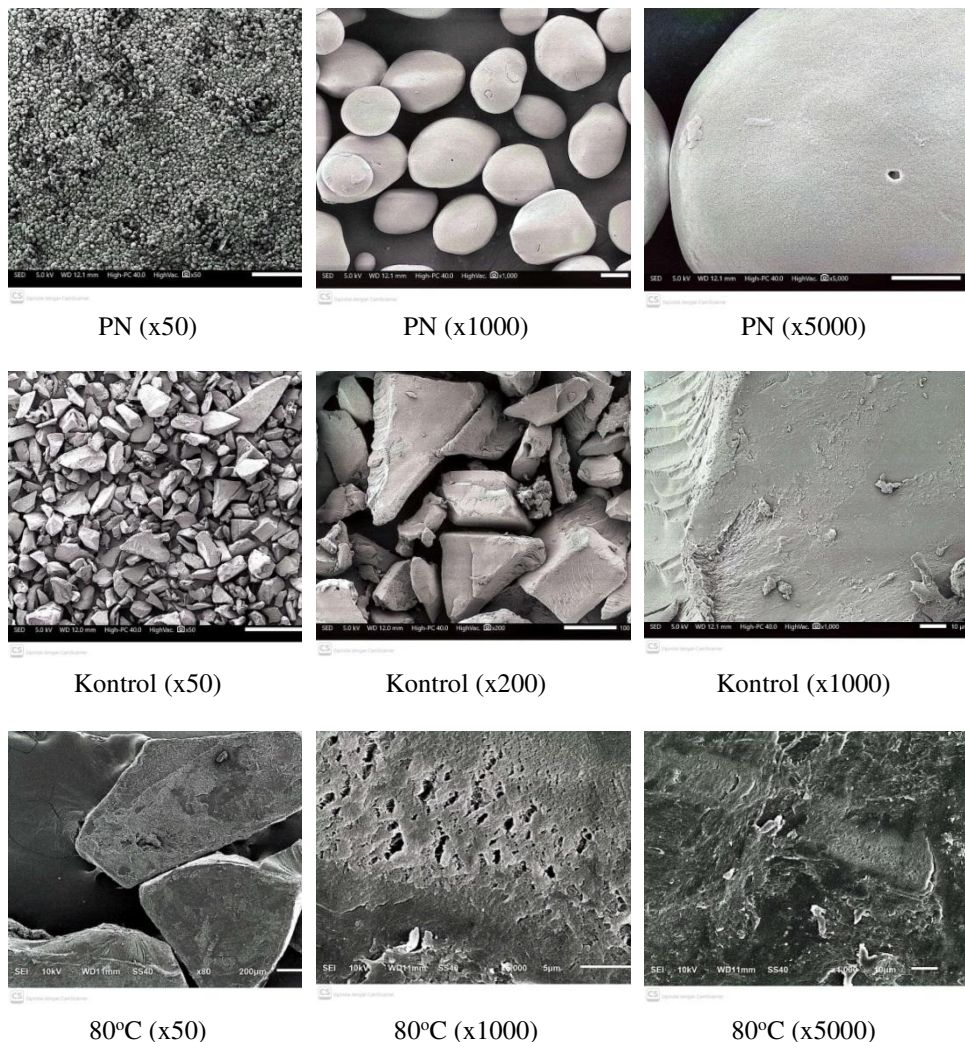


Gambar 6. Difratogram dari FT-IR Ekstrak Tongkol Jagung, Pati Native (PN), Kontrol gelatinisasi, dan Pati Termodifikasi Ekstrak Hidrotermal (H-80)

Analisis difraksi sinar-X (XRD) menunjukkan transisi struktural yang signifikan pada pati sagu baruk dari fase semi-kristalin alami menjadi matriks yang lebih amorf setelah proses modifikasi. Pati alami (PN) memperlihatkan puncak-puncak tajam khas (2 theta 15,13°; 17,24°; 18,06°; dan 22,97°) dengan nilai FWHM terendah (3,15), mencerminkan keteraturan struktural yang tinggi. Proses gelatinisasi pada sampel Kontrol menyebabkan kerusakan kristal asal dan memicu pembentukan kristal tipe-V dengan pelebaran nilai FWHM menjadi 4,08. Integrasi ekstrak pada sampel H-80 menghasilkan pelebaran puncak paling nyata dengan nilai FWHM tertinggi mencapai 5,89, yang membuktikan secara kuantitatif bahwa interaksi molekuler antara pati dan senyawa bioaktif ekstrak telah berhasil mendisrupsi kristalinitas asal pati. Dominasi fase amorf yang lebih homogen pada sampel H-80 ini tidak hanya meningkatkan fleksibilitas matriks, tetapi juga secara efektif berperan dalam menghambat proses retrogradasi pati.

