

Kajian Awal Filem Kanji Jagung dengan Ekstrak Tin (*Ficus carica* Linn.) sebagai Bahan Potensi Pembungkusan Aktif

(Preliminary Study on Corn Starch Film with Fig (*Ficus carica* Linn.) Extract as a Potential Active Packaging Material)

Nurliyana Zazli^a, Darman Nordin^{a*}, Aeryna Andrew Sritharan^a, Nur Syamira Samian^a, Noraziah Mohamad Zin^b,
Salma Mohamad Yusop^c & Nor Yuliana Yuhana^a

^aJabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, MALAYSIA

^bPusat Kajian Diagnostik, Terapeutik, dan Penyiasatan (CODTIS), Fakulti Sains Kesihatan, Universiti Kebangsaan Malaysia,
50300 Kuala Lumpur, Kuala Lumpur, MALAYSIA

^cJabatan Sains Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi,
Selangor, MALAYSIA

*Corresponding author: darman@ukm.edu.my

Received 19 June 2025, Received in revised form 10 September 2025
Accepted 10 October 2025, Available online 30 November 2025

ABSTRAK

Bioplastik berasaskan kanji telah muncul sebagai alternatif mesra alam bagi pembungkusan berasaskan petrokimia kerana boleh biodegradasi dan bersumberkan bahan boleh diperbaharui. Namun, prestasi fungsian kanji yang terbatas menghadkan penggunaannya dalam aplikasi pembungkusan secara meluas. Kajian ini membangunkan dan mencirikan filem kanji jagung dengan ekstrak buah tin (*Ficus carica* Linn.) pada kepekatan 3, 6, dan 9 wt%, bagi menilai kesannya terhadap sifat mekanikal, boleh biodegradasi, aktiviti antioksidan, dan kesan antibakteria untuk aplikasi pembungkusan aktif. Filem dianalisis menggunakan spektroskopi FTIR, dan diuji bagi sifat tegangan, kadar penguraian dalam tanah, aktiviti antioksidan (TPC dan DPPH), serta aktiviti antibakteria melalui kaedah resapan agar. Analisis FTIR menunjukkan tiada pembentukan ikatan kovalen baharu tetapi memperlihatkan interaksi molekul antara matriks kanji dan ekstrak buah tin. Kekuatan tegangan menunjukkan peningkatan mengikut kepekatan ekstrak, manakala pemanjangan maksimum dicapai pada 6 wt%. Julat 6–9 wt% memberikan profil mekanikal yang seimbang dengan perubahan kecil pada kekakuan, mencadangkan kestabilan prestasi keseluruhan yang baik. Kepekatan ekstrak yang lebih tinggi meningkatkan kehilangan berat dalam ujian biodegradasi tanah, di samping meningkatkan nilai TPC dan aktiviti penghapusan radikal DPPH. Namun, tiada aktiviti antibakteria terhadap *Escherichia coli* dikesan, berkemungkinan disebabkan oleh tahap yang tidak mencukupi atau pengaktifan terhad sebatian antimikrob. Secara keseluruhan, hasil kajian ini mengesahkan potensi ekstrak buah tin sebagai bahan tambahan semula jadi yang berupaya memperkukuh kekuatan mekanikal, meningkatkan kapasiti antioksidan, serta mempercepatkan biodegradasi filem berasaskan kanji jagung, sekali gus menyokong pembangunan pembungkusan makanan aktif yang mampan dan memanjangkan jangka hayat makanan. Kajian lanjutan disarankan untuk menilai keberkesanan filem dalam sistem pembungkusan makanan sebenar.

Kata kunci: Kanji jagung; tin (*Ficus carica* Linn.); pembungkusan aktif; aktiviti antioksidan; sifat mekanikal

ABSTRACT

Starch bioplastics have emerged as environmentally friendly alternatives to petrochemical packaging because they are biodegradable and derived from renewable resources. Nevertheless, the limited functional performance of starch restricts its broader use in packaging applications. This study developed and characterized corn starch films with fig (*Ficus carica* Linn.) fruit extract at 3, 6, and 9 wt% to evaluate their effects on mechanical properties, biodegradable properties, antioxidant activities, and antibacterial effects for active packaging. The films were analyzed using FTIR spectroscopy, and tested for tensile properties, biodegradation rate in soil, antioxidant activity (TPC and DPPH), and antibacterial activity via agar diffusion method. FTIR analysis revealed no new covalent bond formation but indicated molecular interactions between the starch matrix and fig fruit extract. Tensile strength showed an increasing trend with extract concentration, while

maximum elongation was achieved at 6 wt%. The 6–9 wt% provided a balanced mechanical profile with small changes in stiffness, suggesting good overall performance stability. Higher extract concentrations led to greater weight loss in soil biodegradation tests, while also increasing TPC values and DPPH radical scavenging activity. However, no antibacterial activity was detected against *Escherichia coli*, likely due to insufficient levels or limited activation of antimicrobial compounds. Overall, the findings confirm the potential of fig fruit extract as a natural additive capable of reinforcing mechanical strength, enhancing antioxidant capacity, and accelerating the biodegradation of corn starch-based films, thereby supporting the development of sustainable active food packaging that can extend food shelf life. Further research is recommended to assess their effectiveness in real food packaging systems.

