

Biopolymers of Chitosan-Anthocyanin From Purple Sweet Potatoes (*Ipomoea Batatas* L.) Extract and Their Interaction with Formalin

Riska Putri Mawarni✉, F. Widhi Mahatmanti, Harjono, dan Mohammad Alauhdin

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima: 26-04-2024

Disetujui: 29-04-2024

Dipublikasikan: 27-05-2024

Keywords:

Antosianin

Biopolimer

Formalin

Kitosan

Ubi Jalar Ungu

Abstrak

Ubi jalar ungu merupakan salah satu sumber antosianin yang potensial. Antosianin dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang antara lain sebagai sensor. Biopolimer kitosan memungkinkan untuk diformulasi dengan antosianin karena memiliki sifat *biodegradable*, *anti microbial*, dan tidak menghambat perubahan warna dari antosianin. Penelitian ini bertujuan untuk preparasi antosianin dari ubi jalar ungu, memformulasi biopolimer kitosan-antosianin (BKA), dan menguji pengaruh waktu dan konsentrasi formalin terhadap perubahan warna pada BKA. Hasil penelitian menunjukkan: 1) ekstrak antosianin (TAC) dari ubi jalar ungu sebesar 852 mg/L dengan monomer antosianin (*cyanidin*) sebesar 443,03 mg/500 g atau 88,61 mg/100g. Ekstrak antosianin pada pH 1-12 memiliki warna merah hingga kuning kecokelatan; 2) BKA berhasil diformulasi dengan ekstrak antosianin ubi jalar ungu, kitosan, dan gliserin. Diperoleh BKA-A dengan kandungan 10 mL ekstrak antosianin dan BKA-B 15 mL ekstrak antosianin; 3) biopolimer yang dihasilkan memiliki karakteristik nilai swelling rata-rata sebesar 444% (BKA-A) dan sebesar 339,5% (BKA-B). Daya simpan dari BKA-B lebih baik daripada BKA-A. Analisis FTIR menunjukkan adanya puncak melebar pada ~ 3336 cm⁻¹ menandakan gugus hidroksil yang melimpah dari ekstrak antosianin; dan 4) hasil uji ANOVA menunjukkan waktu interaksi dan konsentrasi formalin berpengaruh terhadap perubahan warna BKA-A secara parsial, sedangkan perubahan warna BKA-B hanya dipengaruhi oleh waktu interaksi dengan formalin saja.

Abstract

Purple sweet potato is one of the potential sources of anthocyanins. Anthocyanins can be utilized in various fields, such as sensors. Chitosan biopolymer allows formulation with anthocyanins because it possesses biodegradable and antimicrobial properties, and it does not inhibit color changes from anthocyanins. This study aims to prepare anthocyanins from purple sweet potatoes, formulate chitosan-anthocyanin biopolymer (CAB), and test the effect of time and formalin concentration on color changes in CAB. The research results show: 1) anthocyanin extract (TAC) from purple sweet potatoes is 852 mg/L with anthocyanin monomer (*cyanidin*) of 443.03 mg/500 g or 88.61 mg/100g. Anthocyanin extract at pH 1-12 has colors ranging from red to brownish-yellow; 2) CAB was successfully formulated with anthocyanin extract from purple sweet potatoes, chitosan, and glycerin. BKA-A was obtained with a content of 10 mL anthocyanin extract and CAB-B with 15 mL anthocyanin extract; 3) the produced biopolymers have average swelling values of 444% (CAB-A) and 339.5% (CAB-B). The storage time of CAB-B is longer than CAB-A. FTIR analysis showed a broad peak at ~ 3336 cm⁻¹ indicating hydroxyl groups from anthocyanin extract; and 4) ANOVA test results showed that interaction time and formalin concentration affect color changes in CAB-A partially, while color changes in CAB-B are only influenced by interaction time with formalin.

© 2024 Universitas Negeri Semarang

✉ Alamat korespondensi:

Gedung D6 Lantai 2 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229

E-mail: riskaputrimawarni@students.unnes.ac.id

p-ISSN 2252-6951

e-ISSN 2502-6844

Pendahuluan

Antosianin adalah salah satu senyawa flavonoid yang banyak ditemukan dalam berbagai jenis sayuran, buah, dan bunga dan memiliki warna merah hingga biru (Surtikantiet *al.*, 2021). Beberapa sumber antosianin antara lain adalah kubis merah, kentang, *strawberry*, *blackberry*, anggur, kulit buah naga, kulit terong, bunga telang, dan juga ubi jalar ungu (Freemanet *al.*, 2016; Purwaniatiet *al.*, 2020; Setyawan & Hanizar, 2021; Sumiati, 2019; Widyasantiet *al.*, 2018). Antosianin dapat dimanfaatkan dalam berbagai bidang, namun karena sifat antosianin yang tidak stabil dan dapat terdegradasi (Enaruet *al.*, 2021), sehingga pemanfaatan antosianin secara luas membutuhkan bahan lain yang dapat membantu antosianin dalam meminimalisir terjadinya degradasi serta tidak mengganggu kinerja dari antosianin tersebut. Salah satu bahan yang sering digunakan bersamaan dengan antosianin adalah senyawa polisakarida seperti kitosan.

Kitosan merupakan suatu polisakarida biopolimer yang diperoleh dari proses deasetilasi kitin, biasanya diperoleh dari ekstraksi cangkang krustasea, beberapa serangga, dan juga jamur (Pavoniet *al.*, 2019). Pemilihan kitosan sebagai media dalam pembuatan pemanfaatan antosianin dalam berbagai bidang didasarkan pada kitosan yang bersifat antibakterial dan *biodegradable* (Azmyet *al.*, 2019; Mukhtaret *al.*, 2021). Penambahan antosianin pada kitosan, membuat antosianin akan terperangkap dengan kitosan, sehingga kitosan tersebut dapat menjaga keawetan warna dari antosianin dan meminimalisir terjadinya degradasi warna dari antosianin ketika penyimpanan yang lama (Lailaet *al.*, 2020).

Biopolimer kitosan dengan antosianin ini sudah mulai banyak dikembangkan untuk berbagai tujuan, seperti biopolimer kitosan-antosianin tersebut ada yang digunakan sebagai suatu *smart packaging* yang dapat mendeteksi kualitas dari makanan, dengan menunjukkan terjadinya perubahan warna terhadap kualitas makanan, kemudian dimanfaatkan sebagai sensor pH dan juga sebagai indikator asam basa (Abedi-Firoozjahet *al.*, 2022; Lailaet *al.*, 2019; Yong,et *al.*, 2019a).

Biopolimer kitosan-antosianin ini memanfaatkan kemampuan dari antosianin yang dapat berubah warna sesuai dengan kondisi pH yang berbeda. Ketika antosianin mengalami perubahan warna, struktur dari antosianin juga akan mengalami perubahan (Dewi, 2019; Garminiet *al.*, 2021). Antosianin yang berawal dari struktur *flavylium cationi* (merah, pada asam) akan berubah menjadi karbinol *pseudobase* (tidak berwarna, pada kondisi asam lemah), berubah menjadi *quinoidal base* (biru, pada keadaan basa lemah), dan menjadi kalkon (kuning, pada basa kuat) (Yong,et *al.*, 2019a; Zeponet *al.*, 2019; Zhaiet *al.*, 2017).

Ubi jalar ungu menjadi salah satu sayuran yang banyak digunakan pada pengujian formalin, karena kandungan antosianinnya sangat melimpah, mencapai 156 mg/100g sampai 2,27 mg/g (Mulyawantiet *al.*, 2018; Wanget *al.*, 2022). Tidak hanya kandungan antosianin yang tinggi, namun harga dari ubi jalar ungu juga cenderung murah dan mudah ditemukan, sehingga cocok untuk digunakan dalam pengujian kandungan formalin.