SEM

Karakterisasi dilanjutkan dengan pengujian SEM, untuk melihat perubahan permukaan granula pati sebelum dan sesudah di modifikasi. Analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada berbagai perbesaran menunjukkan transformasi struktural yang sangat jelas dari kondisi *native* hingga mengalami degradasi termal pada suhu 80°C (Gambar 7).



Gambar 7. Citra SEM pati native, kontrol, dan modifikasi

Pengamatan morfologi menggunakan SEM menunjukkan transformasi struktural yang signifikan dari pati alami menjadi bentuk komposit termodifikasi. Pati *native* (PN) memiliki

karakteristik granula diskret berbentuk bulat hingga oval dengan permukaan halus dan utuh (*intact*), yang mencerminkan struktur semi-kristalin tipe A. Pada sampel kontrol, mulai terjadi aglomerasi dan pembengkakan (*swelling*) granula akibat penetrasi air ke bagian amorf pati selama proses pemanasan awal. Kerusakan struktural paling masif teramati pada sampel modifikasi (H-80°C), di mana identitas butiran individu hilang sepenuhnya dan berubah menjadi massa padat yang masif. Pada perbesaran tinggi (x1000 dan x5000), sampel H-80°C menampilkan permukaan yang sangat kasar dengan retakan dalam (*deep cracks*) serta struktur berpori, yang mengonfirmasi terjadinya disrupsi kristalinitas secara ekstrem akibat interaksi termal dan penggabungan ekstrak hidrotermal ke dalam matriks pati.

KESIMPULAN

Modifikasi pati sagu baruk (*Arenga microcarpha Beccari*) melalui metode perendaman dengan ekstrak hidrotermal tongkol jagung (*Zea mays L.*) pada suhu 80°C terbukti efektif dalam mengintroduksi komponen bioaktif ke dalam matriks pati. Proses ini berhasil mentransformasi struktur molekul dari semi-kristalin menjadi amorf yang stabil, serta meningkatkan kandungan total fenolik secara signifikan dibandingkan pati alami. Analisis FTIR memperkuat temuan ini melalui munculnya puncak vibrasi khas gugus aromatik dan pergeseran gugus hidroksil yang mengindikasikan terbentuknya ikatan hidrogen baru antara senyawa fenolik dengan rantai amilosa/amilopektin. Secara keseluruhan, integrasi senyawa fenolik ini secara nyata meningkatkan kapasitas aktivitas antioksidan pati sagu baruk, sehingga meningkatkan nilai gunanya sebagai bahan baku pangan fungsional yang unggul dalam menangkal radikal bebas.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, N., & Zakiyah. 2020. Karakteristik Fisikokimia dan Indeks Glikemik Pangan Fungsional. *Jurnal Teknologi Pangan*, **14(1)**: 22-30.
- Andini, A. S., Rahayu, S., & Dewi, R. K. 2022. Potensi Residu Daun Cengkeh Pasca-Penyulingan sebagai Sumber Antioksidan Alami. *Jurnal Sains dan Teknologi*, **11(2)**: 210-218.
- Anggraini, T., Wilma, S., Syukri, D., & Azima, F. 2017. Karakteristik amilosa dan amilopektin pati sagu baruk serta sifat fisikokimianya. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, **6(4)**.
- Arif, A. B., Budiyanto, A., & Hoerudin. 2013. Nilai Indeks Glikemik Produk Pangan dan Faktor-faktor yang Mempengaruhinya. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, **32(3)**: 91-99.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2025. *Produksi Beras Nasional untuk Konsumsi Pangan Penduduk*. Jakarta: BPS Indonesia.
- Cheetham, N. W., & Tao, L. 1998. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: An X-ray powder diffraction study. *Carbohydrate Polymers*, **36(4)**: 277-284.
- Dewi, R. K., Andini, A. S., & Susilonadi, S. 2023. Aplikasi Ekstrak Daun Cengkeh dalam Industri Pangan sebagai Pengawet Alami. *Jurnal Teknologi Pertanian*, **24(1)**: 15-25.
- Jatmika, A. R., Estungkar, M., & Santoso, S. 2015. Penentuan Aktivitas Antioksidan menggunakan Metode FRAP. *Jurnal Farmasi Indonesia*, **12(2)**: 115-120.
- Kurniawati, I., & Sutoyo. 2021. Pola Makan dan Penyakit Degeneratif: Sebuah Tinjauan Literatur. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, **9(1)**: 45-52.
- Makanaung, A., Kamu, V. S., & Mege, R. A. 2021. Penentuan Kandungan Total Fenolik pada Tanaman Lokal Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Sains*, **21(2)**: 104-110.
- Nasir, M., Ahmad, A., & Ramli, N. 2021. Pengujian Aktivitas Antioksidan dengan Metode ABTS pada Tanaman Obat. *Journal of Chemical Process*, **4(2)**: 88-95.
- Pontoan, J. 2016. Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Cengkeh dengan Metode DPPH. *Jurnal Ilmiah Farmasi*, **5(2)**.
- Pratama, A., Putri, R., & Rahmi, A. 2020. Efisiensi Ekstraksi Senyawa Bioaktif dari Limbah Pertanian. *Jurnal Rekayasa Kimia*, **14(2)**: 55-63.
- Puspita, D., Santoso, B., & Setiawan, A. B. 2019. Sifat Fungsional Pati Sagu Baruk (*Arenga microcarpha Beccari*) dan Potensinya sebagai Pangan Indeks Glikemik Rendah. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, **30(2)**: 145-153.