Keywords: Corn starch; Fig (*Ficus carica* Linn.); active packaging; antioxidant activity; mechanical properties

PENGENALAN

Keselamatan dan kualiti makanan merupakan aspek penting dalam industri makanan moden, mendorong pembangunan teknologi pembungkusan yang serbaguna dan berfungsi dengan baik. Pembungkusan memainkan peranan penting dalam melindungi produk makanan daripada kerosakan fizikal dan pencemaran yang boleh berlaku sepanjang keseluruhan rantaian bekalan, bermula dari pemprosesan sehingga ke peringkat pengguna akhir (Motelica et al. 2020). Seiring dengan perkembangan teknologi, pendekatan pembungkusan aktif kini semakin mendapat perhatian, yang bukan sahaja bertindak sebagai penghalang fizikal, tetapi juga berperanan memanjangkan jangka hayat makanan melalui integrasi bahan-bahan fungsian seperti agen antimikrob dan antioksidan ke dalam matriks pembungkusan (Dutta & Sit 2023). Namun begitu, pelaksanaan teknologi ini masih banyak bergantung kepada plastik konvensional berasaskan petroleum yang bersifat tidak terbiodegradasi dan memberi kesan negatif terhadap alam sekitar (Azevedo et al. 2022).

Sehubungan itu, tumpuan kini beralih kepada bahan biopolimer boleh terurai seperti filem berasaskan kanji tumbuhan. Kanji merupakan pilihan yang popular kerana keupayaannya membentuk filem yang fleksibel dan jernih, selain mudah diperolehi daripada sumber semula jadi seperti jagung, ubi kayu, kentang, dan beras (Cui et al. 2021). Namun, aplikasi filem kanji masih terhad disebabkan sifat mekanikalnya yang lemah serta sensitiviti tinggi terhadap lembapan (Dutta & Sit 2023). Untuk mengatasi kekangan ini, penambahan bahan aktif semula jadi seperti ekstrak tumbuhan telah digunakan bagi meningkatkan keupayaan fungsian filem pembungkusan. Berbanding bahan tambahan sintetik, ekstrak semula jadi menawarkan alternatif yang lebih selamat dan diterima baik oleh pengguna (M. Alansari 2020).

Pelbagai kajian terdahulu menunjukkan bahawa penambahan ekstrak dan minyak pati tumbuhan daripada rosemary, anggur, bunga cengkih, dan buah zaitun ke dalam matriks kanji mampu meningkatkan kekuatan mekanikal, sifat penghalang, aktiviti antioksidan, dan keberkesanan antimikrob (Cui et al. 2021; García et al. 2020; Piñeros-Hernandez et al. 2017). Bahan-bahan ini kaya dengan

fitokimia seperti sebatian fenolik yang memberi kesan bioaktif tinggi. Kehadiran kumpulan hidroksil dalam struktur kanji membolehkannya membentuk ikatan hidrogen dengan molekul fenolik daripada ekstrak tumbuhan, sekali gus berpotensi meningkatkan kestabilan struktur dan bioaktiviti filem yang dihasilkan (Wu et al. 2024).

Salah satu bahan semula jadi yang menjanjikan namun masih kurang diterokai ialah buah tin (*Ficus carica* Linn.), yang kaya dengan vitamin, mineral, dan komponen bioaktif seperti flavonoid, tanin, dan asid fenolik (Walia et al. 2022). Sebatian ini memberi manfaat terhadap pelbagai sistem kesihatan termasuk pencernaan, respiratori, metabolik, dan kardiovaskular, serta boleh berfungsi sebagai antioksidan, antiradang, dan antimikrob (Sandhu et al. 2023).

Beberapa kajian telah menunjukkan bahawa ekstrak buah dan daun tin mampu meningkatkan aktiviti antioksidan dan antimikrob dalam filem berasaskan kitosan, di samping mempengaruhi sifat mekanikal, penghalang wap air, dan biodegradasi dalam tanah (Shahbazi 2017a; Yilmaz et al. 2022). Walau bagaimanapun, masih kurang kajian yang menggabungkan ekstrak buah tin ke dalam filem kanji jagung untuk aplikasi pembungkusan aktif. Kajian ini menghipotesiskan bahawa penambahan ekstrak buah tin ke dalam filem kanji akan meningkatkan sifat mekanikal, bioaktiviti, dan kadar biodegradasinya, sekali gus memperbaiki prestasi fungsian sebagai bahan pembungkusan makanan aktif.

Sehubungan itu, kajian ini dijalankan bagi membangunkan filem berasaskan kanji jagung yang diperkaya dengan ekstrak buah tin (3, 6 dan 9 wt%). Filem yang dihasilkan dinilai berdasarkan interaksi kimia melalui analisis spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR), sifat mekanikal, biodegradasi dalam tanah, aktiviti antioksidan melalui ujian jumlah kandungan fenolik dan penghapusan radikal 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), serta kesan antibakteria terhadap *Escherichia coli*. Pengujian parameter ini penting untuk menilai prestasi sebenar filem dari segi perlindungan makanan, pelanjutan jangka hayat, dan kelestarian alam sekitar. Pemilihan bahan mudah diperolehi seperti kanji jagung dan ekstrak tempatan juga sejajar dengan prinsip ekonomi kitaran, menjadikan filem ini berpotensi untuk dikomersialkan secara mampan dalam aplikasi pembungkusan makanan aktif.

METODOLOGI

BAHAN

Reagen fenol Folin-Ciocalteu, asid galik, natrium karbonat, dan DPPH telah dibeli daripada Sigma-Aldrich, USA. Asid asetik glasial, gliserol, dan etanol 95% dibekalkan oleh R&M Chemicals, Malaysia. Media Mueller-Hinton bagi agar (MHA) dan kaldu (MHB) diperolehi daripada Himedia, India. Cakera ciprofloxacin (5 µg) dibekalkan oleh Whatman, USA. Semua bahan kimia adalah gred analitik. Serbuk buah tin dan tepung jagung didapati melalui pembekal tempatan (Selangor, Malaysia). Air suling digunakan untuk pencairan dan penyediaan larutan kimia.