Pemanfaatan biopolimer kitosan-antosianin ini sudah banyak dimanfaatkan sebagai pH indikator dan juga sebagai *smart packaging* untuk mendeteksi kesegaran dari bahan pangan. Kedua bentuk pemanfaatan dari biopolimer ini memiliki prinsip yaitu terjadinya perubahan warna yang terjadi pada kondisi pH tertentu. Sifat asam maupun basa yang diakibatkan oleh perubahan kimia akan membuat warna dari antosianin akan mengalami perubahan. Perubahan warna dari antosianin ini juga diikuti oleh perubahan struktur dari antosianin yang mulanya memiliki struktur *flavylium cation*, akan berubah sesuai dengan kondisi pH yang dialaminya. Kemampuan perubahan warna dari antosianin ini juga perlu dilakukan pengujian tidak hanya pada senyawa asam maupun basa, namun juga perlu dilakukan pengujian pada senyawa netral seperti formalin.

Formalin adalah senyawa kimia yang merupakan bentuk cair dari formaldehid, yang memiliki rumus fungsi CH_2O . Formalin banyak dimanfaatkan dalam bidang ilmu pengetahuan, diantaranya digunakan dalam proses preparasi dari preparat dan digunakan untuk mengawetkan suatu spesimen (Rezoanaet *al.*, 2022). Beberapa tahun terakhir, formalin ini banyak ditemukan di dalam bahan pangan sebagai bahan pengawet. Bahan pangan yang sering ditemukan mengandung formalin antara lain adalah tahu, ikan asin, mie basah, dan juga dalam bakso. Penggunaan formalin dalam pangan sudah diatur oleh BPOM, di mana penggunaan formalin dalam bahan pangan dibatasi dalam <35 ppm (BPOM, 2019).

Berdasarkan uraian tersebut, dilakukan pembuatan biopolimer kitosan-antosianin (BKA), dengan menggunakan bahan *biopolymer* bersifat *biodegradable* berupa kitosan yang telah mengandung ekstrak antosianin yang berasal dari ubi jalar ungu. Hasil produk dilakukan karakterisasi dengan FTIR dan diuji dengan *swelling test* untuk mengetahui sifat mekaniknya. Dan hasil produk biopolimer kitosan-antosianin digunakan untuk menguji aktivitas interaksinya dengan menggunakan larutan formalin berbagai konsentrasi. Uji interaksi dengan formalin dilakukan dengan menggunakan aplikasi pembaca warna seperti *color meter*. Melalui aplikasi pembacaan warna *Color meter*, interaksi antara perubahan warna dari antosianin yang terkandung di dalam biopolimer kitosan-antosianin dengan formalin tersebut menghasilkan data yang lebih akurat.

Metode

Alat yang digunakan adalah Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV Mini 124, FTIR Frontier Spotlight 200i Perkin Elmer, Corong pisah, Gelas ukur 100 mL; 1000 mL, Labu ukur 50 mL; 100 mL, Botol kaca, Gelas kimia, Kertas saring, *Aluminium foil*, *Rotary evaporator*, Pipet volume, Pipet tetes, *Ball pipet*, Botol kaca, Kertas saring, *Petri dish* diameter 15 cm, *Magnetic stirrer*, *Hot plate*, Gunting, Neraca analitik, Kaca arloji diameter 8 cm, Spatula, pH meter, dan label.

Bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan alat uji formalin ini antara lain adalah Ubi jalar ungu, Tahu, Aquades, Kitosan, Etanol 96%, Formalin 37% (Merck), HCl 37% (Merck), NaOH (Merck), CH₃COOH (Merck), Gliserin 85% (Merck), KCl (Merk), dan CH₃COONa (Merck).

Variabel bebas pada penelitian ini adalah volume penambahan antosianin ubi jalar ungu ke dalam kitosan, yaitu sebanyak 10 mL dan 15 mL. Variabel terikat pada penelitian ini adalah perubahan warna yang diuji dengan menggunakan aplikasi *Color Meter* pada pengujian formalin, ditunjukkan dengan nilai *a**, *b**, *L**, dan ΔE . Variabel kontrol pada penelitian ini yaitu, hanya menggunakan ubi jalar ungu dan bagian yang digunakan hanya pada bagian daging saja, ubi jalar ungu yang digunakan 500 g, pelarut yang digunakan berupa etanol 96% sebanyak 1L, dan metode ekstraksi yang digunakan adalah maserasi.

Preparasi Ekstrak Antosianin dari Ubi Jalar Ungu

Ubi jalar ungu yang sudah dikupas dan dibersihkan, kemudin dikukus sampai lunak dan selanjutnya dihaluskan. Ubi jalar ungu yang sudah halus dan ditimbang sebanyak 500 gram, kemudian ditempatkan pada wadah tertutup dan ditambahkan dengan 1 L larutan etanol 96% untuk selanjutnya dilakukan proses maserasi. Proses maserasi dilakukan selama 1×24 jam. Hasil campuran kemudian disaring dan filtratnya dipekatkan dengan *rotary evaporator* hingga diperoleh ekstrak yang pekat (Dwiyantiet *al.*, 2018). Hasil ekstrak yang sudah pekat, kemudian diuji kandungan TAC dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

$$TAC = \frac{[(A_{522\text{ nm}} - A_{700\text{ nm}})_{pH=1.0} - (A_{522\text{ nm}} - A_{700\text{ nm}})_{pH=4.5}]Mr \times DF \times 1000}{\epsilon \times L} \quad (1)$$

$$\text{Monomeric anthocyanin} = \frac{[(A_{522\text{ nm}} - A_{700\text{ nm}})_{pH=1.0} - (A_{522\text{ nm}} - A_{700\text{ nm}})_{pH=4.5}]Mr \times DF \times V \times 1000}{\epsilon \times L \times M} \quad (2)$$

Di mana, A adalah Absorbansi; Mr adalah Berat molekul *cyandin-3-glycoside* (449,2 g/mol); DF adalah Faktor kelarutan (100); L adalah Lebar kuvet; ϵ adalah Absorptivitas molar (26,900 L/(mol.cm)); V adalah Volume ekstrak (mL); dan M adalah Massa ekstrak (g) (Leeet *al.*, 2005; Yanet *al.*, 2023).

Formulasi Biopolimer Kitosan-Antosianin Ekstrak Ubi Jalar Ungu

Pembuatan alat uji formalin diawali dengan membuat larutan kitosan *stock*. Preparasi larutan kitosan *stock* dilakukan dengan melarutkan 20 g serbuk kitosan ke dalam larutan asetat (1% v/v) sebanyak 1 L dan dihomogenkan dengan kecepatan konstan yaitu 500 rpm pada suhu 40°C. Larutan kitosan *stock* yang Sudah diperoleh, kemudian diambil 100mL, selanjutnya ditambahkan gliserol sebanyak 1 mL, dan ditambahkan 5 mL antosianin dimasukkan ke dalam larutan dan dihomogenkan. Setelah larutan homogen, selanjutnya dipindahkan pada *petri dish* dengan diameter 15 cm. BKA yang masih dalam bentuk cairan, kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven suhu 120°C. Alat uji formalin yang sudah kering, kemudian dilepaskan dari cetakannya. Alat uji formalin yang telah diperoleh, dibedakan menjadi 2 yaitu alat uji formalin yang mengandung 10 mL antosianin sebagai BKA-A dan alat uji formalin yang mengandung 15 mL antosianin sebagai BKA-B. BKA yang telah diperoleh kemudian, dapat langsung digunakan dalam pengujian dengan cara memotongnya langsung dengan ukuran 2 cm × 2 cm (Mouraet *al.*, 2015; Parket *al.*, 2022; Pramitasariet *al.*, 2022).

