



Pengaruh Penambahan Selulosa Kulit Nipah (*Nypa fruticans*) terhadap Karakteristik *Smart Packaging* Berdasarkan Pati – Kitosan

Nina Hartati^{1*}, Tiara Andriani², Edi Kurniawan³, Herlin Sumarna⁴

^{1,2,3}D3 Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

⁴D4 Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

Email: ^{1*}nina.hartati@polsri.ac.id,

Abstract

*The development of environmentally friendly packaging materials with the ability to monitor food quality has become an important focus in biomass-based innovations. This study aims to develop bioplastic films based on durian seed starch–chitosan reinforced with cellulose from nipa palm husk and functionalized as smart packaging by incorporating *Coleus scutellarioides* (miana) extract as a natural indicator. The films were prepared using the solution casting method with varying starch-to-chitosan ratios (2:8, 4:6, 6:4, and 8:2) and cellulose additions (1 g, 3 g, and 5 g). Characterization included tensile strength, elongation at break, Young's modulus, Water Vapor Permeability (WVP), Water Vapor Transmission Rate (WVTR), and sensitivity to meat quality. The results showed that the highest tensile strength (10.718 MPa) was obtained at the 2:8 ratio with 1 g cellulose, while the highest elongation (3.49%) was observed at the 8:2 ratio. The maximum Young's modulus (9.40 MPa) was achieved at the 4:6 ratio with 1 g cellulose. The lowest WVP and WVTR values were found at the 6:4 ratio with 3 g cellulose, indicating improved barrier properties. The anthocyanins in miana extract exhibited a clear color response to pH changes, with prolonged storage leading to a shift toward acidic conditions. Overall, the optimal addition of cellulose enhanced mechanical and barrier properties, whereas excessive amounts led to agglomeration and reduced performance. These findings demonstrate the potential of combining durian seed starch, chitosan, cellulose, and miana extract as a biodegradable smart packaging material.*

Keywords: Durian Seed Starch, Chitosan, Miana Extract, Smart Packaging.

Abstrak

Pengembangan kemasan ramah lingkungan yang sekaligus mampu memantau kualitas pangan menjadi fokus penting dalam inovasi material berbasis biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan bioplastik berbasis pati biji durian–kitosan yang diperkuat dengan selulosa dari kulit nipah serta difungsikan sebagai *smart packaging* melalui penambahan ekstrak tanaman miana (*Coleus scutellarioides*) sebagai indikator alami. Bioplastik disintesis menggunakan metode *solution casting* dengan variasi rasio pati:kitosan (2:8; 4:6; 6:4; 8:2) dan penambahan selulosa (1 g, 3 g, dan 5 g), kemudian dilakukan karakterisasi meliputi uji kekuatan tarik, elongasi, modulus Young, Water Vapor Permeability (WVP), dan Water Vapor Transmission Rate (WVTR), dan sensitivitas terhadap kualitas daging. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada komposisi 2:8 dengan selulosa 1 g sebesar 10,718 MPa, sedangkan nilai elongasi tertinggi pada komposisi 8:2 sebesar 3,49%. Nilai modulus Young tertinggi sebesar 9,40 MPa diperoleh pada komposisi 4:6 dengan selulosa 1 g. Sementara itu, nilai WVP dan WVTR terendah diperoleh pada komposisi 6:4 dengan selulosa 3 g. Antosianin yang berasal dari ekstrak tanaman miana menunjukkan respon perubahan warna yang jelas terhadap perubahan pH. Semakin lama waktu penyimpanan menunjukkan perubahan warna yang cenderung menuju pH asam. Secara umum, penambahan selulosa dalam jumlah optimum mampu meningkatkan kekuatan mekanik dan sifat barrier, namun pada konsentrasi tinggi menyebabkan penurunan performa akibat aglomerasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi pati biji durian, kitosan, selulosa kulit nipah, dan ekstrak tanaman miana berpotensi sebagai material *smart packaging*.

Kata Kunci: Pati Biji Durian, Kitosan, Ekstrak Miana, Smart Packaging.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan kemasan plastik berbasis petrokimia masih mendominasi industri pangan, namun karakteristiknya yang sulit terdegradasi telah memicu akumulasi limbah dan tekanan lingkungan yang signifikan. Kondisi ini mendorong pengembangan material kemasan berbasis biopolimer yang bersifat biodegradable dan berasal dari sumber terbarukan. Seiring dengan meningkatnya tuntutan terhadap keamanan pangan, teknologi smart packaging berkembang sebagai inovasi yang tidak hanya berfungsi sebagai pelindung, tetapi juga mampu memberikan informasi kondisi produk secara real-time. Bahan pengemas berbasis pati merupakan salah satu jenis material yang banyak dikembangkan karena ketersediaannya melimpah, sifatnya biodegradable, serta relatif mudah diproses menjadi film. Namun demikian, penggunaan pati sebagai bahan utama masih menghadapi sejumlah kendala, seperti sifat hidrofilik yang tinggi, kekuatan mekanik yang rendah, serta stabilitas yang kurang baik terhadap kelembaban (Hidayati et al., 2024). Pemanfaatan pati dari sumber non-konvensional seperti biji durian menjadi salah satu alternatif karena biji durian memiliki kandungan pati yang cukup tinggi namun belum dimanfaatkan secara optimal (Gapsari et al., 2025).