PENYEDIAAN EKSTRAK BUAH TIN

Ekstrak buah tin telah disediakan dengan merendam 20 g serbuk buah tin dalam 100 mL etanol selama 48 jam pada suhu bilik (Shahbazi 2017b). Seterusnya, campuran itu ditapis, dan pelarutnya disejat menggunakan penyejat berputar (Model RE600, Yamato Scientific, Jepun). Ekstrak buah tin kering kemudiannya disimpan di dalam botol bertutup dan diletakkan di dalam peti sejuk -30°C sehingga digunakan.

PENGHASILAN FILEM

Seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1, filem berasaskan kanji jagung (CS) dengan penambahan ekstrak buah tin (FE) pada kepekatan 0, 3, 6, dan 9 wt% (berdasarkan berat kanji) telah dibangunkan menggunakan kaedah penuangan larutan dengan sedikit pengubahsuaian (Malekzadeh et al. 2024). Sebanyak 10 g serbuk kanji jagung dilarutkan dalam 100 mL larutan asid asetik 5% (v/v) dan dipanaskan pada 100°C selama 15 minit untuk menghasilkan larutan homogen. Gliserol, sebagai agen pemplastik, telah ditambah pada kadar 30 wt% kanji, dan campuran dikacau selama 30 minit. Seterusnya, ekstrak FE ditambahkan ke dalam larutan dan dikacau pada 50°C selama 15 minit. Sebanyak 20 g larutan filem dituangkan ke dalam piring kaca (diameter 10 cm) dan dikeringkan pada suhu 60°C selama 24 jam. Filem yang telah kering (Rajah 1) dikupas dengan teliti dan disimpan dalam bekas bertutup yang diletakkan di dalam desikator bagi mengekalkan kestabilan sehingga analisis dijalankan.

JADUAL 1. Formulasi filem berasaskan kanji jagung (CS) ditambah dengan ekstrak buah tin (FE)

Sampel filem	Kepekatan FE (wt%)
CS/FE0	0
CS/FE3	3
CS/FE6	6
CS/FE9	9



RAJAH 1. Carta alir kajian filem berasaskan kanji jagung dengan ekstrak buah tin

ANALISIS FTIR

FTIR digunakan untuk membandingkan kumpulan berfungsi dalam filem berasaskan kanji jagung dengan penambahan FE pada pelbagai kepekatan, serta menilai potensi interaksi antara komponen dalam matriks filem. Analisis telah dijalankan melalui mod pantulan cahaya inframerah yang dilemahkan (ATR) untuk analisis permukaan dalam julat gelombang antara 400 dan 4000 cm^{-1} , dengan resolusi 4 cm^{-1} dan 40 imbasan.

UJIAN MEKANIKAL

Ketebalan filem diukur menggunakan tolok ketebalan dail (Model 7327A, Mitutoyo, Jepun) dengan senggatan 0.001 mm di sepuluh titik rawak, dan purata bacaan direkodkan. Sifat tegangan filem diuji menggunakan penganalisis tekstur (Model CT3-100, AMETEK Brookfield, USA) yang dikendalikan pada kelajuan 1 mm/s. Sampel filem dipotong berukuran $50\text{ mm} \times 10\text{ mm}$, kemudian disepit di antara dua pemegang sampel sebelum ditarik sehingga putus. Data ujian digunakan untuk menentukan kekuatan tegangan maksimum (UTS) yang merujuk kepada tekanan maksimum sebelum filem terputus, pemanjangan pada

takat putus (EAB) yang mencerminkan keupayaan regangan, dan modulus Young (YM) mewakili kekakuan struktur bahan (Oluwasina et al. 2019).

UJIAN BIODEGRADASI TANAH

Ujian biodegradasi tanah telah dijalankan mengikut kajian Azahari et al. (2011). Filem dipotong menjadi segi empat sama berukuran 1.5 cm × 1.5 cm, ditimbang, dan ditanam di dalam tanah kompos komersial selama 10 hari pada suhu bilik (24 ± 3 °C). Tanah disiram setiap 48 jam untuk mengekalkan tahap lembapan. Setelah 10 hari, sampel diambil, dibersihkan, dan dikeringkan dalam ketuhar pada 50°C selama 3 jam. Filem yang kering ditimbang semula, dan peratusan penurunan berat (WL) dikira menggunakan formula berikut:

$$WL (\%) = (W_0 - W_1) / W_0 \times 100 \quad (1)$$

W_0 (g) dan W_1 (g) merujuk kepada berat sampel sebelum dan selepas ditanam, masing-masing.

UJIAN ANTIOKSIDA

Jumlah kandungan fenolik (TPC) dalam filem ditentukan menggunakan kaedah Folin-Ciocalteu (FC) dengan sedikit perubahan (Yilmaz et al. 2022). Sebanyak 10 mg sampel filem direndam dalam 2 mL reagen FC 10% (v/v) dan 2 mL larutan natrium karbonat 7.5% (w/v), kemudian dieram dalam keadaan gelap selama 30 minit pada 50°C. Serapan larutan diukur pada panjang gelombang 760 nm menggunakan spektrofotometer (Model DR 3900, Hach, USA). TPC dikira berdasarkan lengkung piawai larutan asid galik antara 0.02–0.10 mg/mL ($R^2 = 0.9976$) dan dinyatakan sebagai mg kesetaraan asid galik per gram filem (mg GAE/g).