Karakterisasi Biopolimer Kitosan-Antosianin

BKA yang telah diperoleh, kemudian dilakukan uji swelling dengan merendam BKA yang telah ditimbang sebelumnya ke dalam aquades selama 30 menit. Setelah 30 menit, BKA dikeringkan dengan kertas saring, dan kemudian ditimbang berat akhir, dan dihitung % swellingnya dengan rumus (3).

$$\text{Swelling (\%)} = \frac{W_0 \times W_f}{W_0} \times 100\% \quad (3)$$

Di mana, W_0 adalah berat kitosan kering (g) dan W_f adalah berat kitosan setelah perendaman (g) (Mohaiyiddinet *al.*, 2018).

Karakterisasi Biopolimer Kitosan-Antosianin dengan FTIR

Karakterisasi alat uji formalin dilakukan dengan menggunakan instrument FTIR. Karakterisasi dilakukan sebanyak 3 kali, yaitu pertama pada larutan kitosan *stock* yang sudah dikeringkan, kedua pada alat uji formalin dengan kandungan 10 mL antosianin, dan yang ketiga dilakukan pada alat uji formalin dengan kandungan 15 mL antosianin.

Interaksi Biopolimer Kitosan-Antosianin Ekstrak Ubi Jalar Ungu dengan Formalin Berbagai Konsentrasi terhadap Waktu

BKA yang telah diperoleh dan dipotong dengan ukuran 2 cm × 2 cm, kemudian digunakan untuk pengujian formalin yang telah dibuat dengan konsentrasi berbeda-beda, yaitu 1000 ppm, 100 ppm, dan 35 ppm. Pengujian dilakukan dengan merendam spesimen ke dalam 5 mL larutan dengan konsentrasi formalin yang berbeda-beda, kemudian perubahan warna yang terjadi diamati dengan color meter pada variasi waktu 15 menit, 30 menit, dan 1 jam (Dewi, 2019). Hasil dari *Color Meter*, kemudian diolah dengan menggunakan *Microsoft excel* untuk mengetahui hubungan antara b^* , a^* , c^* , dan ΔE .

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (4)$$

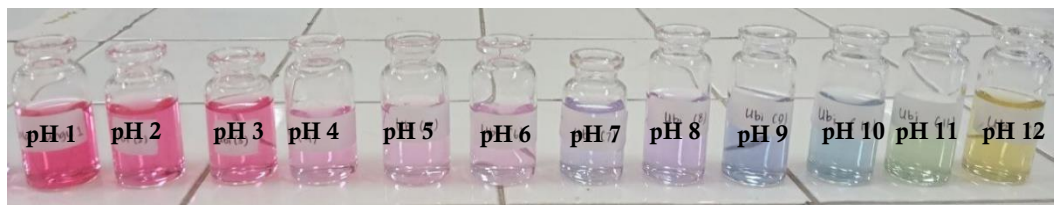
Interaksi antara BKA dengan formain juga diuji dengan metode two way ANOVA menggunakan software SPSS ver.26, untuk mengetahui pengaruh waktu interaksi dengan konsentrasi formalin terhadap perubahan warna dari BKA.

Hasil dan Pembahasan

Pengukuran TAC (*Total Anthocyanin Content*)

Kandungan antosianin ubi jalar ungu yang telah diperoleh dari proses maserasi, dilakukan pengujian kadar antosianinnya untuk mengetahui banyaknya antosianin yang terkandung di dalamnya. Hasil ekstrak antosianin yang telah diuji kandungan antosianinnya dengan menggunakan metode Spektrofotometer UV Vis dengan panjang gelombang 522 nm dan 700 nm, diperoleh hasil pada pH 1 ekstrak antosianin memiliki absorbansi sebesar 0,234 pada 522 nm dan 0,036 pada 700 nm, sedangkan dengan menggunakan pH 4,5 ekstrak antosianin memiliki absorbansi sebesar 0,087 pada 522 nm dan 0,039 pada 700 nm. Hasil pengujian ekstrak antosianin dengan UV Vis yang telah diperoleh, kemudian dilakukan perhitungan sesuai pada rumus di atas, diketahui bahwa kandungan antosianin dari ubi jalar ungu termasuk dalam golongan tumbuhan memiliki TAC yang cukup tinggi, yaitu mencapai 852 mg/L dengan monomer antosianin (*cyanidin*) yang mencapai 443,03 mg/500 g atau 88,61 mg/100g.

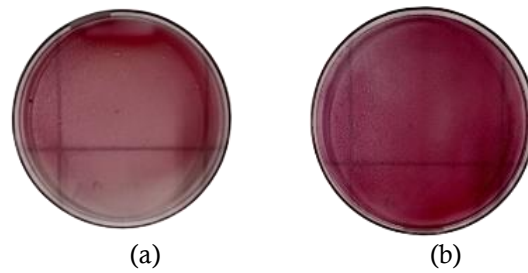
Hasil ekstrak antosianin ubi jalar ungu juga dilakukan pengamatan perubahan warnanya dengan menguji menggunakan larutan buffer dengan pH 1 – 12. Perubahan warna yang terjadi dapat dilihat pada Gambar 1. Warna ekstrak antosianin dari ubi jalar ungu berwarna merah ketika dalam keadaan asam dan akan berwarna kebiruan hingga kuning kecokelatan ketika dalam keadaan basa. Perubahan warna yang terjadi pada ekstrak antosianin ini dipengaruhi oleh pH dari larutan buffer yang digunakan, yang berdampak pada perubahan struktur dari antosianin, yang berdampak terhadap perubahan warna pada ekstrak antosianin. Menurut (Enaruet *al.*, 2021) antosianin pada keadaan asam pH = 1, memiliki antosianin ditemukan dalam bentuk kation *flavylium*, pada pH 2-4, dalam bentuk spesi *quinoidal blue*, sedangkan pada pH 5-6, terdapat karbinol dan kalkon, yang tidak berwarna. Pada pH >7, antosianin akan terdegradasi sesuai dengan gugus substituen.



Gambar 1. Ekstrak antosianin ubi jalar ungu pada pH 1-12

Biopolimer Kitosan-Antosianin dan Karakteristiknya

Pembuatan BKA dilakukan dengan penambahan gliserin ke dalam 100 mL larutan kitosan *stock* yang telah dibuat sebelumnya dan diberi tambahan ekstrak antosianin dari ubi jalar ungu sebanyak 10 mL (BKA-A) dan 15 mL (BKA-B). Kedua BKA yang telah diperoleh, memiliki warna yang keduanya cenderung memiliki warna yang relatif hampir sama.



