



Modifikasi Pati Jagung (*Zea mays*) secara *Heat Moisture Treatment* (HMT) untuk Memperbaiki Sifat Fisik dan Mekanis *Edible Film*

[*Modification of Corn Starch (*Zea mays*) by Heat Moisture Treatment (HMT) to Improve the Physical and Mechanical Properties of Edible Film*]

Praboyo Ardin Islamawan¹⁾, Eko Hari Purnomo^{2)*}, dan Nur Wulandari²⁾

¹⁾ Program Studi Ilmu Pangan, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Bogor, Indonesia

²⁾ Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Bogor, Indonesia

Received January 17th 2024 / Revised November 11st 2024 / Accepted December 9th 2024

ABSTRACT

Plastic production is already high, and plastic pollutes the environment after use. There is a need for innovation in food packaging, such as the use of edible films as an alternative to reduce the use of plastic materials. Edible films can be prepared from starch. In Indonesia, starch-producing plants are abundant and among them such as potatoes, cassava, rice and corn have the potential to be used for edible film production. The objective of this research was to improve the physical and mechanical properties of edible films by heat moisture treatment (HMT) modification of corn starch as a raw material. This research consisted of two stages: (1) characterization and modification of corn starch with three temperature treatments (HMT 100, 110, and 120 °C) and (2) characterization of the physical and mechanical properties of edible films. The results showed that The highest amylose content for HMT 120 treatment was 29.47% with a whiteness index of 84.40. The appearance of starch granules after modification was different from the control, and the pasting properties parameters such as maximum viscosity, trough viscosity, breakdown viscosity, final viscosity, and setback viscosity of starch after modification were below those of the control. Edible films had an average thickness of 0.14 mm, while transparency was different from the control, with the lowest value on HMT 100 was 1.11. HMT 120 sample had the best characteristics with the lowest WVTR value of 23.47 g/m²/24 h, and the highest tensile strength value of 4.12 MPa, while the elongation value was similar to other samples and control. HMT 120 had a highest value on X-ray diffraction XRD with a degree of crystallization up to 41%. The modification of HMT has the potential to improve the characteristics of edible films, both in terms of properties and mechanics.

Keywords: corn starch, edible film, heat moisture treatment, physical properties

ABSTRAK

Produksi plastik sudah sangat tinggi dan plastik yang sudah selesai dipakai sangat mencemari lingkungan. Untuk itu, diperlukan inovasi dalam kemasan pangan, seperti *edible film* sebagai alternatif untuk mengurangi penggunaan bahan plastik. *Edible film* dapat dibuat dengan menggunakan pati. Di Indonesia, tanaman penghasil pati cukup melimpah dan diantaranya seperti kentang, singkong, beras, jagung sangat potensial untuk digunakan dalam produksi *edible film*. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanis *edible film* dengan modifikasi *heat moisture treatment* (HMT) pada bahan baku pati jagung. Penelitian ini terdiri dari dua tahap: (1) karakterisasi dan modifikasi pati jagung dengan 3 perlakuan suhu (HMT 100, 110, dan 120 °C); dan (2) karakterisasi sifat fisik dan mekanik *edible film*. Penelitian ini menunjukkan hasil bahwa kadar amilosa tertinggi pada HMT 120 adalah 29,47% dengan *whiteness index* 84,40. Kenampakan granula pati setelah modifikasi berbeda dengan kontrol, dan nilai pada parameter *pasting temperature* seperti viskositas maksimum, viskositas *trough*, viskositas *breakdown*, viskositas *final*, dan viskositas *setback* pati setelah modifikasi berada di bawah kontrol. *Edible film* memiliki ketebalan rata-rata 0,14 mm, sedangkan transparansi berbeda dengan kontrol dengan nilai terendah pada HMT 100 yaitu 1,11. Sampel HMT 120 memiliki karakteristik terbaik dengan nilai WVTR terendah yaitu 23,47 g/m²/24 jam, nilai kuat tarik tertinggi yaitu 4,12 MPa, sedangkan nilai perpanjangan sama dengan sampel lain dan kontrol. HMT 120 memiliki nilai tertinggi pada *X-ray diffraction* (XRD) dengan derajat kristalisasi hingga 41%. Pati Modifikasi HMT berpotensi memperbaiki karakteristik sifat dan mekanis *edible film*.

Kata kunci: *edible film*, *heat moisture treatment*, pati jagung, sifat fisik mekanis

*Penulis Korespondensi: E-mail: h.purnomo@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Plastik termasuk jenis bahan pengemas yang biasa digunakan untuk kemasan pangan. Produksi plastik dunia mencapai 390,7 juta ton (Jaganmohan, 2024). Hal ini tentu menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, karena plastik sangat sulit untuk terurai. Upaya penanggulangan masalah tersebut dilakukan antara lain melalui pengembangan *edible film* untuk mengurangi penggunaan kemasan pangan berbahan plastik. Tren penelitian *edible film* terus meningkat seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap permasalahan lingkungan akibat dari penggunaan plastik (Vanisseri et al., 2022).

Edible film merupakan lapisan tipis untuk melapisi produk pangan yang berfungsi melindungi produk dari lingkungan sekitar yang berpotensi merusak kualitasnya (Siskawardani et al., 2020). Polisakarida merupakan salah satu bahan dasar pembuatan *edible film* yang melimpah di Indonesia, yang salah satunya bersumber dari pati. Kandungan amilosa dan amilopektin pada pati sangat memengaruhi karakteristik *edible film* yang dihasilkan. Pati yang mengandung tinggi amilosa sangat baik dalam pembuatan *edible film* (Escamilla-García et al., 2017). Penelitian Waterschoot et al. (2015) mengenai kandungan amilosa dari sumber pati menunjukkan bahwa kandungan amilosa pada pati kentang (18%), pati singkong (17,9%), pati beras (13,2%), dan pati jagung sebesar (23,4%). Berdasarkan data tersebut, pati jagung memiliki potensi yang baik untuk dijadikan bahan dasar dalam pembuatan *edible film*.

Pati alami yang digunakan untuk bahan dasar pembuatan *edible film* sebagai bahan kemasan umumnya masih memiliki kelemahan, karena sifatnya yang hidrofilik dan sifat mekanisnya yang buruk atau rapuh bila dibandingkan dengan polimer sintetis (Ribba et al., 2017). Sifat hidrofilik pada pati menyebabkan tingginya nilai *water vapor transmission rate* (WVTR), sehingga tidak dapat menahan perpindahan uap air (Singh et al., 2018). Oleh sebab itu, perlu dilakukan upaya agar karakteristik *edible film* berbahan pati menjadi lebih baik, salah satunya dengan melakukan modifikasi terhadap bahan pati alami. Modifikasi pati secara fisik dengan menggunakan metode *heat moisture treatment* (HMT) telah cukup banyak diteliti dan dikembangkan seperti pada penelitian Viana et al. (2022) menggunakan pati pisang termodifikasi HMT yang memperoleh nilai WVTR menurun sebesar 19,9% dan kuat tarik meningkat sebesar 70,5%. Penelitian Indrianti et al. (2018) menggunakan pati ubi jalar juga menghasilkan nilai WVTR yang menurun sebesar 13,7% serta kuat tarik yang meningkat sebesar 27,9%.

Penelitian bertujuan untuk memodifikasi pati jagung dengan metode HMT untuk mendapatkan

karakteristik pati jagung yang sesuai untuk digunakan dalam pembuatan *edible film*, sehingga diperoleh sifat fisik dan mekanis *edible film* yang lebih baik.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pati jagung alami komersial (Egafood, Jakarta, Indonesia) yang diperoleh dari toko *online*, gliserol 98% *food grade* (CV. Netafarm, Sidoarjo, Indonesia), dan akuades. Bahan lainnya digunakan dalam tahap analisis adalah etanol p.a. 97% (Merck, Jerman), NaOH 3M (Merck, Jerman), asam asetat glasial (Merck, Jerman), KI p.a. (Merck, Jerman), iodium (Supelco, Jerman).