Aktiviti antioksidan filem telah dianalisis menggunakan ujian DPPH berdasarkan kaedah yang diubah suai (Yilmaz et al. 2022). Sebanyak 10 mg sampel filem dicampur dengan 2 mL larutan DPPH 0.1 mM (disediakan dalam etanol), kemudian dieram selama 60 minit pada suhu bilik dalam keadaan gelap. Selepas pengesanan, serapan larutan diukur pada 517 nm, dan peratusan aktiviti penghapusan radikal (RSA) dikira menggunakan formula berikut:

$$RSA (\%) = (A_0 - A_1) / A_0 \times 100 \quad (2)$$

A_0 merujuk kepada serapan kawalan DPPH tanpa filem dan A_1 merujuk kepada serapan larutan dengan filem.

UJIAN ANTIBAKTERIA

Aktiviti antibakteria filem terhadap *E. coli* telah dinilai menggunakan kaedah resapan agar (Cenobio-Galindo et al. 2019). *E. coli* dipilih sebagai model bakteria kerana merupakan patogen makanan yang mudah didapati, sering dikaitkan dengan pencemaran mikrob makanan, dan digunakan secara meluas dalam kajian antimikrob bagi pembungkusan aktif (Duda-Chodak et al. 2023; Motelica et al. 2020).

Media kultur steril bagi MHA dan MHB disediakan mengikut spesifikasi pengeluar untuk memastikan pertumbuhan optimum bakteria. Strain bakteria *E. coli* disediakan oleh Jabatan Kejuruteraan Kimia dan Proses, UKM melalui pengasingan makmal, dan satu koloni dikultur dalam MHB pada 37°C selama 24 jam. Larutan keruh yang terhasil dicairkan sebanyak 1:100 untuk mencapai kepekatan akhir sekitar 10^7 CFU/mL, sebelum ujian antibakteria filem dijalankan (Elbing & Brent 2019). Kepekatan bakteria ditentukan melalui kaedah pencairan dan piring sebaran.

Sampel filem steril (berdiameter 6 mm) diletakkan pada permukaan MHA yang telah diinokulasi dengan kultur *E. coli*, diikuti dengan pengesanan pada suhu 37°C selama 24 jam. Aktiviti antibakteria direkodkan melalui pembentukan zon perencatan (zon jernih) di sekeliling sampel filem. Cakera antibiotik ciprofloxacin digunakan sebagai kawalan positif.

ANALISIS STATISTIK

Semua eksperimen telah dijalankan dalam tiga ulangan dan keputusan direkodkan sebagai nilai purata ± sisihan piawai (SD). Perbezaan signifikan antara kumpulan filem dianalisis menggunakan analisis varians sehalu (ANOVA), diikuti ujian *post hoc* Tukey HSD dengan aras keyakinan 95% ($p < 0.05$). XLSTAT (Addinsoft, Perancis) dan Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, USA) telah digunakan dalam analisis ini.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

ANALISIS FTIR

Spektrum FTIR bagi filem berasaskan kanji jagung (Rajah 2) menunjukkan kehadiran kumpulan berfungsi yang konsisten bagi semua kepekatan ekstrak buah tin yang digunakan, menandakan bahawa rangka asas kanji kekal stabil, tanpa pembentukan ikatan kovalen baharu. Walau bagaimanapun, terdapat sedikit peralihan kedudukan jalur, yang mencadangkan perubahan persekitaran ikatan hasil

interaksi antara komponen filem (Gopi et al. 2019). Fenomena ini konsisten dengan kajian lain terhadap filem kanji ditambah dengan ekstrak tumbuhan (Abdullah et al. 2020; Garcia et al. 2020; Kim et al. 2018).

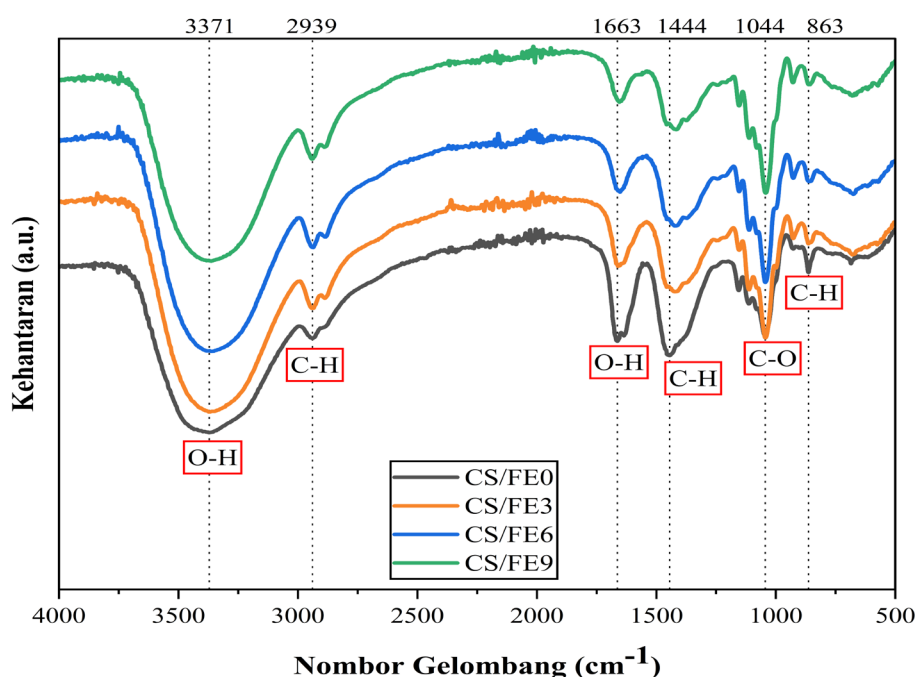
Jalur serapan paling ketara adalah sekitar 3300 cm^{-1} yang sepadan dengan getaran regangan hidroksil (O–H), dan sekitar $2800\text{--}2900\text{ cm}^{-1}$ yang dikaitkan dengan getaran regangan simetri/asimetri C–H (Malekzadeh et al. 2024). Sementara itu, signal kuat dapat dilihat sekitar 1660 cm^{-1} yang mewakili interaksi kumpulan hidroksil dan getaran lenturan O–H daripada air terikat, yang mencerminkan sifat hidrofilik kanji (Saber et al. 2017).