Gambar 2. BKA-A(a) dan BKA-B(b)

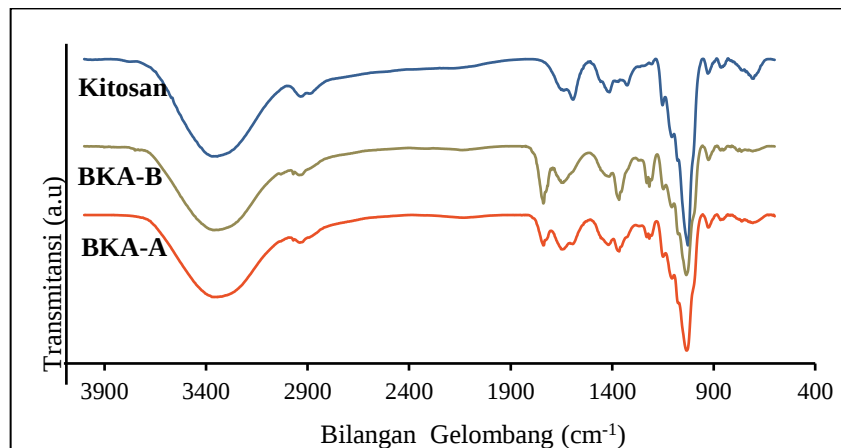
Penambahan antosianin dari ekstrak ubi jalar ungu ke dalam kitosan dalam proses pembuatan BKA, tidak mengalami reaksi kimia. Kitosan yang merupakan suatu biopolimer dan antosianin sebagai suatu senyawa alami, tidak akan mengalami reaksi kimia atau perubahan struktur ketika keduanya dicampurkan tanpa adanya *crosslinking agent* yang ditambahkan. Meskipun tidak terjadi reaksi kimia atau perubahan struktur molekul, namun campuran dari kitosan dan antosianin akan mengalami proses adsorpsi fisik. Adsorpsi fisik yang terjadi pada alat uji formalin ini dapat diketahui melalui hasil karakterisasi dengan menggunakan FTIR, yang ditandai dengan adanya perbedaan dari puncak-puncak gugus fungsi yang terlihat pada pada bilangan gelombang tertentu dari kitosan dan BKA yang telah diperoleh (Carvalho *et al.*, 2022).

Uji pengembangan atau *swelling test* yang dilakukan pada kedua BKA, diperoleh hasil BKA-A memiliki % *swelling* rata-rata 444% dan BKA-B sebesar 339,5%. Kemampuan penyerapan air atau *swelling* dari BKA selain dipengaruhi oleh jenis pelarut yang digunakan dalam *swelling test*, namun juga dapat dipengaruhi oleh gugus fungsi yang dimiliki oleh kitosan, yaitu berupa gugus hidroksil, amino, dan karboksil (Şalva *et al.*, 2023).

Kemampuan penyerapan atau % *swelling* yang tinggi akan mempengaruhi daya simpan dari BKA dan dapat berdampak pada stabilitas dari BKA. Semakin tinggi % *swelling*, maka BKA akan cenderung mudah lembab. Kelembaban tersebut akan dapat memicu tumbuhnya jamur pada BKA (Tariq *et al.*, 2023; Thakur *et al.*, 2019). Pada penyimpanan dan durasi simpan yang sama yaitu ± 24 hari, kualitas dari BKA-A ini sudah mulai berkurang yang ditandai dengan adanya pertumbuhan dari jamur, sedangkan pada BKA-B belum terlihat adanya pertumbuhan jamur. Faktor yang mempengaruhi adanya pertumbuhan jamur pada BKA adalah karakteristik BKA yang mudah lembab karena kemampuan penyerapannya dan adanya kandungan bahan alam yaitu antosianin dalam BKA, namun antosianin diketahui memiliki sifat *anti microbial* dan dapat menghambat pertumbuhan bakteri, sehingga semakin banyak antosianin yang digunakan dapat mencegah pertumbuhan dari jamur pada BKA (Wang *et al.*, 2023b; Wen *et al.*, 2016). Berdasarkan kemampuan antimicrobial dari antosianin tersebut, sehingga BKA-A yang mengandung lebih sedikit antosianin lebih cepat berjamur dibandingkan dengan BKA-B yang mengandung lebih banyak antosianin di dalamnya.

Karakterisasi Alat Uji Formalin dengan FTIR

Interaksi antara kitosan dengan penambahan antosianin pada BKA, mengakibatkan adanya perbedaan gugus fungsi antara kitosan dengan BKA yang merupakan campuran dari kitosan dengan antosianin. Perbedaan gugus fungsi yang terlihat pada kitosan dengan BKA dapat dilihat pada hasil karakterisasi dengan menggunakan FTIR pada Gambar 3.



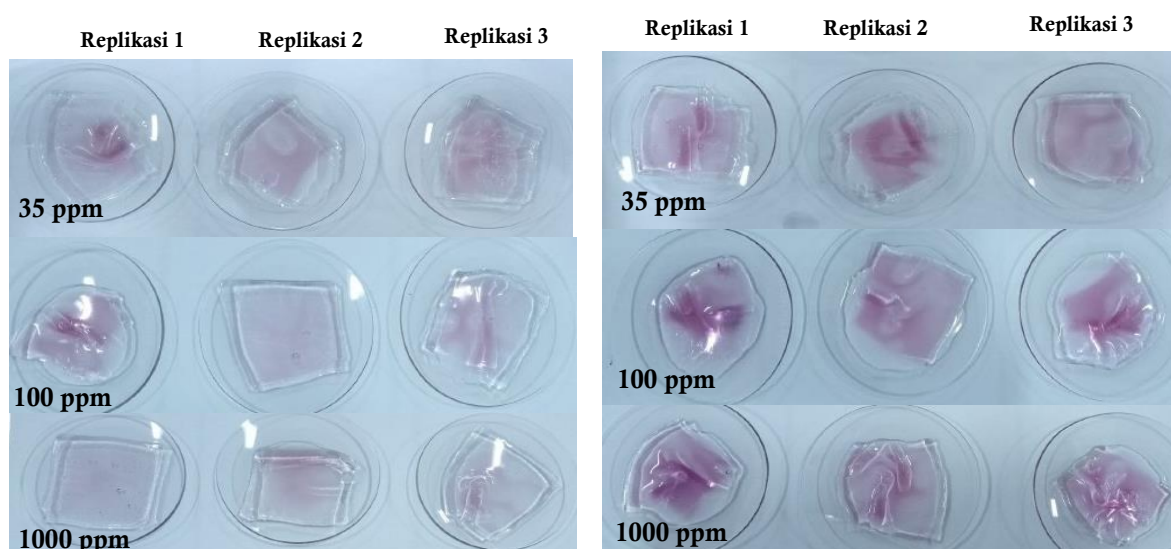
Gambar 3. Grafik FTIR dari Kitosan dan BKA

Dari Gambar 3 diketahui bahwa dari ketiga hasil pengukuran dengan menggunakan FTIR, memiliki puncak-puncak yang cenderung sama antara satu sama lain. Hasil FTIR ketiganya memiliki puncak pada bilangan gelombang 1035 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus fungsi karbonil ($\text{C}=\text{O}$), puncak pada $\sim 2930\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya $-\text{CH}_2$, $\sim 3336\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya pita serapan yang *overlapping* antara gugus $-\text{NH}_2$ dan hidroksil ($-\text{OH}$). Pada kitosan juga terlihat adanya puncak pada bilangan gelombang 1419 cm^{-1} , yang menandakan adanya gugus karbonil ($\text{C}=\text{O}$) dan pada bilangan gelombang 1588 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus amida ($-\text{CONH}_2$), N-H, dan C-N. (Merzet *al.*, 2020; Yonget *al.*, 2019a; Yonget *al.*, 2019b).

Penambahan antosianin pada kitosan, akan membuat BKA yang telah diperoleh memiliki perbedaan pada puncak-puncak serapan. Terlihat pada puncak $\sim 3336\text{ cm}^{-1}$, pada BKA-A dan BKA-B agak melebar dan pita serapan dari N-H menurun dibandingkan pada kitosan, yang menandakan adanya pembentukan interaksi intermolekular antara kitosan (seperti gugus hidroksil/ gugus amino) dengan antosianin pada BKA (seperti gugus hidroksil) (Yonget *al.*, 2019b). Perbedaan puncak serapan juga terlihat pada bilangan gelombang $\sim 1744\text{ cm}^{-1}$ dan 1641 cm^{-1} yang menandakan adanya gugus fungsi $\text{C}=\text{O}$ dan $\text{C}=\text{C}$, yang membuktikan adanya kandungan antosianin di dalam BKA, sesuai dengan struktur BKA yang memiliki cincin aromatik. Puncak serapan juga terlihat pada bilangan gelombang $\sim 1365\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan gugus fungsi C-H (Bharitaet *al.*, 2019; Carvalhoet *al.*, 2019; Jayakumaret *al.*, 2023; Merzet *al.*, 2020; Mohammadalinejadet *al.*, 2020).