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pendekatan yang umum dilakukan adalah dengan menggabungkan pati dengan biopolimer lain, seperti kitosan. Kitosan memiliki keunggulan berupa sifat biodegradable, biokompatibel, serta kemampuan membentuk film yang baik. Selain itu, kitosan juga memiliki aktivitas antimikroba yang dapat meningkatkan nilai fungsional film plastik. Penambahan kitosan pada matriks pati terbukti mampu meningkatkan kekuatan tarik, stabilitas struktur, serta sifat barrier terhadap uap air (Kusumawati et al., 2025; Rahim et al., 2025). Meskipun demikian, kombinasi pati–kitosan masih belum sepenuhnya mampu menghasilkan material dengan sifat mekanik optimal, terutama dalam hal kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi (Caballero et al., 2026). Penguatan struktur film plastik dapat dilakukan melalui penambahan filler berbasis selulosa (Hartati et al., 2019).

Selulosa merupakan polisakarida dengan struktur kristalin tinggi yang mampu meningkatkan kekuatan mekanik dan stabilitas material. Penambahan selulosa ke dalam matriks pati–kitosan diketahui dapat meningkatkan kekuatan tarik dan modulus Young serta memperbaiki struktur mikro film melalui interaksi antar gugus hidroksil (Waluyo et al., 2024). Selain itu, selulosa juga berperan dalam meningkatkan sifat barrier dengan membentuk jalur difusi yang lebih kompleks bagi molekul uap air. Salah satu sumber selulosa yang potensial adalah kulit nipah (*Nypa fruticans*) yang banyak ditemukan di wilayah pesisir namun belum dimanfaatkan secara optimal. Penelitian oleh Kristiningsih et al. (2024) menunjukkan bahwa selulosa dari kulit nipah mampu meningkatkan kekuatan tarik bioplastik hingga rentang 4–27 MPa serta memperbaiki homogenitas struktur material. Hal ini menunjukkan bahwa limbah nipah memiliki potensi besar sebagai bahan penguat alami dalam sistem bioplastik.

Smart packaging berbasis indikator warna menjadi salah satu pendekatan yang paling banyak dikembangkan karena mampu mendeteksi perubahan kimia akibat aktivitas mikroorganisme selama penyimpanan pangan (Xiao, 2025). Beberapa studi melaporkan bahwa antosianin dari berbagai sumber tanaman, seperti kubis merah, bunga telang, maupun kulit buah naga, menunjukkan respons warna yang jelas terhadap perubahan pH akibat aktivitas mikrobiologis pada pangan (Mahatmanti et al., 2024; Simon et al., 2025a; Du et al., 2025). Selain itu, film berbasis pati yang mengandung antosianin terbukti mampu mendeteksi perubahan kualitas pangan melalui perubahan warna yang mudah diamati secara visual (Luchese et al., 2021).

Tanaman miana (*Coleus scutellarioides*) merupakan salah satu sumber pigmen alami yang kaya akan senyawa antosianin dan flavonoid, sehingga berpotensi digunakan sebagai indikator alami dalam sistem kemasan cerdas. Smart packaging berbasis indikator warna telah banyak dikembangkan dengan memanfaatkan antosianin dari berbagai sumber, seperti bunga telang (*Clitoria ternatea*) dan kubis merah (*Brassica oleracea var. capitata f. rubra*), yang menunjukkan respons terhadap perubahan pH akibat aktivitas mikrobiologis. Namun demikian, keterbatasan terkait stabilitas dan sensitivitas masih menjadi tantangan utama. Ditinjau dari kestabilannya, tanaman miana (*Coleus scutellarioides*) memiliki potensi yang lebih unggul karena kandungan antosianin yang berasosiasi dengan senyawa fenolik lain, sehingga memberikan stabilitas yang lebih baik serta respons warna yang lebih representatif pada rentang pH yang luas. Namun, pemanfaatannya dalam matriks biopolimer, khususnya kombinasi pati–kitosan yang diperkuat selulosa dari kulit nipah, masih relatif terbatas dan belum banyak dilaporkan.

Sistem bioplastik berbasis pati–kitosan masih menghadapi kendala dalam mencapai keseimbangan antara sifat mekanik dan barrier sementara penambahan selulosa sebagai penguat seringkali menimbulkan aglomerasi pada konsentrasi tinggi. Oleh karena itu, pemanfaatan selulosa dari *Nypa fruticans* sebagai sumber biomassa lokal dengan struktur semi-kristalin diharapkan dapat meningkatkan interaksi antarmolekul dalam matriks polimer. Integrasi pati biji durian, kitosan, selulosa kulit nipah, dan ekstrak miana dalam penelitian ini merepresentasikan pendekatan yang lebih komprehensif dalam pengembangan material smart packaging dengan peningkatan sifat mekanik, barrier, dan sensitivitas terhadap perubahan kualitas pangan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan smart packaging berbasis pati–kitosan dengan penambahan selulosa dari kulit nipah menggunakan indikator alami dari ekstrak tanaman miana. Parameter yang diamati meliputi kekuatan tarik, elongasi, modulus elastisitas film plastik, serta sensitivitas perubahan warna film. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan komposisi selulosa yang paling sesuai sebagai bahan penguat dalam sistem film plastik pati–kitosan sehingga material yang dihasilkan memiliki performa mekanik yang lebih baik dan berpotensi digunakan sebagai alternatif bahan kemasan yang lebih ramah terhadap lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Ekstraksi Pati Biji Durian

Ekstraksi pati dari biji durian mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Hapsari (2016). Biji durian yang telah dikumpulkan dicuci dan dikupas kulit bagian luarnya. Kemudian diblender dengan penambahan air pada perbandingan 1 : 2. Biji durian yang telah halus disaring untuk memisahkan filtrat dengan ampas. Suspensi yang dihasilkan diendapkan selama 12 – 24 jam hingga terbentuknya endapan. Kemudian dilakukan pengeringan endapan pada suhu 50 – 60 °C.