Ciri spektrum pada kawasan $800\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ pula umumnya berkaitan dengan getaran rangka cincin piranosa serta getaran glikosidik (C–O–C), yang merupakan ciri utama struktur polisakarida seperti kanji (Abdullah et al. 2020; Gopi et al. 2019; Jeyasubramanian & Balachander 2016). Getaran C–O–C (glikosidik) diwakili oleh jalur pada sekitar 1044 dan 1155 cm^{-1} (Malekzadeh et al. 2024; Medina Jaramillo et al. 2016). Manakala, corak sekitar 863 dan 1444 cm^{-1} merujuk kepada getaran C–H dalam unit glukosa (Kim et al. 2018; Leon-Bejarano et al. 2020).

Seperti ditunjukkan dalam Jadual 2, intensiti serapan yang diperolehi daripada spektrum asal menunjukkan perubahan dengan penambahan ekstrak berbanding filem kanji jagung tanpa ekstrak (CS/FE0), yang mencadangkan kemungkinan interaksi serta peningkatan jumlah kumpulan berfungsi. Secara umum, jalur O–H mencatatkan penurunan intensiti dengan penambahan FE, terutamanya

pada kepekatan 3 dan 6 wt%, menandakan pengurangan O–H bebas. Fenomena ini berkemungkinan berlaku kerana interaksi antara kumpulan hidroksil daripada matriks kanji, sebatian polifenol dalam ekstrak, dan gliserol melalui pembentukan ikatan hidrogen (Piñeros-Hernandez et al. 2017; Yilmaz et al. 2022). Signal serapan getaran C–H (863 cm^{-1}) dan C–O (1155 cm^{-1}) juga mempamerkan trend penurunan, boleh disebabkan oleh interaksi sekunder atau hidrofobik daripada komponen ekstrak, sehingga mengurangkan getaran bebas kumpulan berfungsi tersebut (Abdullah et al. 2020).

Sebaliknya, intensiti serapan C–O sekitar 927 dan 1044 cm^{-1} meningkat dengan penambahan ekstrak buah tin, mungkin disebabkan oleh sumbangan kumpulan C–O sebatian polifenol dan perubahan interaksi dalam matriks (Leon-Bejarano et al. 2020; Medina Jaramillo et al. 2016). Tambahan pula, beberapa isyarat serapan menunjukkan peningkatan semula intensiti apabila kepekatan ekstrak bertambah termasuk regangan C–O, C–H, dan O–H, berkemungkinan berpunca daripada isyarat bertindih kumpulan polifenol dan alkil dalam ekstrak, sekali gus menambah jumlah kumpulan penyerap dalam sistem filem (Azhar et al. 2025). Secara keseluruhan, keputusan FTIR menunjukkan bahawa penambahan ekstrak buah tin bukan sahaja mengubah intensiti serapan kumpulan berfungsi tertentu dalam matriks kanji jagung, tetapi juga berpotensi mencerminkan peningkatan kestabilan struktur dalaman filem, yang seterusnya memberi petunjuk positif terhadap kesesuaiannya dalam aplikasi pembungkusan makanan.



RAJAH 2. Spektrum FTIR bagi filem CS/FE

JADUAL 2. Intensiti serapan bagi puncak FTIR utama dalam filem CS/FE

Nombor gelombang (cm ⁻¹)	Kumpulan berfungsi	Intensiti serapan (a.u.)			
		CS/FE0	CS/FE3	CS/FE6	CS/FE9
863	Regangan C–H	0.15	0.12	0.12	0.12
927	Regangan C–O	0.10	0.11	0.11	0.11
1044	Regangan C–O	0.34	0.39	0.42	0.46
1155	Regangan C–O	0.20	0.13	0.14	0.17
1444	Lenturan C–H	0.41	0.22	0.21	0.21
1663	Lenturan O–H	0.36	0.17	0.13	0.15
2890	Regangan C–H simetri	0.31	0.25	0.25	0.28
2939	Regangan C–H asimetri	0.35	0.29	0.29	0.32
3371	Regangan O–H	1.03	0.91	0.92	1.04

^aNilai intensiti serapan (A, a.u.) diperoleh daripada peratus kehantaran (T, %) menggunakan persamaan, $A = \log_{10}(100/T)$.

^bNombor gelombang dipilih berdasarkan titik minimum T bagi filem tanpa ekstrak buah tin (CS/FE0).

UJIAN MEKANIKAL

Jadual 3 menunjukkan peningkatan ketebalan filem kanji secara progresif dengan penambahan ekstrak buah tin pada kepekatan 3, 6, dan 9 wt%, berbanding filem kawalan (0 wt%). Semua sampel berada dalam julat ketebalan bagi filem yang ditetapkan oleh piawaian ASTM D6988 – 21 (2021), iaitu kurang daripada 250 μm . Corak ini sejajar dengan dapatan kajian terdahulu melibatkan penambahan

bahan aktif tumbuhan dalam sistem berasaskan kanji (Dhumal et al. 2019; García et al. 2020). Peningkatan ketebalan ini disumbang oleh kandungan pepejal ekstrak yang tinggi, yang membantu memadatkan struktur filem (Leon-Bejarano et al. 2020; Tarique et al. 2021). Perbezaan ketebalan ini menggambarkan kesan penambahan ekstrak terhadap ciri fizikal filem, sekali gus menjadi asas kepada ujian mekanikal seterusnya.