Rancangan penelitian

Rancangan pada tahap modifikasi pati HMT menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 3 taraf perlakuan yaitu pemanasan pati pada suhu 100, 110, dan 120 °C dengan 3 kali ulangan. Analisis data dilakukan jika ada pengaruh ($p < 0,05$) dengan selang kepercayaan 95% ($\alpha = 0,05$) maka dilakukan uji lanjut menggunakan uji Tukey.

Modifikasi pati jagung secara *heat moisture treatment*

Modifikasi *heat moisture treatment* (HMT) pati jagung merujuk pada penelitian Marta et al. (2022) dengan modifikasi variasi suhu yang digunakan pada saat pemanasan pati jagung. Sampel pati jagung sebanyak 100 g dilakukan pengondisian untuk mencapai kadar air 30%, kemudian dimasukkan ke dalam kemasan kedap udara dan dilakukan penyeragaman kadar air pada suhu 4 °C selama 24 jam. Pati diberi perlakuan panas di dalam oven (Mettler UNE 700, Jerman) pada suhu 100, 110, 120 °C selama 16 jam sehingga dihasilkan pati termodifikasi. Ketiga pati modifikasi dikemas kedap udara dan disimpan pada lemari pendingin. Pati modifikasi selanjutnya dilakukan karakterisasi untuk mengetahui kadar amilosa, bentuk ukuran dan granula pati, profil gelatinisasi, dan *whiteness index* (WI).

Analisis amilosa

Analisis amilosa pada pati jagung mengacu pada AOAC (2012) dengan melihat absorbansi sampel menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis (UVmini, Shimadzu, Jepang). Sampel ditimbang sebanyak 40 mg amilosa murni, kemudian dilarutkan dalam 1 mL etanol 95% dan 9 mL NaOH 1 N. Selanjutnya larutan tersebut dipanaskan pada rentang suhu 80–100 °C selama ± 10 menit. Larutan kemudian didinginkan dan ditera menggunakan labu ukur

100 mL dengan akuades yang akan digunakan sebagai larutan induk, kemudian dari larutan induk tersebut dipipet sebanyak 1, 2, 3, 4, dan 5 mL dan masing-masing larutan dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL. Selanjutnya masing-masing labu ukur ditambahkan larutan asam asetat 1 N sebanyak 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; dan 1 mL dan juga akuades ditambahkan pada tiap labu hingga tanda tera, kemudian di homogenkan dan didiamkan selama 20 menit. Selanjutnya dilakukan pengukuran absorbansi larutan tersebut menggunakan alat spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang sebesar 625 nm. Persamaan dari kurva standar dibuat dari hubungan grafik antara kadar amilosa sebagai sumbu x dan absorbansi sebagai sumbu y.

Analisis amilosa pada sampel dimulai dengan menimbang pati jagung sebanyak 100 mg pada gelas kimia 100 mL, selanjutnya dilarutkan dalam 1 mL etanol 95%, lalu ditambahkan NaOH 1 N sebanyak 9 mL. Gelas kimia berisi sampel dan larutan etanol dan NaOH selanjutnya dilakukan pemanasan pada suhu 85–95 °C selama 20 menit dengan bantuan penangas air hingga pati tergelatinisasi, kemudian dilakukan pendinginan. Selanjutnya larutan dilakukan pemindahan dengan penyaringan pada labu ukur 100 mL dan ditera menggunakan akuades. Larutan sebanyak 5 mL dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL yang baru, kemudian ditambahkan dengan larutan asam asetat 1 N sebanyak 1 mL serta larutan iod sebanyak 2 mL dan ditambahkan akuades hingga tanda tera. Selanjutnya larutan dihomogenisasi dan didiamkan selama 20 menit. Selanjutnya diukur absorbansi larutan tersebut dengan bantuan alat spektrofotometer UV-Vis dengan panjang gelombang sebesar 625 nm. Kadar amilosa dihitung dengan menggunakan kurva standar amilosa yang telah dibuat dan dimasukkan perhitungannya ke dalam persamaan 1.

Kadar Amilosa (%) =

$$\frac{\text{Konsentrasi pati} \times \text{Faktor pengenceran}}{\text{Berat sampel}} \times 100\% \dots (1)$$

Analisis derajat putih

Analisis derajat putih atau *whiteness index* (WI) dilakukan merujuk pada Yumeina *et al.* (2021) dengan menggunakan alat *Whiteness meter* (XT-48BN, RRC). Pengukuran didahului dengan kalibrasi alat dengan menggunakan *plate* standar warna putih. Kemudian, sampel dimasukkan ke dalam cawan *stainless steel*. Sampel diletakan ke dalam alat pengujian dan sampel mulai untuk diuji.

Analisis bentuk dan ukuran granula pati

Analisis bentuk dan ukuran granula pati dilakukan menggunakan mikroskop polarisasi (Olympus CX-31, Jepang) dengan merujuk pada Faridah dan

Thonthowi (2020). Suspensi pati disiapkan dengan cara 1 sudip sampel dilarutkan dalam ± 20 mL akuades dan kemudian dihomogenkan. Suspensi pati kemudian diambil menggunakan pipet tetes, kemudian diteteskan pada gelas objek dan ditutup menggunakan gelas penutup. Objek kemudian diuji menggunakan mikroskop polarisasi dengan cara meneruskan cahaya melalui polarisator dengan pembesaran 400 kali dan ukuran granula dibaca dalam satuan μm . Alat analisator diputar selama proses pengamatan, sehingga menghasilkan cahaya yang terpolarisasi sempurna, hal ini ditunjukkan oleh sifat *birefringence* pada granula pati.

Analisis profil gelatinisasi

Analisis profil gelatinisasi pati jagung diukur menggunakan alat *rapid visco analyzer* (RVA) (Tecmaster, Amerika) merujuk pada Wulandari *et al.* (2019). Sampel ditimbang sebanyak 3 g dan ditambahkan dengan 25 g akuades. Pengukuran RVA melalui dua tahapan proses meliputi proses pemanasan dan pendinginan dengan pengadukan yang konstan. Fase pemanasan dimulai dengan pemanasan suspensi pati pada suhu 50–95 °C, kemudian suhu maksimal tersebut dipertahankan selama 5 menit. Setelah melalui tahap pemanasan, suspensi pati masuk ke dalam tahap pendinginan. Pada tahap ini suhu suspensi pati diturunkan dari 95 menjadi 50 °C selama 4 menit, kemudian suhu di-pertahankan selama 2 menit. Hasil diperoleh merupakan data profil gelatinisasi pati yang mencakup data viskositas awal, viskositas akhir, viskositas *set-back*, viskositas *breakdown*, dan viskositas puncak.

Pembuatan edible film

Pembuatan *edible film* menggunakan 4 jenis bahan baku, yaitu pati jagung alami sebagai kontrol, pati jagung HMT 100, HMT 110, dan HMT 120 dengan menggunakan pelarut akuades. Bahan pemlastis yang digunakan yaitu gliserol 50% (b/b sampel pati) dengan merujuk pada penelitian Nouraddini *et al.* (2018) dengan modifikasi proses pengeringan menggunakan oven pengering (WTC Binder Tuttlingen, Jerman) dan tanpa pengondisian pH larutan. Proses pembuatan *edible film* dimulai dengan melarutkan pati sebanyak 8 g dalam 200 mL air setara dengan konsentrasi 4% (b/v) pada suhu ruang ± 25 °C. Kemudian dilanjutkan proses pemanasan menggunakan oven (Memert UNE 700, Jerman) hingga mencapai suhu 85 °C selama 30 menit dengan bantuan *hot plate stirrer* untuk mendapatkan larutan yang homogen. Larutan tersebut dicampurkan dengan gliserol 50% (b/b sampel pati) dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* 30 menit. Kemudian suhu diturunkan hingga 40 °C, selanjutnya 90 mL dari larutan tersebut dicetak menggunakan teflon dan dikeringkan menggunakan oven pengering selama 24 jam pada suhu 50 °C hingga

dihasilkan *edible film* pati jagung. *Edible film* pati jagung yang sudah kering dikondisikan pada desikator selama 24 jam dengan RH terkontrol.