2.2 Ekstraksi Selulosa dari Kulit Nipah

Metode ekstraksi dari kulit Nipah menggunakan metode yang dikembangkan oleh Ferdiansyah et.al (2017). Kulit buah Nipah yang telah dibersihkan dipotong-potong hingga menjadi bagian kecil kemudian dikeringkan dan dihaluskan hingga ukuran 60 mesh. Sebanyak 50 gram serbuk kulit Nipah direndam dalam 500 mL NaOH 10% selama 24 jam. Selanjutnya, dilakukan pemisahan menggunakan kertas saring, residu yang dihasilkan ditambahkan dengan 160 mL NaOCl 6% dan dipanaskan selama satu jam pada temperatur 60 °C. Endapan yang terbentuk disaring kembali dan dibilas dengan air hangat

serta dikeringkan pada temperatur 60 °C hingga diperoleh residu kering. Residu yang telah kering dikarakterisasi gugus fungsinya menggunakan FTIR.

2.3 Sintesis Bioplastik

Kitosan dilarutkan ke dalam aquades dan diaduk menggunakan magnetic stirrer. Kemudian, ditambahkan pati biji durian dan serbuk selulosa kulit Nipah dan diaduk kembali hingga larut. Kedalam campuran tersebut, ditambahkan gliserol dan campuran dipanaskan selama 15 menit. Setelah campuran mencapai temperatur ruang, dicetak pada plat kaca dengan ketebalan film yang dihasilkan berada pada rentang $\pm 0,10 - 0,25$ mm serta didiamkan hingga terbentuk lapisan film. Variasi perbandingan komponen film dapat dilihat pada Tabel 1. Film yang terbentuk dikarakterisasi sifat mekaniknya, WVP dan WVTR. Pengujian sifat mekanik dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* dengan kondisi lingkungan terkontrol pada suhu 25 ± 2 °C dan kelembapan relatif $50 \pm 5\%$. Pengkondisian ini dilakukan untuk meminimalkan pengaruh sifat higroskopis material berbasis pati terhadap hasil pengujian. Sebelum pengujian, sampel film terlebih dahulu dikondisikan pada lingkungan yang sama selama minimal 24 jam untuk mencapai kesetimbangan kadar air.

Tabel 1. Variasi Perbandingan Pati: Kitosan: Selulosa

Pati Biji Durian (g)	Kitosan (g)	Selulosa (g)
2	8	1
4	6	
6	4	
8	2	
2	8	3
4	6	
6	4	
8	2	
2	8	5
4	6	
6	4	
8	2	

2.4 Ekstraksi Antosianin dari Tanaman Miana

Ekstraksi antosianin mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Unawahi dkk. (2022) dengan beberapa modifikasi. Daun miana dicuci menggunakan air untuk menghilangkan kotoran yang dapat mengganggu proses ekstraksi dan di keringkan pada suhu kamar. Kemudian dihaluskan hingga berbentuk serbuk. Serbuk daun miana dimaserasi menggunakan campuran aquades dan asam asetat glasial 0,1% hingga total volume 500 mL. Maserasi dilakukan selama 2×24 jam dan hasilnya dipekatkan di dalam waterbath hingga diperoleh ekstrak kental. Ekstrak kental daun miana ditambahkan asam sitrat untuk menurunkan pH dan ditambahkan NaOH untuk menaikkan pH sehingga terjadi perbedaan warna ketika kondisi asam, netral, dan basa.

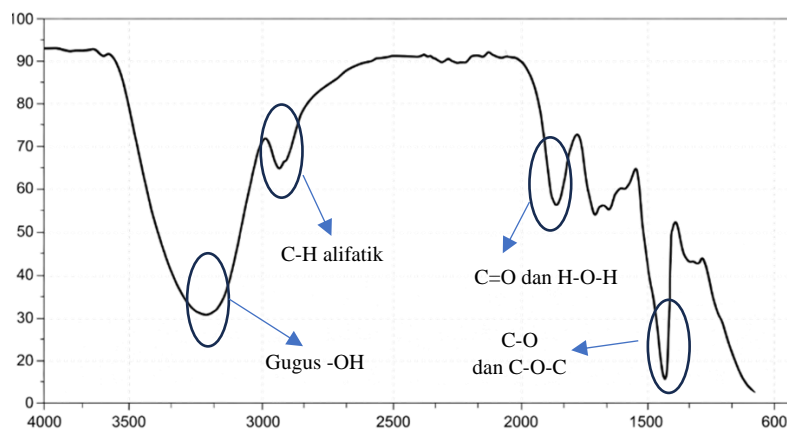
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Karakterisasi Spektrum FTIR Pati Biji Durian

Spektrum FTIR pati biji durian menunjukkan karakteristik khas polisakarida yang ditandai dengan pita serapan lebar dan kuat pada kisaran $3200-3400$ cm^{-1} yang berkaitan dengan vibrasi regangan gugus hidroksil (O-H). Lebarnya pita ini mengindikasikan adanya interaksi ikatan hidrogen yang intens, baik intra- maupun intermolekuler, yang

merupakan ciri utama struktur amilosa dan amilopektin. Selain itu, pita serapan pada kisaran 2850–2950 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C–H alifatik yang berasal dari unit glukosa penyusun pati. Puncak pada sekitar 1640–1650 cm^{-1} dikaitkan dengan vibrasi lentur molekul air terikat (H–O–H), yang menegaskan sifat higroskopis pati. Keberadaan air terikat ini berperan penting dalam mempengaruhi sifat fisik material, terutama dalam hal interaksi dengan lingkungan lembab. Temuan ini konsisten dengan berbagai penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa gugus hidroksil dan air terikat merupakan komponen dominan dalam struktur pati alami dan sangat mempengaruhi karakteristiknya (Zhang et al., 2022; Hidayati et al., 2024).