Interaksi Biopolimer Kitosan-Antosianin dengan Formalin Berbagai Konsentrasi dan Waktu

Interaksi BKA dengan larutan formalin dilakukan dengan menggunakan larutan formalin dengan konsentrasi 1000; 100; dan 35 ppm, dengan volume 5 mL setiap kali pengujian. Warna dari BKA yang dilakukan interaksi dengan formalin akan memudar, seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Visualisasi BKA-A dan BKA-B pada Larutan Formalin Berbagai Konsentrasi pada 60 menit

Interaksi antara BKA dengan larutan formalin pada beberapa konsentrasi diukur dengan menggunakan aplikasi *Color meter*. Hasil pengukuran dalam bentuk L^* , a^* , dan b^* , ditabulasikan dan dilakukan perhitungan ΔE . Nilai ΔE digunakan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi formalin dan waktu interaksi terhadap kualitas biopolimer. Dalam kurun waktu pengujian, biopolimer mengalami degradasi warna menjadi lebih muda jika dibandingkan dengan kondisi awal sebelum dinteraksikan dengan formalin. Visualisasi hasil pengujian BKA-A dan BKA-B dapat dilihat pada Gambar 4. Untuk mengetahui pengaruh konsentrasi formalin dan waktu interaksi terhadap perubahan warna pada BKA dilakukan uji ANOVA dua jalur.

Pengaruh Konsentrasi Formalin dan Waktu Interaksi terhadap Perubahan Warna (ΔE) pada Biopolimer BKA-A

Pengujian pengaruh variabel konsentrasi formalin dan waktu interaksi terhadap perubahan warna biopolimer BKA-A diawali dengan uji normalitas dan uji homogenitas data. Hasil uji normalitas data menunjukkan data ΔE BKA-A berdistribusi normal berdasarkan *Output* uji Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk dengan SPSS baik untuk data pengaruh konsentrasi formalin maupun data pengaruh waktu interaksi. Berdasarkan Tabel 2, seluruh hasil pengujian normalitas data menunjukkan nilai *sig.* > 0,05 atau dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal, sehingga prasyarat uji ANOVA terpenuhi.

Tabel 2. *Output* SPSS Uji Normalitas Data ΔE Biopolimer BKA-A

		<i>Tests of Normality #1</i>					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Konsentrasi_Formalin		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Delta_E	35 ppm	.176	9	.200*	.942	9	.608
	100 ppm	.226	9	.200*	.904	9	.276
	1000 ppm	.231	9	.181	.845	9	.066

*. *This is a lower bound of the true significance.*

a. *Lilliefors Significance Correction*

		<i>Tests of Normality #2</i>					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
Waktu_interaksi		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Delta_E	15 Menit	.162	9	.200*	.948	9	.672
	30 Menit	.240	9	.144	.859	9	.094
	60 Menit	.205	9	.200*	.885	9	.178

*. *This is a lower bound of the true significance.*

a. *Lilliefors Significance Correction*

Uji prasyarat selanjutnya sebelum pengujian ANOVA adalah uji homogenitas data ΔE Biopolimer BKA-A. Hasil pengujian menggunakan metode *Lavene Test* seperti ditunjukkan pada Tabel 3 diperoleh nilai *sig.* sebesar 0,121 atau nilai *sig.* > 0,05. *Output* uji *Lavene's* ini memberikan informasi bahwa masing-masing varian dari variabel terikat adalah sama atau homogen (Agarwalla *et al.*, 2021). Varian data yang homogen ini memastikan syarat dalam uji ANOVA dua jalur terpenuhi, sehingga pengujian selanjutnya dapat dilakukan.

Tabel 3. *Output* SPSS untuk Uji Homogenitas Data
#1 *Levene's Test of Equality of Error Variances^a*

Dependent Variable: Delta_E			
F	df1	df2	Sig.
1.912	8	18	.121

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. *Design: Intercept + Konsentrasi_Formalin + Waktu_interaksi + Konsentrasi_Formalin * Waktu_interaksi*

Hasil pengujian ANOVA dua jalur data perubahan warna biopolimer BKA-A menunjukkan konsentrasi formalin dan waktu interaksinya berpengaruh terhadap nilai ΔE . Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4, diketahui bahwa perubahan warna biopolimer BKA-A secara signifikan dipengaruhi oleh konsentrasi formalin (nilai *sig.* sebesar $0,002 < 0,05$). Waktu interaksi biopolimer BKA-A dengan formalin juga terbukti berpengaruh signifikan terhadap perubahan warna biopolimer dengan nilai *sig.* sebesar $0,001 < 0,05$. Namun demikian, berdasarkan *Output* yang sama, konsentrasi formalin dan waktu interaksinya dengan biopolimer BKA-A secara bersama-sama tidak berpengaruh terhadap perubahan warna biopolimer, ditunjukkan dengan nilai *sig.* sebesar $0,225 > 0,05$.

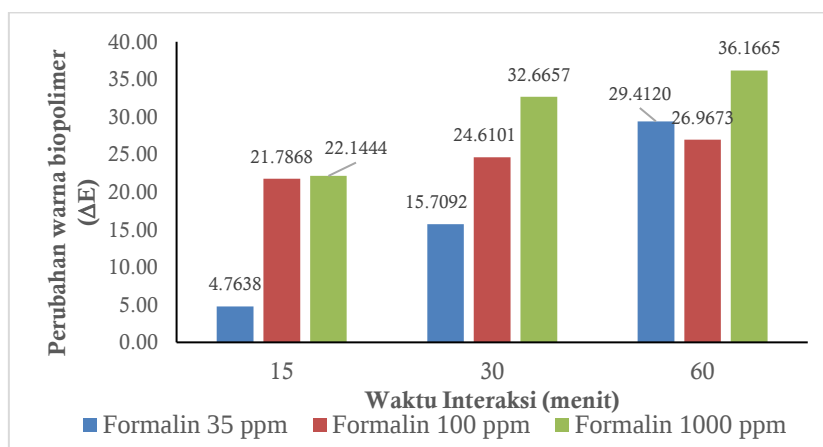
Tabel 4. Output SPSS untuk Uji Pengaruh Variabel
Tests of Between-Subjects Effects #1

Dependent Variable: Delta_E

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2125.042 ^a	8	265.630	5.387	.001
Intercept	15297.545	1	15297.545	310.242	.000
Konsentrasi_Formalin	849.999	2	424.999	8.619	.002
Waktu_interaksi	965.177	2	482.589	9.787	.001
Konsentrasi_Formalin * Waktu_interaksi	309.866	4	77.467	1.571	.225
Error	887.551	18	49.308		
Total	18310.138	27			
Corrected Total	3012.593	26			

a. R Squared = .705 (Adjusted R Squared = .574)

Interaksi biopolimer BKA-A dengan formalin berdasarkan hasil pengujian statistik cukup jelas memberikan informasi bahwa konsentrasi formalin dan waktu interaksi secara parsial terbukti memberikan pengaruh terhadap perubahan warna pada matrik biopolimer BKA-A. Perbedaan perubahan warna antar variasi perlakuan merupakan hasil dari interaksi antara matrik biopolimer dengan formalin yang mencerminkan dinamika pada struktur molekul biopolimer yang tersusun atas matrik kitosan dan antosianin. Degradasi warna biopolimer BKA-A lebih dominan menjadi indikasi penurunan konsentrasi antosianin dalam matrik BKA-A. Penurunan ini diduga sebanding dengan konsentrasi formalin. Semakin besar konsentrasi formalin yang berinteraksi dengan BKA-A, maka nilai ΔE semakin besar yang menandakan terjadi proses degradasi warna sekaligus menandakan adanya penurunan konsentrasi antosianin dalam matrik BKA-A. Pola pengaruh konsentrasi formalin dan waktu interaksinya dengan BKA-A ditunjukkan pada Gambar 5.