Analisis ketebalan

Analisis ketebalan *edible film* diukur menggunakan mikrometer digital (Digital Thickness Gauge, RRC) yang memiliki tingkat ketelitian 1 μm pada dua belas titik yang ditentukan secara acak. Nilai ketebalan didapatkan dari hasil perhitungan rata-rata nilai pengukuran keduabelas titik yang berbeda (Viana *et al.*, 2022).

Analisis transparansi

Analisis transparansi *edible film* merujuk pada Siskawardani *et al.* (2020) menggunakan spektrofotometer UV-Vis (Hitachi-2900, Jepang) dengan panjang gelombang *visible* (λ) 600 nm. Sampel dipotong sesuai ukuran kuvet yang akan digunakan. Sampel dimasukkan ke dalam kuvet dan dipastikan dinding kuvet terlapisi secara merata oleh lapisan *edible film*. Transparansi *edible film* dihitung dengan persamaan 2.

$$T = \frac{A_{600}}{x} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan: T merupakan nilai dari transparansi yang didapatkan dari hasil perhitungan absorbansi pada panjang gelombang 600 nm (A_{600}) dibagi dengan ketebalan *edible film* (x).

Analisis laju transmisi uap air

Analisis laju transmisi uap air atau *water vapor transmission rate* (WVTR) menggunakan metode gravimetri dengan merujuk pada Sulistyio *et al.* (2018). Pengukuran diawali dengan memotong *edible film* yang sudah diketahui tebalnya dengan diameter 9,9488 cm, kemudian direkatkan menggunakan karet gelang di atas cawan aluminium yang berisi 10 g *silica gel* dengan berat konstan. Cawan disimpan dalam desikator yang sudah diberi larutan NaCl jenuh. Cawan ditimbang setiap jam selama 8 jam. Berat *silica gel* akan bertambah seiring dengan bertambahnya waktu dan digunakan sebagai data untuk dilakukan perhitungan analisis laju transmisi uap air *edible film*. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan 3.

$$\text{WVTR} = \frac{\Delta W}{t \times A} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: Perubahan berat *silica gel* (ΔW) dibagi waktu (t) dan dikalikan dengan luas permukaan *edible film* (A).

Analisis kuat tarik dan elongasi

Sampel *edible film* diukur dengan merujuk pada standar ASTM (2002) menggunakan *tensile strength machine* (Instron 270-004, Amerika Serikat). *Edible*

film dilakukan pemotongan yang memiliki bentuk persegi panjang dengan ukuran 2×8 cm. *Edible film* yang telah dipotong kemudian dipasang kepada penjepit pada alat. Kuat tarik dihitung menggunakan persamaan 4. Tegangan maksimum sampel (F_{max}) dibagi dengan luas penampang melintang *edible film* (A).

$$\text{Kuat Tarik (MPa)} = \frac{F_{\text{max}}}{A} \dots\dots\dots (4)$$

Nilai elongasi *edible film* pati jagung dihitung dengan menggunakan persamaan 5.

$$\text{Elongasi (\%)} = \frac{\text{Rentang saat putus (mm)}}{\text{Panjang awal (mm)}} \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

Analisis pola difraksi dan kristalinitas

Analisis pola difraksi dan kristalinitas dilakukan merujuk pada Kaur *et al.* (2024) dengan menggunakan alat *X-Ray Diffraction* (D8 Advance A25 Bruker, Jerman). Pertama *edible film* ditempatkan dalam wadah kedap udara dan disimpan pada suhu ruang selama 24 jam dengan RH 50%. Alat difraktogram sinar X ditentukan dengan daerah *scanning* dimulai dari sudut 4° hingga 50° dengan kecepatan 2°/menit, dengan menggunakan radiasi Cu, 40 kV, 30 mA.

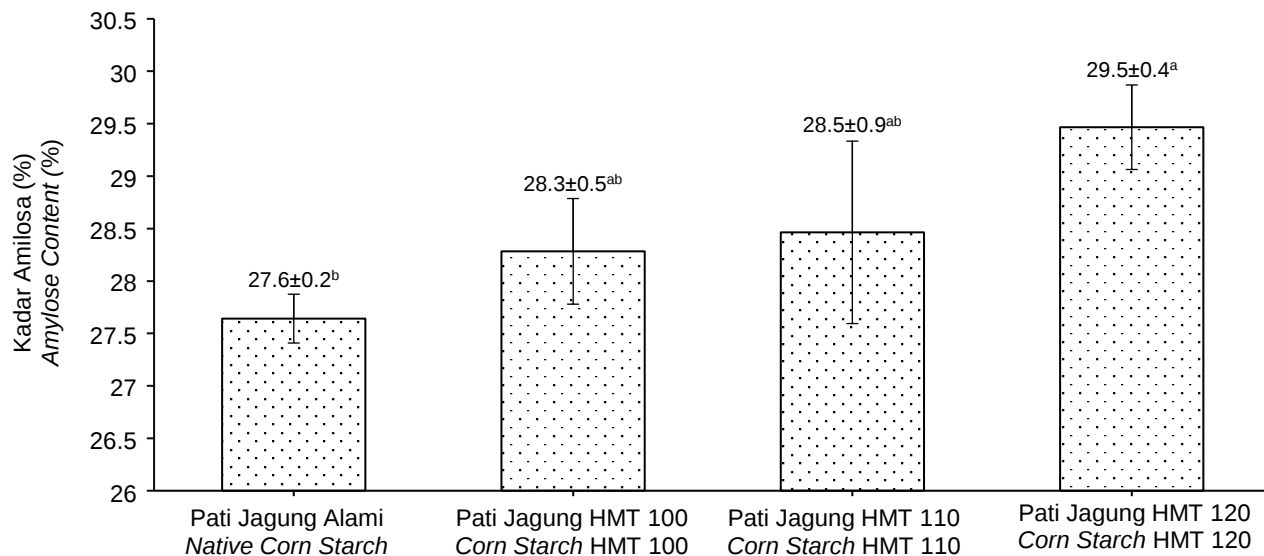
Analisis data

Analisis data menggunakan taraf kepercayaan 5% serta uji lanjut Tukey dengan bantuan *software* Minitab 18. Semua data ditampilkan dalam bentuk rata-rata±standar deviasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik pati jagung termodifikasi HMT