Pada daerah bilangan gelombang yang lebih rendah, yaitu 1000–1150 cm^{-1} , terlihat pita serapan kuat yang merupakan karakteristik dari vibrasi gugus C–O dan ikatan glikosidik C–O–C, yang menegaskan keberadaan struktur polisakarida pada pati biji durian. Selain itu, pita pada kisaran 800–950 cm^{-1} berkaitan dengan vibrasi cincin glukopiranososa dan konfigurasi ikatan α -(1,4) serta α -(1,6) pada amilosa dan amilopektin. Tidak ditemukannya pergeseran signifikan maupun munculnya pita baru menunjukkan bahwa struktur kimia pati tetap stabil dan tidak mengalami modifikasi selama proses preparasi. Hal ini mengindikasikan bahwa pati biji durian masih mempertahankan sifat alaminya sebagai biopolimer. Dominasi gugus hidroksil juga menunjukkan potensi interaksi yang kuat dengan biopolimer lain seperti kitosan dan selulosa melalui pembentukan ikatan hidrogen, yang sangat penting dalam pembentukan matriks bioplastik. Dengan demikian, hasil analisis FTIR ini memperkuat bahwa pati biji durian merupakan bahan yang layak digunakan dalam pengembangan bioplastik berbasis polisakarida dengan potensi peningkatan sifat mekanik dan barrier melalui modifikasi komposisi (Waluyo et al., 2024; Baghi et al., 2022).



Gambar 1. Spektrum FTIR Pati Biji Durian

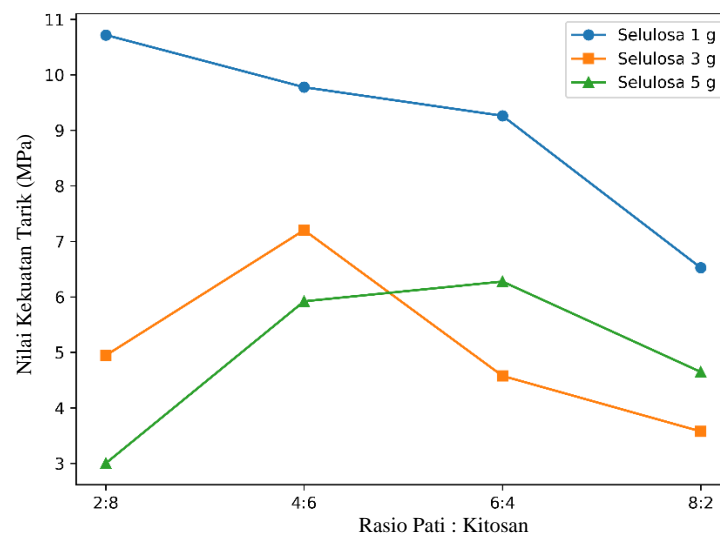
3.2 Nilai Kekuatan Tarik

Berdasarkan grafik pada Gambar 2, nilai kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada komposisi pati biji durian:kitosan 2:8 dengan penambahan selulosa 1 g sebesar 10,72 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada komposisi yang sama dengan penambahan selulosa 5 g yaitu 3,00 MPa. Pola ini menunjukkan bahwa penambahan selulosa dalam jumlah terbatas mampu meningkatkan kekuatan tarik, namun pada konsentrasi yang lebih tinggi justru menurunkan performa mekanik.

Peningkatan kekuatan tarik pada penambahan selulosa 1 g mengindikasikan adanya interaksi intermolekuler yang efektif antara gugus hidroksil selulosa dengan matriks pati–kitosan, sehingga menghasilkan struktur yang lebih teratur. Namun, pada konsentrasi 3 g dan 5 g, kecenderungan penurunan kekuatan tarik diduga akibat terjadinya aglomerasi selulosa yang menghambat distribusi homogen dalam matriks (Hartati et.al, 2019). Hal

ini sejalan dengan Waluyo et al. (2024) yang menyatakan bahwa *filler* selulosa meningkatkan kekuatan tarik hingga batas optimum, tetapi kelebihan *filler* menyebabkan terbentuknya titik lemah dalam material. Selain itu, Kusumawati et al. (2025) melaporkan bahwa peningkatan fraksi kitosan berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tarik karena membentuk jaringan polimer yang lebih padat dan kuat.

Penurunan kekuatan tarik yang tajam pada penambahan selulosa 3 g dan 5 g (menjadi 3,00 MPa) diduga kuat akibat fenomena aglomerasi. Secara mikroskopis, kelebihan filler selulosa menyebabkan partikel tidak lagi terikat sempurna dalam matriks pati-kitosan, melainkan membentuk gumpalan yang bertindak sebagai titik konsentrasi tegangan (*stress concentration points*). Hal ini sejalan dengan teori bahwa distribusi non-homogen menciptakan diskontinuitas dalam struktur film, yang secara visual akan dikonfirmasi melalui pengamatan SEM untuk menunjukkan pemisahan fase pada konsentrasi tinggi. Pengamatan morfologi dengan SEM direkomendasikan pada penelitian berikutnya, pada penelitian ini analisis SEM belum dilakukan sehingga interpretasi mengenai aglomerasi selulosa didasarkan pada pendekatan tidak langsung melalui tren penurunan kekuatan tarik dan elongasi. Penurunan tersebut mengindikasikan adanya kemungkinan terbentuknya agregasi partikel yang menyebabkan ketidakhomogenan struktur dan terbentuknya titik lemah dalam material. Fenomena ini sejalan dengan laporan dalam literatur yang menyatakan bahwa kelebihan filler selulosa dapat menyebabkan aglomerasi dan menurunkan performa mekanik.