**Gambar 5.** Grafik pengaruh waktu interaksi dan konsentrasi formalin terhadap rata-rata perubahan warna biopolimer BKA-A

Pengaruh waktu interaksi biopolimer BKA-A dengan beberapa konsentrasi formalin berdasarkan Gambar 5 cenderung konsisten meningkat. Waktu interaksi yang semakin lama berdampak pada nilai ΔE yang semakin besar, artinya terjadi proses degradasi warna antosianin yang semakin besar. Secara parsial, terbukti ada pola penurunan visual warna atau peningkatan ΔE seiring dengan waktu interaksi biopolimer BKA-A dengan formalin. Namun demikian, data interaksi 60 menit menunjukkan terjadinya anomali perilaku degradasi warna biopolimer dibandingkan waktu interaksi 15 dan 30 menit. Terdapat penurunan nilai ΔE pada konsentrasi formalin 100 ppm jika dibandingkan pada penggunaan formalin dengan konsentrasi 35 ppm. Belum ditemukan referensi yang cukup kuat untuk menjelaskan fenomena ini, tetapi secara umum, hal tersebut bisa saja disebabkan oleh faktor lain dalam proses penelitian ini yang kurang diperhatikan oleh peneliti.

Pengaruh Konsentrasi Formalin dan Waktu Interaksi terhadap Perubahan Warna (ΔE) pada Biopolimer BKA-B

Selaras dengan model pengujian terhadap biopolimer BKA-A, pada bagian ini dilanjutkan dengan pengujian untuk biopolimer BKA-B. Pengujian pengaruh variabel konsentrasi formalin dan waktu interaksi terhadap perubahan warna biopolimer BKA-B diawali dengan uji normalitas dan uji homogenitas data. Hasil uji normalitas data menunjukkan data ΔE BKA-B berdistribusi normal berdasarkan *Output* uji Kolmogorov-Smirnov dan Shapiro-Wilk dengan SPSS baik untuk data pengaruh konsentrasi formalin maupun data pengaruh waktu interaksi. Berdasarkan Tabel 5, seluruh hasil pengujian normalitas data menunjukkan nilai sig. > 0,05 atau dapat disimpulkan bahwa data berdistribusi normal, sehingga prasyarat uji ANOVA terpenuhi.

Tabel 5. *Output* SPSS Uji Normalitas Data ΔE Biopolimer BKA-B

Tests of Normality #3							
Konsentrasi_Formalin		Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Delta_E	35 ppm	.193	9	.200*	.890	9	.199
	100 ppm	.213	9	.200*	.891	9	.205
	1000 ppm	.184	9	.200*	.907	9	.296

*. This is a lower bound of the true significance.
Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality #4							
Waktu_interaksi		Kolmogorov-Smirnova			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Delta_E	15 Menit	.248	9	.116	.897	9	.235
	30 Menit	.160	9	.200*	.947	9	.656
	60 Menit	.166	9	.200*	.963	9	.830

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Uji prasyarat selanjutnya sebelum pengujian ANOVA adalah uji homogenitas data ΔE Biopolimer BKA-B. Hasil pengujian menggunakan metode *Lavene Test* seperti ditunjukkan pada Tabel 6 diperoleh nilai sig. sebesar 0,084 atau nilai sig. > 0,05. *Output* uji *Lavene's* ini memberikan informasi bahwa masing-masing varian dari variabel terikat yaitu data perubahan warna biopolimer BKA-B adalah sama atau homogen (Agarwalla *et al.*, 2021). Varian data yang homogen ini memastikan syarat dalam uji ANOVA dua jalur terpenuhi, sehingga pengujian hipotesis selanjutnya dapat dilakukan.

Tabel 6. *Output* SPSS untuk Uji Homogenitas Data
#2 Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: Delta_E

F	df1	df2	Sig.
2.156	8	18	.084

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + Konsentrasi_Formalin + Waktu_interaksi + Konsentrasi_Formalin * Waktu_interaksi

Tabel 7. *Output* SPSS untuk Uji Pengaruh Variabel
Tests of Between-Subjects Effects #2

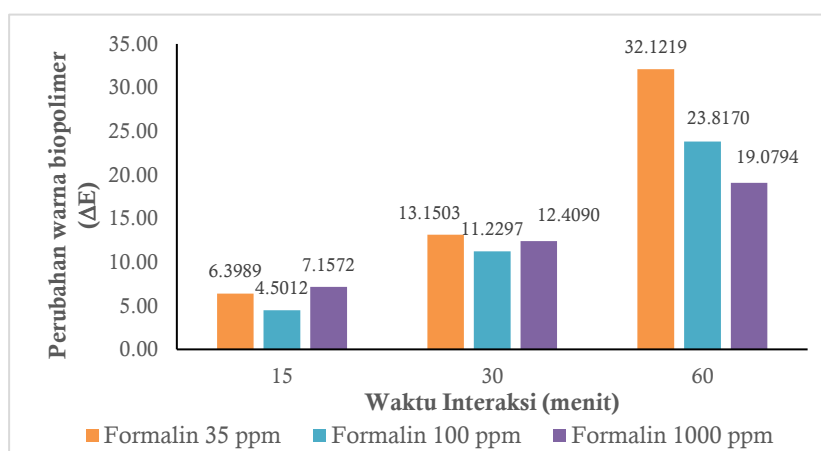
Dependent Variable: Delta_E

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1964.021 ^a	8	245.503	13.968	.000
Intercept	5621.605	1	5621.605	319.851	.000
Konsentrasi_Formalin	105.816	2	52.908	3.010	.075
Waktu_interaksi	1685.638	2	842.819	47.954	.000
Konsentrasi_Formalin * Waktu_interaksi	172.567	4	43.142	2.455	.083
Error	316.363	18	17.576		
Total	7901.988	27			
Corrected Total	2280.383	26			

a. R Squared = .861 (Adjusted R Squared = .800)

Hasil pengujian ANOVA dua jalur data perubahan warna biopolimer BKA-B menunjukkan konsentrasi formalin dan waktu interaksinya berpengaruh terhadap nilai ΔE . Berdasarkan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 7, diketahui bahwa perubahan warna biopolimer BKA-B secara signifikan tidak dipengaruhi oleh konsentrasi formalin (nilai *sig.* sebesar $0,075 > 0,05$). Selanjutnya, berdasarkan *Output* yang sama, konsentrasi formalin dan waktu interaksinya dengan biopolimer BKA-B secara bersama-sama dan signifikan juga tidak berpengaruh terhadap perubahan warna biopolimer, ditunjukkan dengan nilai *sig.* sebesar $0,083 > 0,05$. Tetapi, waktu interaksi biopolimer BKA-B dengan formalin terbukti berpengaruh signifikan terhadap perubahan warna biopolimer dengan nilai *sig.* sebesar $0,000 < 0,05$. Hasil ini sedikit berbeda jika dibandingkan dengan hasil pada pengujian biopolimer BKA-A.