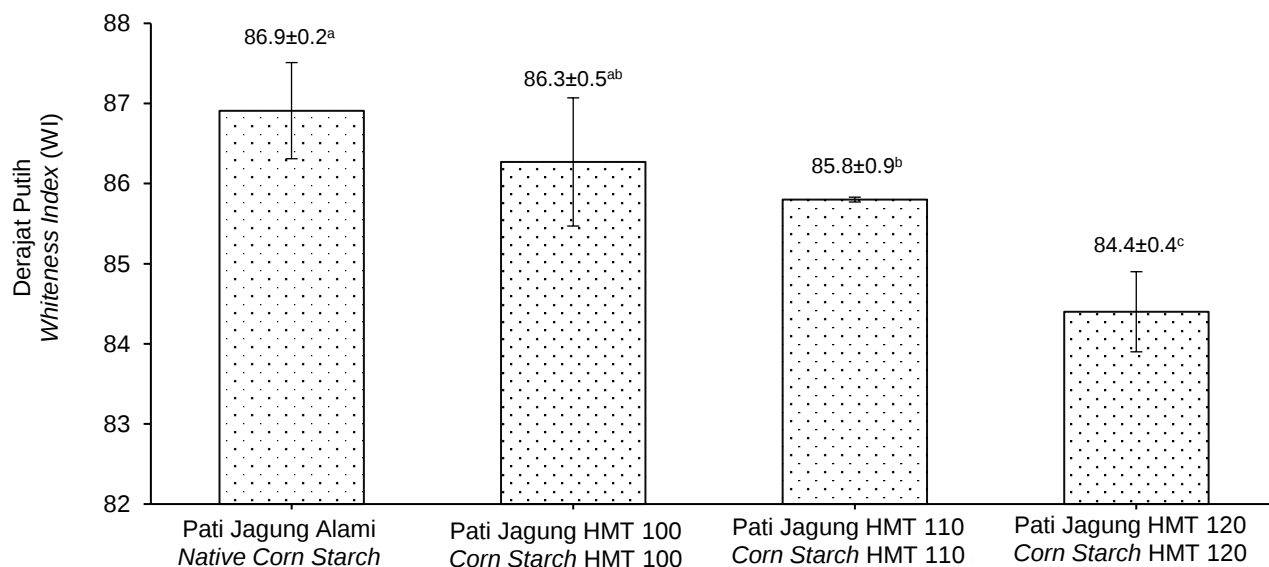
Karakteristik pati jagung termodifikasi HMT yang dianalisis meliputi kadar amilosa dan derajat putih (*whiteness index*). Hasil uji kadar amilosa dan derajat putih memiliki nilai masing-masing cenderung meningkat dan menurun seiring bertambahnya suhu perlakuan (Gambar 1 dan Gambar 2). Kadar amilosa pati jagung termodifikasi secara HMT khususnya pada perlakuan suhu 120 °C memiliki nilai yang lebih tinggi 6,21% dari kadar amilosa pada kontrol dan berbeda secara signifikan dengan pati termodifikasi HMT pada suhu 100 dan 110 °C dengan nilai 29,5±0,4%. Peningkatan kadar amilosa setelah modifikasi HMT juga terjadi pada penelitian Marta *et al.* (2022) yang menggunakan pati jagung varietas Pioneer 21 dengan kenaikan kadar amilosa 5,85% setelah dimodifikasi secara HMT menjadi 28,36±0,02%.



Keterangan: Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n= 3). Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan secara signifikan ($p<0,05$)

Note: Values are means±standard deviation of triplicate determination (n= 3). Values with different superscript letters showed significant differences ($p<0.05$)

Gambar 1. Kadar amilosa pati jagung alami dan termodifikasi HMT
Figure 1. Amylose content of natural corn starch and modified corn starch



Keterangan: Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n= 3). Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan secara signifikan ($p<0,05$)

Note: Values are means±standard deviation of triplicate determination (n= 3). Values with different superscript letters showed significant differences ($p<0.05$)

Gambar 2. Derajat putih pati jagung alami dan termodifikasi HMT
Figure 2. Whiteness index of natural corn starch and modified corn starch

Kenaikan kadar amilosa yang dialami pati jagung alami komersial selama proses modifikasi dimungkinkan karena telah terjadi proses perombakan pada rantai amilopektin yang berimplikasi pada

pembentukan rantai amilosa baru atau hasil degradasi dari rantai linear amilopektin yang dapat berinteraksi dengan senyawa iodine saat dilakukan analisis (Majzoobi *et al.*, 2015; Marta *et al.*, 2022).

Nilai derajat putih semakin menurun dengan semakin tingginya suhu HMT terlihat pada pati jagung HMT 120. Terjadi perbedaan nilai derajat putih (*whiteness index*) yang signifikan ($p < 0,05$) antara kontrol dengan perlakuan HMT 110 dan 120, namun tidak berbeda secara signifikan ($p > 0,05$) dengan HMT 100. Hal ini diduga karena suhu modifikasi HMT 100 memiliki reaksi Maillard yang lambat, sehingga hanya sedikit perubahan nilai derajat putihnya (*whiteness index*) dibandingkan dengan kontrol. Reaksi Maillard dapat terjadi karena adanya kandungan gula pereduksi dan asam amino pada protein di dalam pati pada saat modifikasi HMT berlangsung (Kumar *et al.*, 2023; Sindhu *et al.*, 2021). Hal serupa juga ditemui pada penelitian Ariyantoro *et al.* (2020) yang memodifikasi tepung sorgum pada suhu 80, 90, 100, dan 110 °C memiliki nilai *whiteness* yang cenderung menurun karena adanya interaksi antara protein dan gula pereduksi dengan adanya bantuan proses panas oleh perlakuan HMT.

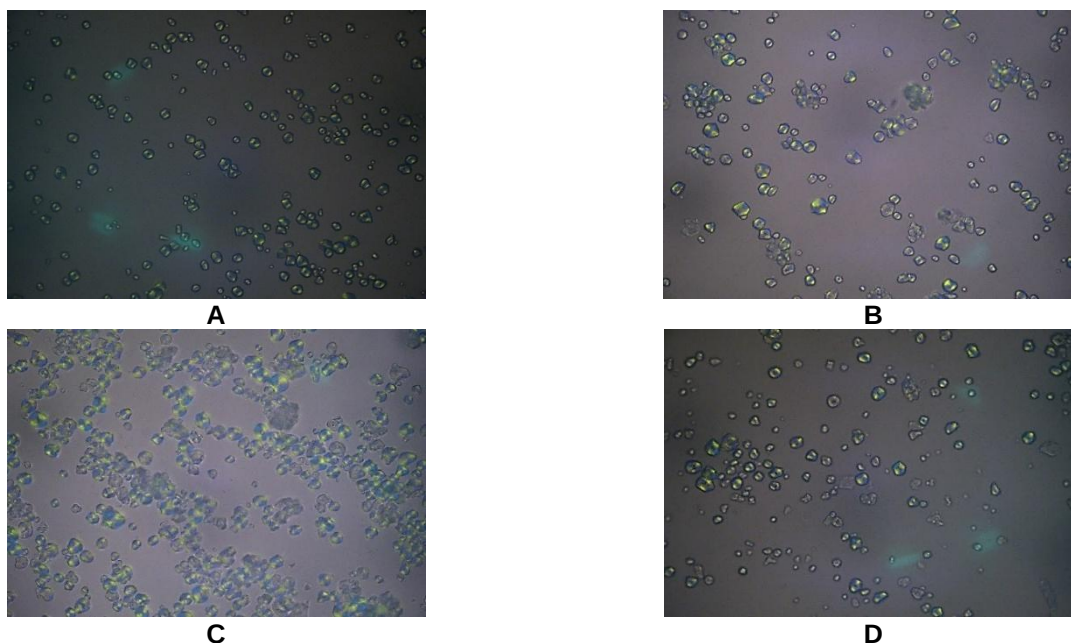
Bentuk dan ukuran granula pati

Granula pati alami memiliki sifat *birefringence* yaitu kemampuan granula untuk merefleksikan cahaya ketika dilihat menggunakan mikroskop, hal ini menandakan bahwa pati jagung komersil belum mengalami gelatinisasi. Sifat *birefringence* dapat dilihat pada Gambar 3. Bentuk granula pati jagung beragam, mulai dari bulat, oval, hingga poligonal. Menurut Waterschoot *et al.* (2015) granula pati

jagung berbentuk bulat dan polygonal dengan ukuran berentang 5–20 μm . Ukuran granula pati HMT cenderung berubah dibandingkan dengan pati alami. Hal ini dapat dikarenakan adanya penambahan air sebelum dilakukan pemanasan pada proses HMT. Terlihat adanya perubahan pada ketiga sampel pati termodifikasi HMT, di antaranya terdapat granula pati yang menyatu dengan lainnya, serta terdapat beberapa granula pati yang kehilangan sifat *birefringencenya*. Hal ini dimungkinkan karena adanya perlakuan panas pada saat modifikasi pati. Modifikasi pati secara HMT akan menyebabkan terjadinya perubahan morfologi pati dalam hal ukuran granula, sifat *birefringence* yang berkurang, gelatinisasi parsial, hingga granula yang teraglomerasi (BeMiller dan Huber, 2015).