JADUAL 3. Parameter ujian mekanikal filem CS/FE

Sampel filem	Ketebalan (μm)	UTS (MPa)	EAB (%)	YM (MPa)
CS/FE0	210.5 $\pm$ 2.18 _d	1.63 $\pm$ 0.08 _a	33.89 $\pm$ 3.40 _{ab}	4.87 $\pm$ 0.73 _a
CS/FE3	221.0 $\pm$ 2.65 _c	1.73 $\pm$ 0.11 _a	31.33 $\pm$ 4.04 _b	5.57 $\pm$ 0.38 _a
CS/FE6	230.7 $\pm$ 2.08 _b	1.74 $\pm$ 0.10 _a	40.78 $\pm$ 2.67 _a	4.27 $\pm$ 0.13 _a
CS/FE9	247.0 $\pm$ 2.65 _a	1.76 $\pm$ 0.10 _a	35.67 $\pm$ 2.03 _{ab}	4.94 $\pm$ 0.55 _a

^aKeputusan dicatat sebagai purata $\pm$ SD (n= 3).

^b_{a-d} Huruf kecil subskrip berbeza dalam lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan ($p < 0.05$) antara filem berdasarkan ujian Tukey.

Berdasarkan Jadual 3, nilai UTS, EAB, dan YM yang diperoleh berada dalam julat yang hampir serupa dengan kajian filem kanji yang mengandungi bahan aktif tumbuhan, iaitu UTS sekitar 1.3–2.1 MPa, EAB sekitar 30–40%, YM sekitar 4–5 MPa (Dhumal et al. 2019; Esianingrum et al. 2016; García et al. 2020). Nilai UTS dan YM tidak menunjukkan perbezaan yang ketara antara formulasi, manakala nilai EAB bagi sampel CS/FE3 dan CS/FE6 menunjukkan perbezaan signifikan.

Filem kanji jagung dengan penambahan 3 wt% FE didapati meningkatkan nilai UTS berbanding sampel kawalan, mencadangkan pengukuhan struktur hasil interaksi antara polimer dan ekstrak (Wu et al. 2017). Namun, nilai EAB terendah dan YM tertinggi bagi filem ini menandakan struktur yang paling kaku, kemungkinan

besar disebabkan sekatan mobiliti rantai polimer pada kepekatan ekstrak rendah (Gabriel et al. 2024).

Pada 6 wt% FE, kajian ini menunjukkan nilai EAB tertinggi dan nilai YM terendah, mencadangkan bahawa kepekatan ekstrak yang sederhana telah melemahkan interaksi molekul dalam matriks kanji. Pergerakan rantai polimer seterusnya menjadi lebih bebas, sekali gus meningkatkan fleksibiliti dan mengurangkan kekakuan keseluruhan filem (Arham et al. 2016; Yilmaz et al. 2022). Sementara itu, UTS terus meningkat walaupun struktur filem menjadi lebih longgar, mungkin disebabkan oleh pembentukan struktur filem yang lebih padat hasil daripada penyebaran ekstrak yang seragam (Terzioglu & Sıcak 2021; Wu et al. 2017). Berbeza dengan dapatan kajian ini, kajian terdahulu melaporkan penurunan UTS pada kepekatan

antioksidan tertentu hasil penyebaran bahan tambahan yang tidak seragam dalam matriks, sekali gus menjejaskan struktur dalaman dan melemahkan kekuatan tegangan filem (Tongdeesoontorn et al. 2021).

Bagi filem kanji jagung dengan kandungan 9 wt% FE, nilai UTS tertinggi direkodkan, menunjukkan bahawa struktur filem masih diperkukuh oleh sistem yang padat. Namun begitu, penurunan nilai EAB dan peningkatan YM mencadangkan pergerakan rantai polimer yang terhad, sekali gus meningkatkan kekakuan bahan. Corak ini boleh disebabkan oleh daya antara molekul yang lebih kuat pada kepekatan ekstrak yang tinggi, seperti yang turut dilaporkan dalam kajian terdahulu (Esianingrum et al. 2016; Gabriel et al. 2024). Ringkasnya, keseimbangan sifat mekanikal yang dicapai pada 6–9 wt% menunjukkan potensi penggunaan filem ini dalam pembungkusan makanan, terutamanya apabila diperlukan gabungan antara kekuatan dan fleksibiliti.

UJIAN BIODEGRADASI TANAH

Filem berasaskan kanji jagung yang digabungkan dengan ekstrak buah tin boleh terbiodegradasi dalam tanah kerana kandungan sebatian organik semulajadi yang boleh diurai oleh mikroorganisma. Kadar degradasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti keadaan tanah dan persekitaran, aktiviti mikrob, dan sifat fizikal filem (Oluwasina et al. 2019). Seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 4, kepekatan ekstrak mempunyai kesan yang ketara ke atas tahap degradasi filem yang diukur dengan penurunan berat. Selepas 10 hari penanaman, semua filem menunjukkan penurunan berat sekitar 18% hingga 20%, yang konsisten dengan penemuan sebelumnya dalam filem berasaskan kanji (Azahari et al. 2011; Tarique et al. 2021). Perlu ditekankan bahawa filem dengan kepekatan ekstrak yang lebih tinggi menunjukkan keupayaan biodegradasi yang lebih ketara berbanding sampel kawalan (CS/FE0). Pemerhatian ini sejajar dengan kajian terdahulu yang melaporkan peningkatan kadar penguraian dalam filem kanji diperkaya ekstrak tumbuhan (Kim et al. 2018; Medina Jaramillo et al. 2016).