Pengaruh waktu interaksi biopolimer BKA-B dengan beberapa konsentrasi formalin dapat dilihat pada Gambar 6. Diketahui bahwa, perubahan warna yang terjadi konsisten meningkat untuk aspek waktu interaksi secara parsial. Waktu interaksi biopolimer BKA-B dengan formalin yang semakin lama berdampak pada nilai ΔE yang semakin besar, artinya terjadi proses degradasi warna antosianin yang semakin besar. Lebih lanjut, meskipun secara parsial nampak ada pola penurunan visual warna atau peningkatan ΔE akibat interaksi biopolimer BKA-B dengan beberapa konsentrasi formalin, tetapi dalam satu kelompok/grup waktu interaksi tertentu, faktor konsentrasi formalin menghasilkan dampak yang tidak konsisten terhadap perubahan warna atau nilai ΔE biopolimer BKA-B.



Gambar 6. Grafik pengaruh waktu interaksi dan konsentrasi formalin terhadap rata-rata perubahan warna biopolimer BKA-B

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh simpulan bahwa ekstrak antosianin berhasil diekstraksi dari ubi jalar ungu memiliki kandungan antosianin total atau TAC sebesar 852 mg/L dengan monomer antosianin (*cyandin*) sebesar 443,03 mg/500 g atau 88,61 mg/100g. Ekstrak antosianin pada pH 1-12 memiliki spektrum warna dari merah hingga kuning kecokelatan. Biopolimer kitosan-antosianin (BKA) berhasil diformulasi dengan bahan aktif ekstrak antosianin ubi jalar ungu, kitosan, dan gliserin. Formulasi menghasilkan varian BKA-A dengan bahan aktif 10mL antosianin dan BKA-B dengan bahan aktif 15mL antosianin. Biopolimer yang dihasilkan memiliki karakteristik nilai swelling rata-rata sebesar 444% (BKA-A) dan sebesar 339,5% (BKA-B). Daya simpan BKA-B lebih baik daripada BKA-A karena mudah ditumbuhi jamur. Analisis spektra FTIR menunjukkan adanya puncak yang melebar pada $\sim 3336 \text{ cm}^{-1}$ menandakan gugus hidroksil yang melimpah dari antosianin. Hasil uji ANOVA menunjukkan waktu interaksi dan konsentrasi formalin berpengaruh terhadap perubahan warna biopolimer BKA-A secara parsial, sedangkan perubahan warna biopolimer BKA-B hanya dipengaruhi oleh waktu interaksinya dengan formalin pada berbagai konsentrasi.

Daftar Referensi

- Agarwalla, S. V., Ellepola, K., Silikas, N., Castro Neto, A., Seneviratne, C. J., & Rosa, V. (2021). Persistent inhibition of *Candida albicans* biofilm and hyphae growth on titanium by graphene nanocoating. *Dental Materials*, 37(2), 370–377. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2020.11.028>
- Azmy, E. A. M., Hashem, H. E., Mohamed, E. A., & Negm, N. A. (2019). Synthesis, Characterization, Swelling and Antimicrobial Efficacies of Chemically Modified Chitosan Biopolymer. *Journal of Molecular Liquids*, 284, 748–754. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.04.054>

- Bharita, W. G., Patria, A., Yunita, D., Studi, P., Hasil, T., & Kuala, U. S. (2019). *Kitosan dari Kulit Udang sebagai Pendeteksi Bahan Berbahaya Borak pada Mie Basah, Formalin pada Tahu dan Merkuri pada Ikan Segar*. 4(1), 547–557.
- BPOM RI. (2019). *Formaldehida Dalam Pangan Olahan Yang Terbentuk Karena Proses* (p. 3).
- Cai, Z., Qu, Z., Lan, Y., Zhao, S., Ma, X., Wan, Q., Jing, P., & Li, P. (2016). Conventional, ultrasound-assisted, and accelerated-solvent extractions of anthocyanins from purple sweet potatoes. *Food Chemistry*, 197, 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.110>
- Carvalho, V. V. L., Gonçalves, J. O., Silva, A., Cadaval, T. R., Pinto, L. A. A., & Lopes, T. J. (2019). Separation of anthocyanins extracted from red cabbage by adsorption onto chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131, 905–911. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.145>
- Carvalho, V. V. L., Pinto, D., Salau, N. P. G., Pinto, L. A. A., Cadaval, T. R. S., Silva, L. F. O., Lopes, T. J., & Dotto, G. L. (2022). Modeling of anthocyanins adsorption onto chitosan films: An approach using the pore volume and surface diffusion model. *Separation and Purification Technology*, 292(March). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121062>
- Dewi, S. R. (2019). Identifikasi Formalin Pada Makanan Menggunakan Ekstrak Kulit Buah Naga. *Jurnal Nasional Ilmu Kesehatan*, 1(2), 1–16.
- Dwiyantri, G., Siswaningsih, W., & Febrianti, A. (2018). Production of Purple Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.) Juice Having High Anthocyanin Content and Antioxidant Activity. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1013/1/012194>
- Enaru, B., Dreţcanu, G., Pop, T. D., Stănilă, A., & Diaconeasa, Z. (2021). Anthocyanins: Factors Affecting Their Stability and Degradation. *Antioxidants*, 10(12), 1–24. <https://doi.org/10.3390/antiox10121967>
- Firoozjah, R. A., Yousefi, S., Heydari, M., Seyedfatehi, F., Jafarzadeh, S., Mohammadi, R., Rouhi, M., & Garavand, F. (2022). Application of Red Cabbage Anthocyanins as pH-Sensitive Pigments in Smart Food Packaging and Sensors. *Polymers*, 14(8). <https://doi.org/10.3390/polym14081629>
- Freeman, B. B., Sandhu, A., & Edirisinghe, I. (2016). Anthocyanins. In *Nutraceuticals* (pp. 489–500). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00035-8>
- Garmini, R., & Nengria, A. (2021). Pada Mie Basah Menggunakan Ekstrak Ubi Jalar Ungu (*Ipomoea batatas* L.) Di Pasar Tradisional Desa Niru Muara Enim. *Jurnal Delima Harapan*, 8(2), 14–20. <https://doi.org/10.31935/delima.v8i2.125>
- Jayakumar, A., Radoor, S., Shin, G. H., Siengchin, S., & Kim, J. T. (2023). Active and intelligent packaging films based on PVA/Chitosan/Zinc oxide nanoparticles/Sweet purple potato extract as pH sensing and antibacterial wraps. *Food Bioscience*, 56(September), 103432. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103432>
- Laila, U., Rochmadi, & Pudjiraharti, S. (2019). Microencapsulation of purple-fleshed sweet potato anthocyanins with Chitosan-sodium tripolyphosphate by using emulsification-crosslinking technique. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 51(1), 29–46. <https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2019.51.1.3>
- Laila, U., Rochmadi, R., Pudjiraharti, S., Nurhayati, R., Herawati, E. R. N., Ariani, D., & Khasanah, Y. (2020). Stability of Chitosan-Tripolyphosphate Complex-Encapsulated Anthocyanin At High Water Activity. *Jurnal Teknologi Dan Industri Pangan*, 31(2), 171–179. <https://doi.org/10.6066/jtip.2020.31.2.171>
- Lee, J., Durst, R. W., & Wrolstad, R. E. (2005). Determination of total monomeric anthocyanin pigment content of fruit juices, beverages, natural colorants, and wines by the pH differential method: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 88(5), 1269–1278. <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.5.1269>
- Merz, B., Capello, C., Leandro, G. C., Moritz, D. E., Monteiro, A. R., & Valencia, G. A. (2020). A novel colorimetric indicator film based on chitosan, polyvinyl alcohol and anthocyanins from jambolan (*Syzygium cumini*) fruit for monitoring shrimp freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 625–632. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.048>
- Mohammadalinejad, S., Almasi, H., & Moradi, M. (2020). Immobilization of Echium amoenum anthocyanins into bacterial cellulose film: A novel colorimetric pH indicator for freshness/spoilage