Profil gelatinisasi pati jagung

Profil gelatinisasi pati jagung alami dan termodifikasi HMT dapat dilihat pada Tabel 1 yang diukur menggunakan *rapid visco analyzer* (RVA). Pola gelatinisasi pati jagung alami atau tanpa modifikasi memiliki profil gelatinisasi tipe A. Profil gelatinisasi tipe A ditandai dengan nilai viskositas *break-down* yang tinggi, hal tersebut juga ditemukan pada penelitian Kumar dan Khatkar (2017) dengan sampel pati gandum dan bila dikelompokkan berdasarkan profil gelatinisasi, maka akan satu kelompok dengan pati tapioka, ubi jalar, sagu, dan gandum.



Keterangan: pati jagung alami (A), pati jagung HMT 100 (B), pati jagung HMT 110 (C), pati jagung HMT 120 (D)
Note: Native corn starch (A), corn starch HMT 100 (B), corn starch HMT 110 (C), corn starch HMT 120 (D)

Gambar 3. Kenampakan pati alami dan termodifikasi HMT dibawah mikroskop polarisasi perbesaran 400×
Figure 3. The appearance of native corn starch and modified corn starch under polarization microscope with magnification 400×

Tabel 1. Profil gelatinisasi pati jagung alami dan modifikasi HMT

Table 1. Gelatinization profile of natural corn starch and modified corn starch

Parameter (Parameters)	Nilai (Value)			
	Tanpa Modifikasi (Without modification)	Modifikasi pada 100 °C (Modified at 100 °C)	Modifikasi pada 110 °C (Modified at 110 °C)	Modifikasi pada 120 °C (Modified at 120 °C)
Suhu awal gelatinisasi (°C) (Pasting temperature (°C))	73.7±0.0 ^b	82.6±0.2 ^a	82.6±0.8 ^a	82.4±0.6 ^a
Viskositas maximum (cP) (Maximum viscosity (cP))	4155.7±20.7 ^a	2399.3±95.3 ^b	2446.3±110.0 ^b	2350.3±53.5 ^b
Viskositas pada suhu 95 °C setelah holding (cP) (Trough viscosity (cP))	2398.7±24.0 ^a	2036.3±75.3 ^b	2146.3±75.4 ^b	2052.7±33.5 ^b
Viskositas breakdown (cP) (Breakdown viscosity (cP))	1757.0±29.5 ^a	303.0±23.6 ^b	300.0±37.3 ^b	297.7±86.4 ^b
Viskositas setelah holding pada suhu 50 °C (cP) (Final viscosity (cP))	4497.3±34.3 ^a	3030.3±170.6 ^c	3717.0±279.0 ^b	3782.0±231.0 ^b
Viskositas setback (cP) (Setback viscosity (cP))	2098.7±21.7 ^a	994.0±96.2 ^c	1571.0±204.0 ^b	1729.0±263.0 ^{ab}

Keterangan: Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n= 3). Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan secara signifikan ($p<0,05$)

Note: Values are means±standard deviation of triplicate determination (n= 3). Values with different superscript letters showed significant differences ($p<0.05$)

Viskositas *breakdown* yang tinggi menandakan bahwa pati jagung alami tidak tahan terhadap perlakuan panas. Modifikasi secara HMT menyebabkan penyusunan ulang molekul pati dan meningkatkan ikatan inter maupun intramolekul pada granula pati, sehingga didapatkan profil gelatinisasi yang lebih tahan terhadap perlakuan panas yaitu profil pati tipe C dan juga memiliki viskositas yang relatif lebih rendah dari pati jagung alami (Indrianti *et al.*, 2018; Viana *et al.*, 2022).

Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadi peningkatan suhu awal gelatinisasi pati jagung dengan modifikasi HMT. Peningkatan suhu gelatinisasi ini berkaitan dengan adanya perombakan ikatan antar molekul pati sehingga menjadi lebih kompak yang berimplikasi pada meningkatnya suhu untuk terjadinya gelatinisasi pati (Viana *et al.*, 2022). Pati jagung HMT memiliki viskositas *breakdown* berentang 297,7–303,0 cP lebih rendah dari pati jagung alami sebesar 1757,0 cP, hal ini menandakan bahwa pati memiliki karakteristik resisten terhadap perlakuan panas (Marta *et al.*, 2022). Nilai viskositas *setback* pada pati jagung HMT lebih rendah dari pati jagung alami dengan nilai berkisar antara 994,0–1729,0 cP. Nilai viskositas berkaitan dengan proses retrogradasi pasta pati (Viana *et al.*, 2022). Dalam pembuatan *edible film* perlu memerhatikan nilai viskositas *setback*. Nilai viskositas *setback* yang rendah, maka akan mendapatkan karakteristik *edible film* yang transparan.

Karakteristik fisik dan sifat mekanis *edible film*

Edible film dibuat dengan bahan baku dari pati kontrol, pati HMT 100, 110, dan 120, dengan menggunakan gliserol 50% (b/b pati). Karakteristik fisik

dan mekanis *edible film* meliputi, ketebalan, transparansi, WVTR, analisis kuat tarik dan elongasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil analisis transparansi (T) *edible film* dapat dilihat pada Tabel 2. Transparansi merupakan nilai yang menggambarkan tingkat kejernihan suatu *film* yang dihitung berdasarkan absorbansi dan ketebalan *edible film* yang diukur menggunakan alat spektrofotometer dengan panjang gelombang 600 nm. Nilai yang semakin kecil menunjukkan bahwa *edible film* tersebut semakin transparan (Krystyan *et al.*, 2021). Transparansi *edible film* berbahan pati alami dan pati modifikasi HMT menunjukkan nilai yang berbeda signifikan ($p<0,05$). Akan tetapi, tidak terdapat perbedaan yang signifikan antar *edible film* yang terbuat dari pati modifikasi ($p>0,05$). Nilai transparansi paling tinggi dimiliki oleh *edible film* kontrol sebesar 2,74 (a.u./mm) dan terendah dimiliki *film* berbahan pati modifikasi HMT 100 sebesar 1,11 (a.u./mm) sehingga pati modifikasi HMT 100 lebih transparan. Hal ini berbanding terbalik dengan penelitian Zavareze *et al.* (2012) pada pati kentang HMT memiliki nilai transparansi yang lebih besar dari pati alaminya dengan nilai 11,97 (a.u./mm). *Edible film* yang menggunakan pati alami memiliki nilai viskositas *setback* lebih tinggi dibandingkan pati termodifikasi HMT dapat dilihat pada Tabel 1. Nilai viskositas *setback* yang tinggi akan memiliki tingkat keteraturan molekul pada *matrix edible film* yang rendah, hal tersebut akan berimplikasi kepada sifat yang dimiliki *edible film* tidak dapat melewatkan cahaya saat dilakukan pengujian. Gambar *edible film* pati jagung dapat dilihat pada Gambar 4.