- Putri, R., Pratama, A., & Rahmi, A. 2018. Parameter Rendemen dalam Proses Ekstraksi Bahan Alam. *Jurnal Farmakognosi*, **5(1)**: 12-19.
- Rahayu, S., Dewi, R. K., & Andini, A. S. 2021. Kandungan Bioaktif dan Aktivitas Antioksidan Daun Cengkeh (*Syzygium aromaticum*). *Jurnal Kimia Valensi*, **7(1)**: 12-20.
- Rahmi, A. 2017. Antioksidan Alami dan Sintetik: Peran dan Mekanisme. *Jurnal Biokimia*, **3(1)**: 5-14.
- Septianingrum, E., Liyanan, & Kusbiantoro, B. 2016. Review Indeks Glikemik Beras: Faktor-Faktor yang Mempengaruhi dan Upaya Penurunannya. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, **35(3)**: 117-126.
- Sinaga, F. A. 2016. Stress Oksidatif dan Status Antioksidan pada Aktivitas Fisik Maksimal. *Jurnal Ilmiah Seluler*, **2(1)**: 33-40.
- Sineke, F., Sangande, F., & Momuat, Y. I. 2016. Penentuan Kandungan Total Fenolik dan Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Daun Mayana (*Coleus atropurpureus*). *Pharmacon*, **5(4)**.
- Sultan, S., Mege, R. A., & Kamu, V. S. 2025. Modifikasi Pati Sagu Baruk Melalui Inkorporasi Ekstrak Hidrotermal Tongkol Jagung sebagai Pangan Fungsional. *Journal of Chemical Progress (ChemProg)*, **18(1)**: 12-24.
- Susilonadi, S., Kurniawati, I., & Sutoyo. 2023. Dampak Gaya Hidup Modern terhadap Prevalensi Penyakit Degeneratif di Indonesia. *Jurnal Kedokteran Indonesia*, **15(3)**: 302-315.
- Suwarda, R., Budiyanto, A., & Hoerudin. 2019. Modifikasi Pati Sagu Metroxylon sp. Melalui Teknik Cross-linking dan Asetilasi. *Jurnal Teknik Kimia*, **13(2)**: 55-62.
- Tarigan, E. R., Kumaunang, M., & Tilaar, W. 2015. Karakteristik Morfologi dan Habitat Sagu Baruk (*Arenga microcarpha*) di Kepulauan Sitaro. *Jurnal Tanaman Industri dan Penyegar*, **2(3)**: 131-138.
- Theafelicia, J., & Wulan, S. N. 2023. Mekanisme Transfer Proton pada Uji Antioksidan ABTS. *Jurnal Kimia Pangan*, **11(2)**: 145-152.
- Van Soest, J. J., Hulleman, S. H., de Wit, D., & Vliegenthart, J. F. 1996. Crystallinity in starch bioplastics. *Industrial Crops and Products*, **5(1)**: 11-22.
- Yamamoto, Y., & Yoshida, T. 1995. Structure and Physicochemical Properties of Sago Starch. *International Journal of Food Science & Technology*, **30(4)**: 457-465.
- Zobel, H. F. 1988. Molecules to granules: A comprehensive starch review. *Starch-Stärke*, **40(2)**