Penguraian filem kanji didorong oleh kehadiran kumpulan berfungsi hidrofilik, seperti hidroksil dalam struktur polimer, yang mudah terdedah kepada pencernaan mikrob, mengakibatkan pemecahan rantai polimer kepada molekul yang lebih kecil (Malekzadeh et al. 2024; Oluwasina et al. 2019). Penambahan ekstrak buah tin yang mengandungi polifenol kaya dengan kumpulan hidroksil, berpotensi mempercepatkan proses ini dengan meningkatkan penyerapan air dan menggalakkan hidrolisis (Gabriel et al. 2024; Medina Jaramillo et al. 2016). Tambahan pula, seperti yang disokong oleh keputusan

FTIR (Rajah 2), kewujudan interaksi molekul antara polimer dan komponen aktif dalam ekstrak berkemungkinan telah mengganggu susunan teratur struktur polimer, sekali gus membantu mempercepatkan proses biodegradasi filem. Dapatan ini menguatkan potensi filem CS/FE sebagai bahan pembungkusan makanan mesra alam yang mudah terurai.

JADUAL 4. Analisis biodegradasi tanah filem CS/FE

Sampel filem	Kehilangan berat (%)
CS/FE0	18.39 ± 0.38 _c
CS/FE3	18.51 ± 0.12 _{bc}
CS/FE6	19.59 ± 0.26 _{ab}
CS/FE9	20.01 ± 0.75 _a

^aKeputusan dicatat sebagai purata ± SD (n= 3).

^b_{a-c} Huruf kecil subskrip berbeza dalam lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan (p < 0.05) antara filem berdasarkan ujian Tukey.

UJIAN ANTIOKSIDA

Sebatian fenolik terkenal dengan sifat antioksidanya, yang dikaitkan dengan kehadiran kumpulan hidroksil yang mampu menstabilkan spesies reaktif dan meneutralkan radikal bebas (Sabeti et al. 2017). Seperti yang ditunjukkan dalam keputusan FTIR, sebatian ini boleh berinteraksi melalui ikatan hidrogen dengan matriks polimer kanji, sekali gus menyumbang kepada kestabilan struktur dan keupayaan antioksidasi (Cui et al. 2021; Leon-Bejarano et al. 2020). Jadual 5 menunjukkan jumlah kandungan fenolik (TPC) dan aktiviti penghapusan radikal DPPH (RSA) bagi filem kanji yang meningkat secara signifikan dengan pertambahan kepekatan ekstrak buah tin. Menariknya, aktiviti antioksidasi juga diperhatikan dalam filem kawalan (0 wt% FE), berkemungkinan disebabkan oleh kehadiran gula penurun atau sisa tumbuhan daripada kanji (Cenobio-Galindo et al. 2019; Munteanu & Apetrei 2021).

JADUAL 5. Analisis antioksidasi filem CS/FE

Sampel filem	TPC (mg GAE/g filem)	RSA (%)
CS/FE0	4.33 ± 0.05 _d	8.37 ± 0.40 _d
CS/FE3	6.63 ± 0.06 _c	52.84 ± 1.42 _c
CS/FE6	8.27 ± 0.05 _b	57.96 ± 0.87 _b
CS/FE9	9.18 ± 0.04 _a	68.24 ± 1.04 _a

^aKeputusan dicatat sebagai purata ± SD (n= 3).

^b_{a-d} Huruf kecil subskrip berbeza dalam lajur yang sama menunjukkan perbezaan signifikan (p < 0.05) antara filem berdasarkan ujian Tukey.

TPC dan aktiviti antioksidasi filem CS/FE dalam kajian ini juga adalah setanding dengan filem kanji yang

mengandung ekstrak rosemary, iaitu TPC sekitar 4–13 mg GAE/g dan RSA sekitar 28–80 % (Piñeros-Hernandez et al. 2017). Kajian ini juga menunjukkan kejayaan penggabungan sebatian antioksidan dan hubungan positif antara kepekatan ekstrak dan aktiviti antioksidan, selari dengan laporan terdahulu bagi filem diperkaya ekstrak tumbuhan semula jadi (Sabeti et al. 2017; Wen et al. 2020). Corak peningkatan ini mungkin disumbang oleh metabolit sekunder dalam ekstrak buah tin, seperti polifenol, antosianin, karotenoid, dan tokoferol, yang diketahui bertindak secara sinergistik dalam penyingkiran radikal bebas (Sandhu et al. 2023; Walia et al. 2022).

Walaupun bagaimanapun, terdapat juga kajian yang menunjukkan trend penurunan aktiviti antioksidan pada kepekatan ekstrak yang tinggi. Hal ini mungkin berpunca daripada interaksi kuat antara antioksidan dengan matriks polimer atau kekurangan tapak aktif yang tersedia (Cenobio-Galindo et al. 2019). Pendek kata, keputusan ini menyokong potensi buah tin dalam meningkatkan fungsi antioksidan filem berasaskan kanji, menjadikannya bahan yang sesuai untuk aplikasi pembungkusan makanan aktif bagi mengurangkan kerosakan makanan akibat pengoksidaan (Cui et al. 2021; Yilmaz et al. 2022).