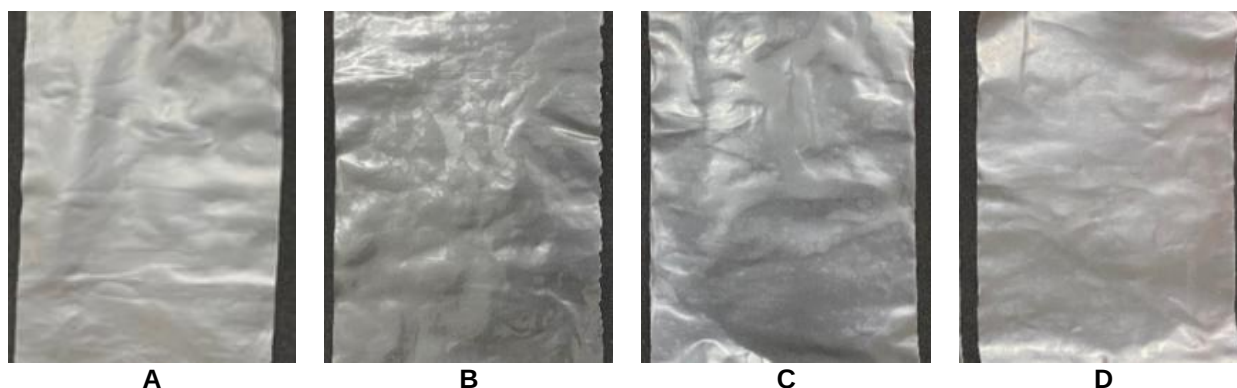
Tabel 2. Hasil pengujian sifat fisik dan mekanis *edible film* pati jagung

Table 2. Test results of physical and mechanical properties of corn starch edible film

Sampel (Sample)	Ketebalan (mm) (Thickness (mm))	Transparansi (a.u./mm) (Transparency (a.u./mm))	WVTR (g/m ² /24 jam) (WVTR (g/m ² /24 h))	Kuat Tarik (MPa) (Tensile Strength MPa))	Elongasi (%) (Elongation at Break (%))
<i>Edible film kontrol</i> (<i>Edible film as control</i>)	0.1±0.0 ^a	2.7±0.3 ^a	27.1±0.9 ^a	2.4±0.1 ^b	52.3±1.6 ^a
<i>Edible film HMT 100</i> (<i>Edible film with</i> <i>modified corn starch</i> <i>HMT 100</i>)	0.1±0.0 ^a	1.1±0.2 ^b	25.2±0.6 ^{ab}	2.6±0.7 ^b	48.1±7.3 ^a
<i>Edible film HMT 110</i> (<i>Edible film with</i> <i>modified corn starch</i> <i>HMT 110</i>)	0.2±0.0 ^a	1.6±0.4 ^b	25.0±0.7 ^{ab}	3.1±0.7 ^{ab}	46.5±8.3 ^a
<i>Edible film HMT 120</i> (<i>Edible film with</i> <i>modified corn starch</i> <i>HMT 120</i>)	0.1±0.0 ^a	1.8±0.5 ^b	23.5±1.9 ^b	4.1±0.2 ^a	56.2±6.7 ^a

Keterangan: Data yang ditunjukkan merupakan nilai rata-rata±standar deviasi (n= 3). Nilai dengan huruf superskrip yang berbeda menunjukkan perbedaan secara signifikan ($p<0,05$)

Note: Values are means±standard deviation of triplicate determination (n= 3). Values with different superscript letters showed significant differences ($p<0.05$)



Keterangan: *Edible film* pati jagung alami (A), *edible film* pati jagung HMT 100 (B), *edible film* pati jagung HMT 110 (C), *edible film* pati jagung HMT 120 (D)

Note: Native corn starch edible film (A), corn starch HMT 100 edible film (B), corn starch HMT 110 edible film (C), corn starch HMT 120 edible film (D)

Gambar 4. Kenampakan *edible film* pati jagung alami dan termodifikasi HMT

Figure 4. The appearance of native corn starch edible film and modified corn starch edible film

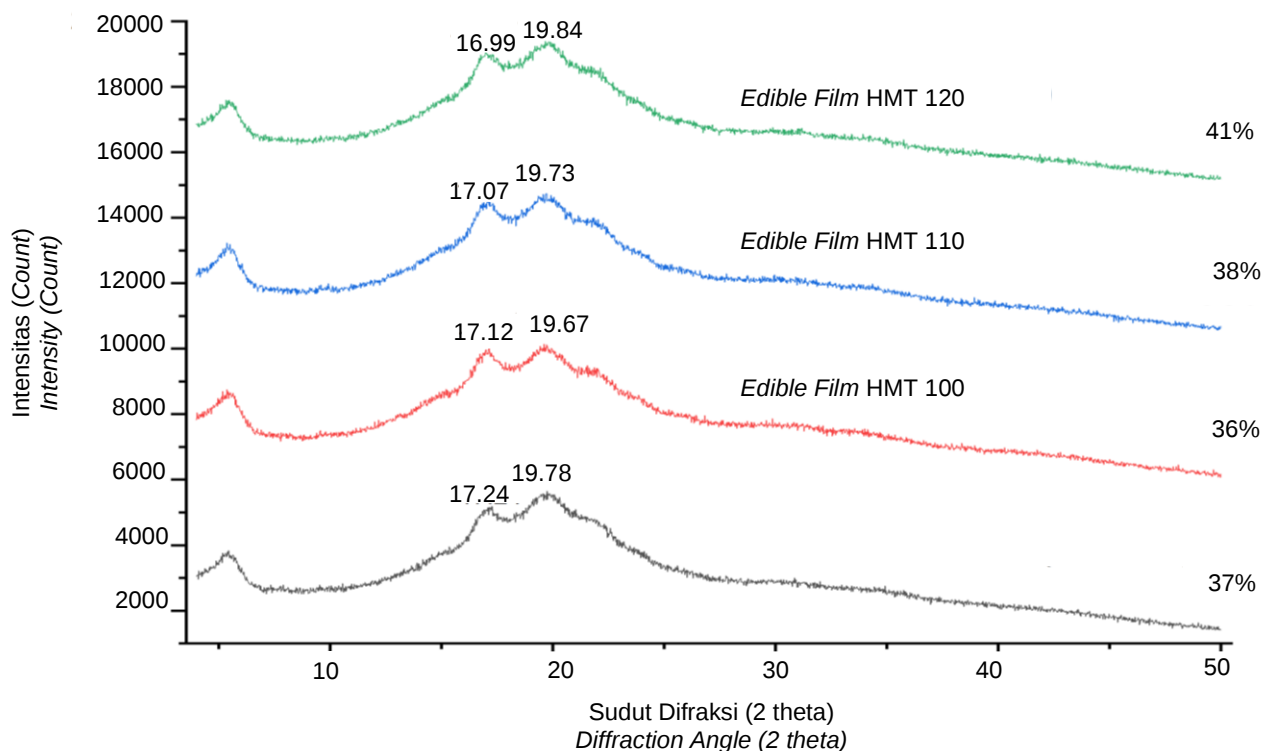
Analisis *water vapor transmission rate* (WVTR) dapat diartikan sebagai analisis transmisi uap air yang menggambarkan besaran uap air yang mampu melewati lapisan *edible film*. Hasil analisis WVTR menunjukkan bahwa tidak berbeda antara *edible film* kontrol dengan *edible film* HMT 100 dan 110 ($p>0,05$), namun berbeda signifikan dengan *edible film* pati jagung HMT 120 ($p<0,05$). Nilai terbesar dimiliki oleh *edible film* kontrol sebesar 27,1 g/m²/24 jam dan nilai yang terendah dimiliki oleh *edible film* HMT 120 sebesar 23,5 g/m²/24 jam. Hasil ini diduga berkaitan dengan kandungan amilosa dan hasil analisis kristalinitas menggunakan XRD. Kadar amilosa sejalan dengan hasil WVTR dengan nilai yang berbeda signifikan hanya pada pati alami dan pati

HMT 120, dan antar perlakuan tidak berbeda signifikan, kemudian untuk kristalinitas *edible flm* HMT 120 yang memiliki kristalinitas tertinggi yaitu 41%. Viana *et al.* (2022) menjelaskan bahwa adanya modifikasi pati secara HMT membuat struktur *matrix edible film* lebih kompak dan terorganisir dengan baik, sehingga menurunkan nilai WVTR. Nilai WVTR pada penelitian berbahan dasar pati jagung tergolong lebih rendah bila dibandingkan dengan penelitian Siskawardani *et al.* (2020) menggunakan pati talas 3% dan gliserol 35% dengan hasil sebesar 31,4 g/m²/24 jam. Hasil semakin menurun jika dibandingkan dengan *edible film* HMT 120 dengan nilai sebesar 23,47±1,9 g/m²/24 jam.