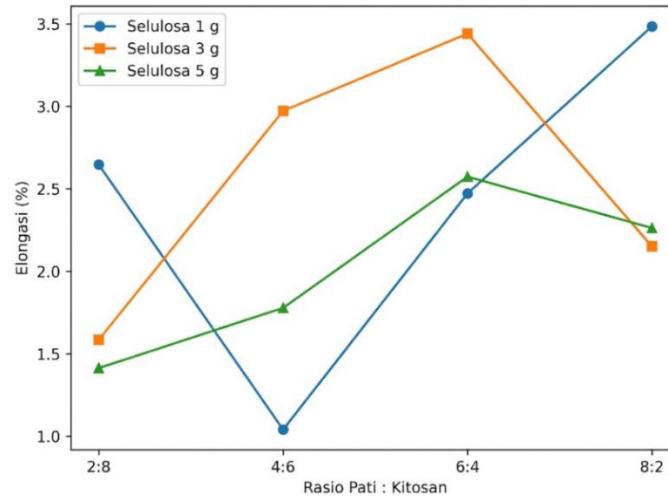
Gambar 2. Nilai Kekuatan Tarik Bioplastik

3.2. Nilai Perpanjangan Putus

Nilai elongasi tertinggi diperoleh pada komposisi 8:2 dengan selulosa 1 g sebesar 3,49%, sedangkan nilai terendah terdapat pada komposisi 4:6 dengan selulosa 1 g sebesar 1,04%. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kandungan pati cenderung meningkatkan fleksibilitas material, sementara peningkatan kitosan dan selulosa menyebabkan penurunan elongasi. Secara struktural, pati memiliki sifat amorf yang memungkinkan mobilitas rantai polimer lebih tinggi, sehingga meningkatkan kemampuan deformasi sebelum putus.

Sebaliknya, kitosan dan selulosa memiliki kecenderungan membentuk struktur yang lebih kaku akibat adanya interaksi hidrogen yang kuat. Penurunan elongasi pada penambahan selulosa yang lebih tinggi juga menunjukkan bahwa *filler* berperan dalam meningkatkan kekakuan, sehingga mengurangi kemampuan material untuk meregang.

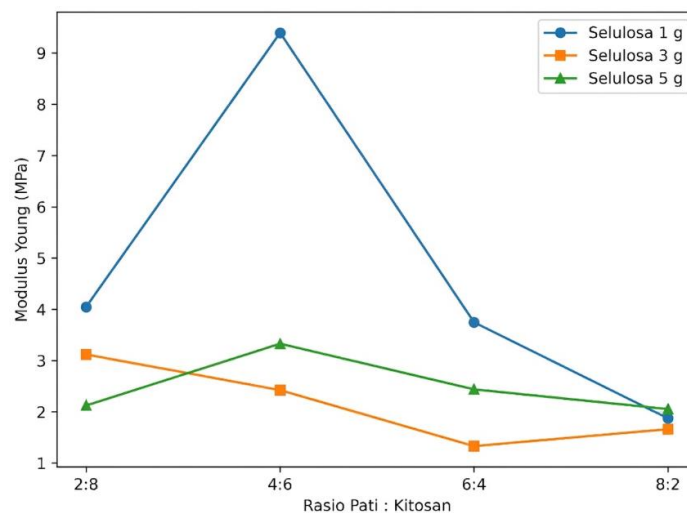
Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Rahim et al. (2025) yang menyebutkan bahwa penambahan selulosa dapat menurunkan elongasi akibat peningkatan kristalinitas material. Shavira dan Fuadi (2021) juga menegaskan bahwa peningkatan kitosan dalam bioplastik berbasis pati cenderung menurunkan fleksibilitas karena terbentuknya jaringan yang lebih rigid.