- monitoring of shrimp. *Food Control*, 113(February), 107169. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107169>
- Moura, J. M., Farias, B. S., Rodrigues, D. A. S., Moura, C. M., Dotto, G. L., & Pinto, L. A. A. (2015). Preparation of Chitosan with Different Characteristics and Its Application for Biofilms Production. *Journal of Polymers and the Environment*, 23(4), 470–477. <https://doi.org/10.1007/s10924-015-0730-y>
- Mukhtar, M., Fényes, E., Bartos, C., Zeeshan, M., & Ambrus, R. (2021). Chitosan biopolymer, its derivatives and potential applications in nano-therapeutics: A comprehensive review. *European Polymer Journal*, 160(August). <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2021.110767>
- Mulyawanti, I., Budijanto, S., & Yasni, S. (2018). Stability of Anthocyanin During Processing, Storage And Simulated Digestion of Purple Sweet Potato Pasta. *Indonesian Journal Of Agricultural Science*, 19(1), 1–8.
- Park, K. J., Lee, J. S., Jo, H. J., Kim, E. S., & Lee, H. G. (2022). Antimicrobial and indicator properties of edible film containing clove bud oil-loaded chitosan capsules and red cabbage for fish preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 196(December 2021), 163–171. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.12.027>
- Pavoni, J. M. F., Luchese, C. L., & Tessaro, I. C. (2019). Impact of acid type for chitosan dissolution on the characteristics and biodegradability of cornstarch/chitosan based films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 138, 693–703. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.089>
- Pramitasari, R., Gunawicahya, L. N., & Anugrah, D. S. B. (2022). Development of an Indicator Film Based on Cassava Starch–Chitosan Incorporated with Red Dragon Fruit Peel Anthocyanin Extract. *Polymers*, 14(19), 1–16. <https://doi.org/10.3390/polym14194142>
- Purwaniati, P., Arif, A. R., & Yuliantini, A. (2020). Analisis Kadar Antosianin Total pada Sediaan Bunga Telang (*Clitoria Ternatea*) dengan Metode pH Diferensial Menggunakan Spektrofotometri Visible. *Jurnal Farmagazine*, 7(1), 18. <https://doi.org/10.47653/farm.v7i1.157>
- Rezoana, R., Akter, L., Islam, R., Bhakta, S., Ayman, U., Rabiul Karim, M., & Haque, Z. (2022). The hazardous effects of formalin and alcoholic fixative in mice: A public health perspective study. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(5), 3366–3371. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.019>
- Şalva, E., Akdağ, A. E., Alan, S., Arisoy, S., & Akbuğa, F. J. (2023). Evaluation of the Effect of Honey-Containing Chitosan/Hyaluronic Acid Hydrogels on Wound Healing. *Gels*, 9(11), 856. <https://doi.org/10.3390/gels9110856>
- Setyawan, A., & Hanizar, E. (2021). Deteksi Formalin Pada Ikan Asin Menggunakan Ubi Jalar Ungu (*Ipomea batatas* L.). *Saintifika Jurnal Ilmu Pendidikan MIPA Dan MIPA*, 23(2), 33–41.
- Sumiati. (2019). Purple Cabbage Extracts (*Brassicca oleracea* L.) as Tofu's Formalin Indicators. *Integrated Lab Journal ISSN*, 07, 44–55.
- Surtikanti, H. K., Munawaroh, H. S. H., & Budiawati, U. L. (2021). Enrichment Of Toxicology Laboratory In The New Era Of Covid-19: Preliminary Qualitative Test Of Preservatives In Processed Food. *Moroccan Journal of Chemistry*, 9(3), 379–385. <https://doi.org/10.48317/IMIST.PRSM/morjchem-v9i2.27618>
- Tariq, Z., Iqbal, D. N., Rizwan, M., Ahmad, M., Faheem, M., & Ahmed, M. (2023). Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding. *RSC Advances*, 13(35), 24731–24754. <https://doi.org/10.1039/D3RA03472K>
- Thakur, R., Pristijono, P., Scarlett, C. J., Bowyer, M., Singh, S. P., & Vuong, Q. V. (2019). Starch-based films: Major factors affecting their properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 1079–1089. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.190>
- Wang, F., Zhang, S., Deng, G., Xu, K., Xu, H., & Liu, J. (2022). Extracting Total Anthocyanin from Purple Sweet Potato Using an Effective Ultrasound-Assisted Compound Enzymatic Extraction Technology. *Molecules*, 27(14). <https://doi.org/10.3390/molecules27144344>
- Wang, Y., An, H., Guo, Y.-N., Wang, Q., Shang, Y.-Y., Chen, M.-K., Liu, Y.-X., Meng, J.-X., Zhang, S.-Y., Wei, J., & Li, H.-H. (2023). Anthocyanins from *Malus* spp. inhibit the activity of *Gymnosporangium yamadai* by downregulating the expression of WSC, RLM1, and PMA1. *Frontiers in Microbiology*, 14(May). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1152050>

- Wen, H., Kang, J., Li, D., Wen, W., Yang, F., Hu, H., & Liu, C. (2016). Antifungal activities of anthocyanins from purple sweet potato in the presence of food preservatives. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 165–171. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0025-7>
- Widyasanti, A., Nurlaily, N., & Wulandari, E. (2018). Karakteristik Fisikokimia Antosianin Ekstrak Kulit Buah Naga Merah Menggunakan Metode UAE (Physicochemical Characteristics of Red Dragon Fruit Skin Anthocyanin Extracts using UAE Method). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 6(1), 27–38. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v6i1.63>
- Yan, S., Li, Y., Liu, J., Si, D., & Zhang, X. (2023). Guideline for extraction, qualitative, quantitative, and stability analysis of anthocyanins. *EFood*, 4(1), 1–11. <https://doi.org/10.1002/efd2.59>
- Yong, H., Wang, X., Bai, R., Miao, Z., Zhang, X., & Liu, J. (2019). Development of antioxidant and intelligent pH-sensing packaging films by incorporating purple-fleshed sweet potato extract into chitosan matrix. *Food Hydrocolloids*, 90(November 2018), 216–224. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.12.015>
- Yong, H., Wang, X., Zhang, X., Liu, Y., Qin, Y., & Liu, J. (2019). Effects of anthocyanin-rich purple and black eggplant extracts on the physical, antioxidant and pH-sensitive properties of chitosan film. *Food Hydrocolloids*, 94(January), 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.012>
- Zepon, K. M., Martins, M. M., Marques, M. S., Heckler, J. M., Dal Pont Morisso, F., Moreira, M. G., Ziulkoski, A. L., & Kanis, L. A. (2019). Smart wound dressing based on κ -carrageenan/locust bean gum/cranberry extract for monitoring bacterial infections. *Carbohydrate Polymers*, 206(November 2018), 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.11.014>
- Zhai, X., Shi, J., Zou, X., Wang, S., Jiang, C., Zhang, J., Huang, X., Zhang, W., & Holmes, M. (2017). Novel colorimetric films based on starch/polyvinyl alcohol incorporated with roselle anthocyanins for fish freshness monitoring. *Food Hydrocolloids*, 69, 308–317. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.02.014>