Nilai kuat tarik *edible film* dapat dilihat pada Tabel 3 menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara *edible film* kontrol dengan *edible film* HMT 100 dan 110, namun berbeda signifikan terhadap *edible film* HMT 120 ($p < 0,05$). Nilai kuat tarik sampel *edible film* kontrol tidak berbeda signifikan dengan *edible film* HMT 100 dan 110 ($p > 0,05$), namun berbeda signifikan terhadap *edible film* HMT 120 ($p < 0,05$). Nilai kuat tarik terendah dimiliki oleh *edible film* kontrol sebesar 2,4 MPa, dan nilai tertinggi diperoleh *edible film* HMT 120 sebesar 4,1 MPa. Nilai yang didapat hampir sama dengan penelitian Indrianti *et al.* (2018) untuk nilai kuat tarik pada *edible film* yang terbuat dari pati ubi jalar kontrol sebesar 5,52 MPa dan meningkat setelah dilakukan modifikasi secara HMT menjadi 7,06 MPa.

Lebih lanjut dijelaskan oleh Indrianti *et al.* (2018) bahwa modifikasi HMT menyebabkan kristal pati tersusun ke dalam bentuk yang lebih kompak dibandingkan pati kontrol, yang berimplikasi kepada meningkatnya nilai kuat tarik *edible film* HMT. Nilai kristalinitas pada *edible film* HMT juga menunjukkan data yang sejalan dengan nilai kuat tarik yang didapat, nilai kristalinitas tertinggi dimiliki oleh *edible film* HMT 120 sebesar 41% dibandingkan dengan *edible film* kontrol sebesar 37% sehingga diduga jika *edible film* tersebut memiliki nilai kristalinitas tinggi maka nilai kuat tarik dari *edible film* akan semakin tinggi juga. Nilai kristalinitas dapat dilihat pada Gambar 5.

Nilai elongasi *edible film* kontrol berkisar antara 52,8–52,5%, sedangkan nilai elongasi pada *edible film* HMT berkisar antara 38,3–61,7%. Secara statistik tidak berbeda signifikan antara *edible film* kontrol dan *edible film* HMT ($p > 0,05$). Namun, nilai elongasi yang paling tinggi dimiliki *edible film* pati jagung HMT 120 yang berkisar antara 48,8–61,7%. Penelitian Zavareze *et al.* (2012) juga memiliki hasil yang semakin meningkat nilainya antara pati alami dan HMTnya dengan nilai 79,93%. Hal ini diduga dipengaruhi oleh kandungan amilosa, hasil analisis kandungan amilosa dari pati jagung tidak berbeda signifikan antara pati alami dan modifikasi HMT 100 dan 110, namun berbeda signifikan dengan HMT 120. Lebih lanjut dijelaskan oleh Indrianti *et al.* (2018) bahwa modifikasi secara HMT pada suhu tinggi akan memengaruhi struktur polimer pada pati dan mengubahnya ke bentuk struktur fleksibel yang teratur dalam *matrix* polimer *edible film*. Faktor yang memengaruhi nilai elongasi suatu *film* yaitu ketebalan, konsentrasi pati, penggunaan jenis *plasticizer*, konsentrasi *plasticizer*, interaksi rantai pada *matrix edible film*, dan kelembapan relatif lingkungan (Majzoobi *et al.*, 2015). Lebih lanjut dijelaskan penggunaan gliserol sebagai *plasticizer* oleh Suderman *et al.* (2018) bahwa gliserol memiliki sifat higroskopis yang berkontribusi pada efek plastisasi yang sangat baik, dan meningkatkan mobilitas rantai polimer, sehingga *edible film* yang terbentuk memiliki kerengangan yang baik dan fleksibel.



Gambar 5. Pola difraksi sinar X dari *edible film* pati jagung
Figure 5. X-ray diffraction pattern of corn starch edible film

Pola difraksi sinar X

Pola difraksi sinar X dan kristalinitas dari *edible film* kontrol dan HMT dengan konsentrasi pati jagung 4% diamati melalui alat *X-ray diffractometer* pada Gambar 5. Pola difraksi sinar X pada sampel *edible film* kontrol dan modifikasi menunjukkan adanya 2 puncak pada sudut difraksi 2 theta yaitu pada posisi di sekitar 16,99-17,24° dan 19,67-19,84°. Kisaran posisi puncak yang serupa menunjukkan bahwa modifikasi pati jagung dengan menggunakan HMT tidak mengubah pola difraksi sinar X-nya. Posisi puncak yang dimiliki oleh *edible film* penelitian ini identik dengan penelitian yang dilakukan oleh Liu *et al.* (2016) yang memiliki titik puncak pada *edible film* pati jagung alami berada pada 5,6°; 17°; dan 19,5°. Pola difraksi tersebut dapat dikarenakan adanya reasosiasi pada stuktur amilopektin dan juga terdapat ikatan kompleks antara amilosa-plasticizer (gliserol) dalam proses pembuatan *edible film* (Liu *et al.*, 2016).

Kristalinitas merupakan banyaknya kandungan kristal suatu bahan, dalam hal ini pati, dengan cara membandingkan luas kurva kristalit dengan luas total area dibawah kurva (Dome *et al.*, 2020). Kristalinitas *edible film* yang meningkat dari 37% pada *edible film* kontrol menjadi 41% pada *edible film* HMT 120. Modifikasi HMT 120 menyebabkan peningkatan kristalinitas karena interaksi antar rantai pati yang semakin kuat dan kristal yang semakin teratur akibat terjadinya penataan ulang heliks ganda di dalam wilayah kristalin (Indrianti *et al.*, 2018). Lebih lanjut dijelaskan oleh Singh dan Adediji (2017), bahwa perlakuan HMT meningkatkan kristalinitas pati dibandingkan pati kontrol, karena adanya gaya ikatan hidrogen antar molekul amilosa, amilopektin, dan molekul air. Peningkatan kristalinitas ini nantinya pati yang sudah dimodifikasi akan menyebabkan struktur kristalin yang menguat sehingga nilai kuat tarik akan meningkat, serta menurunkan nilai WVTR.

KESIMPULAN

Kadar amilosa semakin meningkat seiring dengan meningkatnya suhu perlakuan modifikasi HMT dikarenakan terdapat perombakan rantai amilopektin sehingga memicu pembentukan rantai amilosa baru. Sebaliknya, nilai derajat putih semakin menurun karena telah terjadi reaksi pencokelatan. Bentuk dan ukuran pati berubah setelah dilakukan modifikasi. Profil gelatinisasi berubah setelah dilakukan modifikasi, hal ini terjadi karena adanya peningkatan ikatan inter dan intra molekuler pada granula pati sehingga memiliki viskositas yang lebih rendah dibandingkan kontrol. Ketebalan *edible film* tidak mengalami perubahan yang signifikan. Transparansi *edible film* memiliki nilai yang berbeda signifikan,

lebih transparan pada *edible film* setelah proses modifikasi. Nilai WVTR paling rendah berada pada *edible film* HMT 120 dengan nilai 23,47 g/m²/24 jam. Nilai kuat tarik paling tinggi dimiliki oleh *edible film* HMT 120 dengan nilai 3,08 MPa, dengan elongasi yang tidak berbeda signifikan antar perlakuan. Modifikasi pati secara HMT berpotensi memperbaiki karakteristik fisik dan mekanis *edible film* bila dibandingkan dengan perlakuan kontrol yang berbahan dasar pati alami.