Gambar 3. Nilai Perpanjangan Putus Bioplastik

3.3 Nilai Modulus Young

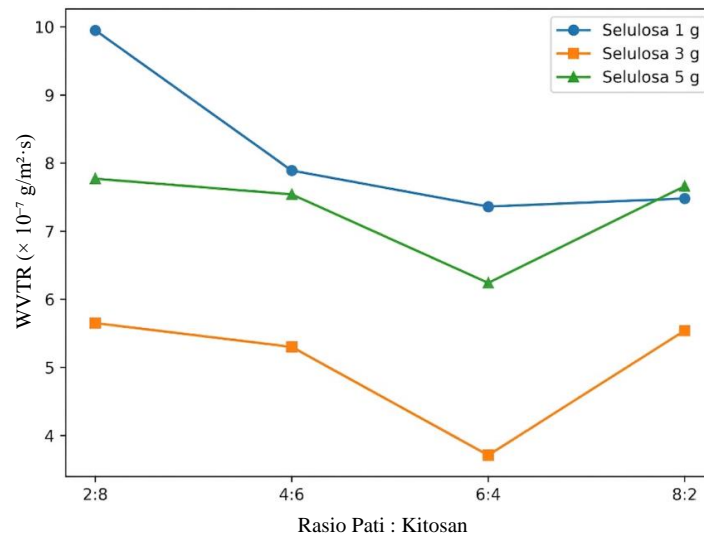
Modulus Young mencerminkan tingkat kekakuan material, sehingga nilai yang tinggi menunjukkan struktur yang lebih rigid. Nilai modulus Young tertinggi diperoleh pada komposisi 4:6 dengan penambahan 1 g selulosa sebesar 9,40 MPa, sedangkan nilai terendah terdapat pada komposisi 6:4 dengan penambahan 3 g selulosa sebesar 1,33 MPa. Nilai modulus yang tinggi pada komposisi 4:6 dengan penambahan 1 g selulosa menunjukkan bahwa interaksi antara pati, kitosan, dan selulosa berada dalam kondisi optimum sehingga mampu membentuk jaringan yang kuat. Sebaliknya, penurunan modulus pada komposisi 6:4 dengan penambahan 3 g selulosa menunjukkan adanya gangguan dalam struktur matriks akibat distribusi *filler* yang tidak merata. Kristiningsih et al. (2024) menyatakan bahwa selulosa dari kulit nipah memiliki potensi meningkatkan modulus elastisitas karena struktur kristalinnya yang tinggi. Namun, efek ini sangat bergantung pada dispersi *filler* dalam matriks. Jika terjadi aglomerasi, maka peningkatan modulus tidak dapat tercapai secara optimal.



Gambar 4. Nilai Modulus Young Bioplastik

3.4 Water Vapor Transmission Rate (WVTR)

Nilai WVTR terendah diperoleh pada komposisi 6:4 dengan selulosa 3 g sebesar $3,71 \times 10^{-7} \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada komposisi 2:8 dengan selulosa 1 g sebesar $9,95 \times 10^{-7} \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$. Berdasarkan grafik pada Gambar 5, peningkatan selulosa cenderung menurunkan nilai WVTR. Hal ini disebabkan peningkatan kemampuan material dalam menghambat transmisi uap air, yang merupakan parameter penting dalam material kemasan. Struktur yang lebih rapat akibat interaksi antara pati, kitosan, dan selulosa menyebabkan difusi uap air menjadi lebih sulit. Menurut Sari et al. (2025), nilai WVTR yang rendah sangat penting dalam menjaga kualitas produk yang dikemas, terutama terhadap perubahan kelembaban. Rahim et al. (2025) juga menyatakan bahwa peningkatan kandungan selulosa dapat meningkatkan sifat barrier melalui peningkatan kristalinitas dan kerapatan struktur material.

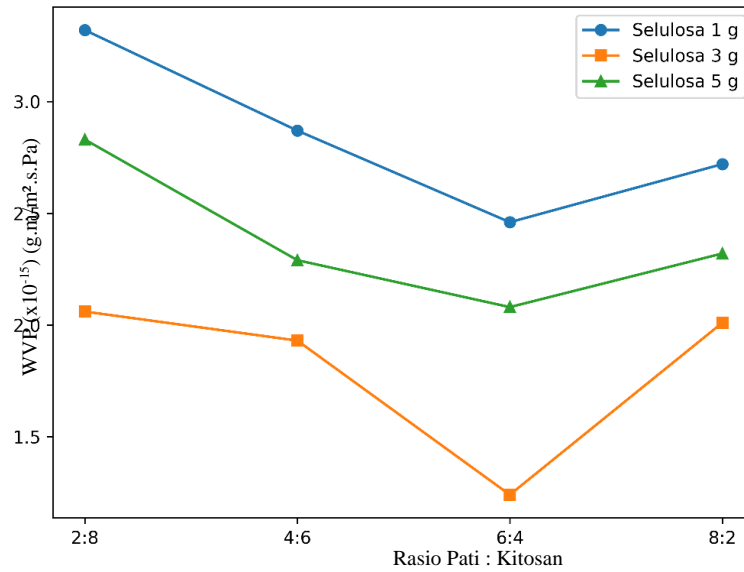


Gambar 5. Nilai WVTR Bioplastik

3.5 Water Vapor Permeability (WVP)

Permeabilitas Uap Air (WVP) dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kelembaban, porositas, dan struktur kimia dari bahan penyusunnya. Nilai WVP terendah diperoleh pada komposisi 6:4 dengan penambahan 3 g selulosa sebesar $1,24 \times 10^{-15} \text{ g.m/m}^2 \cdot \text{s.Pa}$, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada komposisi 2:8 dengan penambahan 1 g selulosa sebesar $3,32 \times 10^{-15} \text{ g.m/m}^2 \cdot \text{s.Pa}$. Nilai WVP yang rendah menunjukkan kemampuan material yang lebih baik dalam menghambat permeasi uap air. Penurunan nilai WVP dengan meningkatnya kandungan selulosa menunjukkan bahwa selulosa mampu meningkatkan kerapatan struktur dan mengurangi ruang bebas dalam matriks. Hal ini menyebabkan jalur difusi uap air menjadi lebih kompleks dan terhambat. Reza et al. (2025) melaporkan bahwa kombinasi kitosan dan selulosa dapat meningkatkan sifat barrier karena terbentuknya jaringan polimer yang lebih padat yang memperlambat perpindahan uap air melalui material.