DAFTAR PUSTAKA

- [AOAC] Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official Methods of Analysis* (19th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Ariyantoro, A. R., Sigit Amanto, B., & Kiswuri. (2020). Effect of heat moisture treatment (HMT) on physicochemical characteristics of sorghum flour (*Sorghum bicolor* L. Moench). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 518, 012067. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/518/1/012067>
- [ASTM] American Society for Testing and Materials. (2002). Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. In *Annual book of ASTM standards* (Designation D882 02). ASTM. <https://doi.org/10.1520/D0882-18>
- BeMiller, J. N., & Huber, K. C. (2015). Physical modification of food starch functionalities. *Annual Review of Food Science and Technology*, 61, 19–69. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015552>
- Dome, K., Podgorbunskikh, E., Bychkov, A., & Lomovsky, O. (2020). Changes in the crystallinity degree of starch having different types of crystal structure after mechanical pretreatment. *Polymers*, 12(3), 641. <https://doi.org/10.3390/polym12030641>
- Escamilla-García, M., Reyes-Basurto, A., García-Almendárez, B. E., Hernández-Hernández, E., Calderón-Domínguez, G., Rossi-Márquez, G., & Regalado-González, C. (2017). Modified starch-chitosan edible films: Physicochemical and mechanical characterization. *Coatings*, 7(12), 224. <https://doi.org/10.3390/coatings7120224>
- Faridah, D. N., & Thonthowi, A. (2020). Karakterisasi fisik pati tapioka modifikasi gabungan hidroksipropilasi dengan fosfat-ikat silang. *Jurnal Mutu Pangan Indonesia: Indonesian Journal of Food Quality*, 7(1), 30–37. <https://doi.org/10.29244/jmpi.2020.7.1.30>

- Indrianti, N., Pranoto, Y., & Abbas, A. (2018). Preparation and characterization of edible films made from modified sweet potato starch through heat moisture treatment. *Indonesian Journal of Chemistry*, 18(4), 679–687. <https://doi.org/10.22146/ijc.26740>
- Jaganmohan, M. (2024, n.d.). Global plastic production. *Statista*. <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>
- Kaur, N., Chandran, S., Zuliana, R., Abdel-Hamid, I. M., Fathalla, H., & Zienab, F. R. A. (2024). Aloe vera/chitosan-based edible film with enhanced antioxidant, antimicrobial, thermal, and barrier properties for sustainable food preservation. *Polymers*, 16(2), 242. <https://doi.org/10.3390/polym16020242>
- Krystyan, M., Khachatryan, G., Grabacka, M., Krzan, M., Witczak, M., Grzyb, J., & Woszczak, L. (2021). Physicochemical, bacteriostatic, and biological properties of starch/chitosan polymer composites modified by graphene oxide, designed as new bionanomaterials. *Polymers*, 13(14), 2327. <https://doi.org/10.3390/polym13142327>
- Kumar, R., & Khatkar, B. S. (2017). Thermal, pasting, and morphological properties of starch granules of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 2403–2410. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2681-x>
- Kumar, S. R., Tangsrianugul, N., Sriprabhom, J., Wongsagonsup, R., Wansuksri, R., & Suphantharika, M. (2023). Effect of heat-moisture treatment on the physicochemical properties and digestibility of proso millet flour and starch. *Carbohydrate Polymers*, 307, 120630. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120630>
- Liu, C., Jiang, S., Zhang, S., Xi, T., Sun, Q., & Xiong, L. (2016). Characterization of edible corn starch nanocomposite films: The effect of self-assembled starch nanoparticles. *Starch-Stärke*, 68(3–4), 239–248. <https://doi.org/10.1002/star.201500252>
- Majzoobi, M., Pesaran, Y., Mesbahi, G., Golmakani, M. T., & Farahnaky, A. (2015). Physical properties of biodegradable films from heat-moisture-treated rice flour and rice starch. *Starch-Stärke*, 67(11-12), 1053–1060. <https://doi.org/10.1002/star.201500102>
- Marta, H., Cahyana, Y., Bintang, S., Soeherman, G. P., & Djal, M. (2022). Physicochemical and pasting properties of corn starch as affected by hydrothermal modification by various methods. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 792–812. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2064490>
- Nouraddini, M., Esmaili, M., & Mohtarami, F. (2018). Development and characterization of edible films based on eggplant flour and corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 12, 1639–1645. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.09.126>
- Ribba, L., Garcia, N. L., D'Accorso, N., & Goyanes, S. (2017). *Disadvantages of starch-based materials, feasible alternatives in order to overcome these limitations*. Academic Press. Cambridge, Massachusetts (hlm. 37–76). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809439-6.00003-0>
- Sindhu, R., Devi, A., & Khatkar, B. S. (2021). Morphology, structure, and functionality of acetylated, oxidized, and heat moisture treated amaranth starches. *Food Hydrocolloids*, 118, 106800. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106800>
- Singh, M., & Adedeji, A. A. (2017). Characterization of hydrothermal and acid modified proso millet starch. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.008>
- Singh, P., Anshu, S. C., & Harneet, K. M. (2018). Development of starch based edible films. *International Journal of Developmental Research*, 8, 23501–23506.
- Siskawardani, D. D., Warkoyo, Hidayat, & Sukardi. (2020). Physic-mechanical properties of edible film based on taro starch (*Colocasia esculenta* L. Schoott) with glycerol addition. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 458, 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/458/1/012039>
- Suderman, N., Isa, M. I. N., & Sarbon, N. M. (2018). The effect of plasticizers on the functional properties of biodegradable gelatin-based film: A review. *Food Bioscience*, 24, 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2018.06.006>
- Sulistyo, F. T., Utomo, A. R., & Erni, S. (2018). Pengaruh konsentrasi karagenan terhadap karakteristik fisikokimia edible film berbasis gelatin. *Jurnal Teknologi Pangan dan Gizi*, 17(2), 81–87. <https://doi.org/10.33508/jtpg.v17i2.1888>
- Vanisseri, A. K., Hasan, M., Mangaraj, S. M., Pravitha, V., Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2022). Trends in edible packaging films and its prospective future in food: A review. *Applied Food Research*, 2(1), 100118. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100118>
- Viana, E. B. M., Oliveira, N. L., Ribeiro, J. S., Almeida, M. F., Souza, C. C. E., Resende, J.

- V., Santos, L. S., & Veloso, C. M. (2022). Development of starch-based bioplastics of green plantain banana (*Musa paradisiaca* L.) modified with heat-moisture treatment (HMT). *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100776. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100776>
- Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., & Delcour, J. A. (2015). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato, and rice starches. *Starch-Stärke*, 67(1–2), 14–29. <https://doi.org/10.1002/star.201300238>
- Wulandari, E., Een, S., Efri, M., & Hanni, L. F. (2019). Profil gelatinisasi tepung sorgum putih termodifikasi α -amylase. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 30(2), 173–179. <https://doi.org/10.6066/jtip.2019.30.2.173>
- Yumeina D, Adil S, Samsuar. 2021. The effect of soaking sago starch in acetate acids on the whiteness degree of sago flour. *IOP Conference Series: Earth Environment Science* 807, 032006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/807/3/032006>
- Zavareze, E. D. R., Pinto, V. Z., Klein, B., El Halal, S. L. M., Elias, M. C., Prentice-Hernández, C., & Dias, A. R. G. (2012). Development of oxidised and heat moisture treated potato starch film. *Food Chemistry*, 132(1), 344–350. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.090>