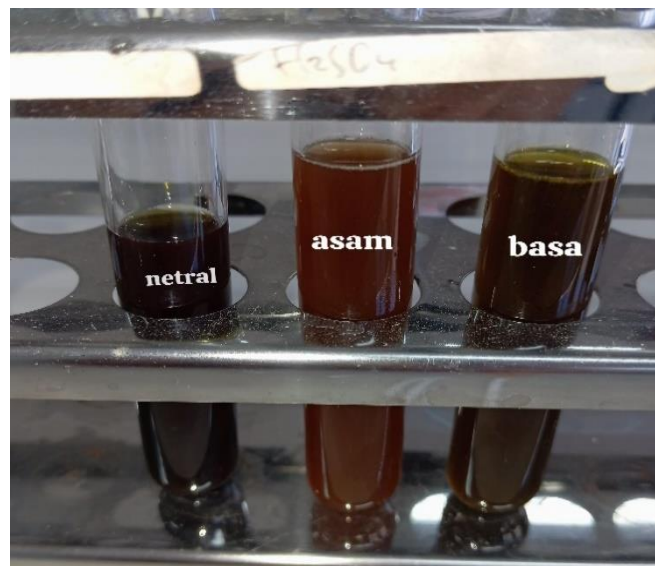
Penurunan nilai WVTR dan WVP seiring penambahan selulosa disebabkan oleh pembentukan *tortuous path* (jalur berkelok) dalam matriks bioplastik. Selulosa, yang memiliki tingkat kristalinitas tinggi, bertindak sebagai 'penghalang' fisik yang memaksa molekul uap air untuk menempuh jalur difusi yang lebih panjang dan berliku dibandingkan pada film tanpa penguat. Struktur kristalin selulosa kulit nipah meningkatkan kerapatan matriks dan mengurangi volume bebas (*free volume*), sehingga permeasi molekul air menjadi lebih lambat dan sulit. Jalur difusi yang lebih kompleks ini sangat krusial untuk menjaga stabilitas kelembaban produk pangan yang dikemas.



Gambar 6. Nilai WVP Bioplastik

3.6 Sensitivitas Perubahan pH




Setelah dilakukan maserasi hasil ekstraksi dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini. Hasil ekstraksi miana yang diperoleh berwarna hijau pekat pada pH netral. Ekstraksi cukup sensitif setelah direaksikan dengan asam dan basa. Pengujian dengan menambahkan asam sitrat 1 N, ekstrak berubah warna menjadi merah pada pH 3. Sedangkan setelah direaksikan dengan NaOH 1 N warna berubah menjadi hijau kecoklatan pada pH 13.



Gambar 7. Perubahan warna ekstrak miana pada kondisi berbeda

Antosianin merupakan senyawa yang peka terhadap perubahan pH. Warnanya bisa berubah tergantung asam atau basa lingkungannya. Ketika daging membusuk, protein diuraikan oleh mikroorganisme dan enzim yang menghasilkan senyawa basa seperti amonia, trimetilamina yang menyebabkan peningkatan pH (Fitriani, 2021). Pengujian film dilakukan dengan menggunakan daging sapi memperoleh hasil seperti tabel dibawah ini:

Tabel 2. Pengamatan Perubahan Warna Kemasan

No	Waktu	Gambar	Keterangan Kondisi
1	Hari ke 1	 Hijau Pekat	Belum terjadi perubahan yang signifikan
2	Hari ke 2	 Hijau Kekuningan	Mulai terjadi degradasi
3	Hari ke 3	 Coklat Muda / Keruh	Mengalami pembusukan (pH basa)

Setelah diamati selama 3 hari dapat dilihat pada gambar bahwa warna plastik berubah dari yang awalnya hijau berubah menjadi kecoklatan yang mengindikasikan bahwa kondisi cenderung berada pada rentang pH basa. Hal ini menunjukkan antosianin menunjukkan perubahan warna akibat daging yang membusuk. Evaluasi perubahan warna pada penelitian ini masih dilakukan secara visual, sehingga bersifat kualitatif. Meskipun perubahan warna yang diamati menunjukkan respons yang jelas terhadap kondisi lingkungan, pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam hal objektivitas dan reproduktibilitas data.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa integrasi biokomposit pati biji durian dan kitosan yang diperkuat oleh selulosa kulit nipah dengan penambahan ekstrak miana sebagai sensor pH alami dapat dilakukan. Variasi komposisi pati biji durian–kitosan serta penambahan selulosa dari kulit nipah berpengaruh terhadap sifat mekanik dan sifat barrier smart packaging. Hasil analisis FTIR juga mengonfirmasi bahwa pati biji durian memiliki gugus fungsi khas polisakarida tanpa perubahan struktur kimia yang signifikan. Penambahan selulosa berkontribusi pada pencapaian kekuatan tarik optimal sebesar 10,718 MPa pada konsentrasi selulosa 1 g. Peningkatan fungsionalitas mekanik dan penurunan permeabilitas uap air (WVP) pada titik tersebut kemungkinan dipicu oleh pembentukan mekanisme *tortuous path* yang menghambat difusi molekul air, meskipun penambahan filler yang berlebih pada penambahan selulosa

3 g dan 5 g justru memicu degradasi struktural akibat fenomena aglomerasi partikel. Secara operasional, stabilitas antosianin dari ekstrak miana menunjukkan sensitivitas visual yang kontras dalam mendeteksi perubahan pH lingkungan, sehingga film ini memiliki potensi strategis sebagai indikator keamanan pangan berkelanjutan yang efektif dalam memantau degradasi mutu produk protein secara *real-time*.

REFERENCES

- Baghi, F., Gharsallaoui, A., Dumas, E. (2022). Advancements in Biodegradable Active Films for Food Packaging: Effects of Nano/Microcapsule Incorporation. *Foods*, 11(5), 760, 1 – 44 . doi : 10.3390/foods11050760
- Caballero, N., Gonzalez, C., Reyes, A. (2026). Smart Packaging System with Betalains and Rosemary Essential Oil to Extend Food Shelf Life and Monitor Quality During Storage. *Journals Polysaccharides*, 7(1), 5.
- Du, L., Huang, X., Li, Z. (2025). Application of Smart Packaging in Fruit and vegetable Preservation : A Review. *Jurnal Foods*, 14(3), 447
- Ferdiansyah, M. (2016). Kajian Karakteristik Karboksimetil Selulosa (Cmc) Dari Pelelepah Kelapa Sawit Sebagai Upaya Diversifikasi Bahan Tambahan Pangan Yang Halal. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 5(4), 136–139. <https://doi.org/10.17728/jatp.198>
- Fitriani, N., Wulandari, A. C., & Prasetyo, R. H. (2021). Karakterisasi film indikator pH berbasis pati singkong dan ekstrak kol ungu untuk deteksi kesegaran daging ayam. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*, 32(2), 145–152.
- Gapsari, F., Andrianto, S. N. K., Harmayanti, A., et al. (2025). Enhancing mechanical and thermal properties of bio-composites based on durian seed starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 290, 138571. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.138571>
- Hapsari, R. A., & Pramitasari, R. C. (2016). Karakteristik Pati dari Beberapa Jenis Biji Durian (*Durio spp.*). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 4(1), 1–10.
- Hartati, N., Kemala, T., Sutriah, K., Farobie, O. (2019). Kompatibilitas Nanokristal Selulosa Termodifikasi Setrimonium Klorida (CTAC) dalam Matriks Poliasam Laktat Sebagai Material Pengemas. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 22(4), 157 – 163. <https://doi.org/10.1710/jksa.2019.22.4.157-161>
- Hidayati, N., Awwalian, D. W., & Jannah, N. M. (2024). Study of mechanical properties of starch-based bioplastic reinforced with cellulose. *Research in Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.30595/rice.v3i1.172>
- Kristiningsih, A., Wittriansyah, K., Hastuti, H. D., & Sodikin, J. (2024). Karakteristik fisik bioplastik kitosan dengan penambahan selulosa kulit nipah (*Nypa fruticans*). *Journal of Marine Research*, 13(4), 721–730. <https://doi.org/10.14710/jmr.v13i4.47813>
- Kusumawati, R., Syamdidi, S., Abdullah, A. H. D., & Nissa, R. C. (2025). Physical properties of biodegradable chitosan–starch based bioplastic film. *Science & Technology Indonesia*, 10(1), 191–200. <https://doi.org/10.26554/sti.2025.10.1.191-200>
- Luchese, C., Rodrigues, R., Tessaro, I. (2021). Cassava Starch-Processing Residue Utilization for Packaging Development. *International Journal of Biological Macromolecules*. 183. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.06.029
- Mahatmanti, F.W., Alauhdin, M., Kusumaningrum, S. (2024). Smart and Green Packaging Made from Chitosan-based Biofilm with the Addition of Ginger Oil and Anthocyanins from Butterfly Pea Flower Extract (*Clitoria Ternatea L.*). *Jurnal Kimia Sains & Aplikasi*. 27(2). <https://doi.org/10.14710/jksa.27.2.53-63>

- Rahim, H., Ramadhani, R., Al Adawiyah, S. U., & Lestari, M. F. (2025). Bioplastics from starch with cellulose reinforcement: Optimization and characterization. *Journal of Chemical Process Engineering*, 10(1), 45–53. doi: 10.33096/jcpe.v9i3.1488
- Reza, M. F., Irfan, A., Hakim, M. F., Wicaksono, K. H., Panse, V. R., & Shukla, A. (2025). Fabrication and characterization of environmentally friendly bioplastic film based on chitosan from cassava peel starch. *International Journal of Hydrological and Environmental for Sustainability*, 4(3), 128–134.
- Rahmatullah, R., Putri, R. W., & Musyafa, M. F. (2025). Physical and mechanical properties of starch-based bioplastics reinforced with additives. *Agroindustrial Technology Journal*, 9(2). <https://doi.org/10.21111/atj.v9i2.14928>
- Shavira, O. B., & Fuadi, A. (2021). The effect of glycerol and chitosan variation composition on the quality of biodegradable plastics from sugar palm starch. *CHEMICA: Jurnal Teknik Kimia*.
- Simon, A., Pramitasari, R., Anugrah, D. (2025). Development of Intelligent Packaging Films Utilising Chitosan Derived from Black Soldier Fly Exuviae and Anthocyanin from Red Dragon Fruit Peel for Monitoring Banana Ripeness. *International Journal of Biological Macromolecules*. 319(3). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.145610>
- Unawahi, S., Widiasanti, A., Rahimah, S. (2022). Ekstraksi Antosianin Bunga Telang (*Clitoria ternatea* Linn) dengan Metode Ultrasonik Menggunakan Pelarut Aquades dan Asam Asetat. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*. 10(1). <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2022.010.01.01>
- Waluyo, J., Purba, I. T., Sani, K. Q., et al. (2024). Bioplastic from cellulose/chitosan/starch: Optimization of mechanical properties. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 40(3), 259–282. <https://doi.org/10.1177/87560879231226442>
- Xiao, D. (2025). Research on the Application of Female Cosmetic Packaging Design Based on Multi-sensory Concepts : A Thematic Review. *Journal of Humanities, Arts and Social*. 9(7), 1448 – 1455. doi: 10.26855/jhass.2025.07.030
- Zhang, K., Zhang, Z., Zhao, M. (2022). Low-pressure Plasma Modification of the Rheological Properties of Tapioca Starch. *Food Hydrocolloids*. 125. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107380>