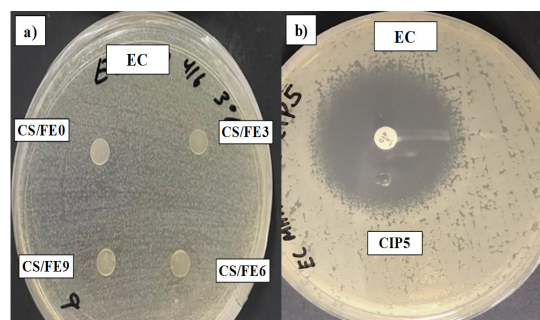
UJIAN ANTIBAKTERIA

Filem berasaskan kanji jagung tanpa ekstrak buah tin (CS/FE0) tidak menunjukkan aktiviti antibakteria terhadap *E. coli*, sejajar dengan laporan terdahulu (Dhumal et al. 2019; Issa et al. 2017). Filem kanji yang mengandungi pelbagai kepekatan ekstrak buah tin tidak menunjukkan zon perencatan terhadap *E. coli* (Rajah 3 (a)), manakala kawalan positif ciprofloxacin merekodkan zon perencatan yang kuat (Rajah 3 (b)).

Ekstrak tin mengandungi sebatian polifenol yang berupaya mengganggu struktur membran dan metabolisme sel bakteria, sekali gus menjejaskan pertumbuhannya (Negi 2012; Sandhu et al. 2023). Malah, terdapat laporan yang menunjukkan keberkesanannya terhadap beberapa patogen bawaan makanan termasuk *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, dan *Clostridium perfringens* (Fazel et al. 2024). Namun begitu, ketiadaan kesan antibakteria dalam kajian ini boleh disebabkan oleh beberapa faktor. Antaranya, kepekatan sebatian bioaktif dalam matriks filem kanji mungkin tidak mencukupi untuk menghasilkan kesan perencatan segera terhadap *E. coli*, atau interaksi sebatian tersebut dengan matriks kanji yang mengurangkan ketersediaan tapak aktif bagi aktiviti antimikrob (Alvarez-Martínez et al. 2021; García et al. 2020). Penemuan ini konsisten dengan dapatan Cenobio-Galindo et al. (2019), yang melaporkan bahawa kehadiran ekstrak tumbuhan pada kadar tertentu dalam filem polimer tidak semestinya menghasilkan aktiviti antibakteria yang ketara.

Tambahan pula, kesan antimikrob turut dipengaruhi oleh jenis mikroorganisma. *E. coli* merupakan salah satu bakteria Gram-negatif dengan lapisan membran luar lipopolisakarida yang boleh menghadkan kemasukan molekul aktif (Shahbazi 2017b). Kajian terdahulu menunjukkan ekstrak tin lebih sensitif terhadap *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, dan *Pseudomonas aeruginosa* (Alsadi et al. 2022). Selain itu, sifat ekstrak mentah buah tin yang mempunyai pelbagai jenis sebatian boleh menyebabkan interaksi antagonistik, justeru, kehadiran sebatian tertentu mungkin mengurangkan atau meneutralkan aktiviti antibakteria sebatian lain (Duda-Chodak et al. 2023). Namun, penambahan bahan sinergistik seperti agen logam ke dalam matriks polimer dengan ekstrak tin telah terbukti dapat menghasilkan kesan antibakteria yang lebih ketara, sekali gus menunjukkan potensi strategi ini untuk meningkatkan bioaktiviti filem (Mouzahim et al. 2023).

Walaupun tiada kesan perencatan langsung diperhatikan dalam ujian ini, filem kanji dengan ekstrak tin masih berpotensi memberi manfaat dalam aplikasi pembungkusan makanan melalui mekanisme lain seperti aktiviti antioksidan atau pengurangan kadar pertumbuhan mikroorganisma tertentu, sekali gus memanjangkan jangka hayat makanan secara tidak langsung. Dapatan ini menonjolkan had kajian semasa dan mencadangkan bahawa parameter ujian seperti pemilihan bakteria, kepekatan ekstrak, serta interaksi dalam matriks filem memainkan peranan penting dalam keberkesanan antibakteria (García et al. 2020; Issa et al. 2017).



RAJAH 3. Ujian antibakteria a) filem CS/FE dan b) cakera ciprofloxacin (CIP5) terhadap *E. coli* (EC)

KESIMPULAN

Kajian ini menunjukkan bahawa penambahan ekstrak buah tin memberi kesan ketara terhadap sifat fungsian filem kanji jagung, khususnya dalam prestasi mekanikal, keupayaan antioksidan, dan keterbiodegrasikan. Julat 6–9 wt% menawarkan keseimbangan terbaik antara

kekuatan dan fleksibiliti filem, manakala sifat antioksidasi dan biodegradasi pula menunjukkan peningkatan konsisten dengan pertambahan kepekatan ekstrak, dengan 9 wt% mencatatkan nilai tertinggi. Tiada aktiviti antibakteria dikesan terhadap *E. coli*, dan ini memberikan peluang kepada penyelidikan lanjutan. Kajian susulan juga disarankan untuk menilai keberkesanan filem dalam sistem pembungkusan makanan sebenar serta potensi penggunaan agen sinergistik bagi meningkatkan sifat antibakteria.

Secara keseluruhan, filem kanji jagung yang diperkaya dengan ekstrak buah tin ini mempunyai potensi aplikasi dalam pembungkusan makanan sebenar, terutamanya bagi produk segar seperti buah-buahan, sayur-sayuran, atau daging, dengan membantu memanjangkan jangka hayat melalui perlindungan daripada pengoksidaan dan kestabilan semasa pengendalian. Penggunaan bahan bersumberkan boleh diperbaharui, serta bersifat boleh terurai pula berpotensi menyumbang kepada kelestarian alam sekitar.

PENGHARGAAN

Penyelidikan dibiayai oleh Kementerian Pengajian Tinggi Malaysia dan Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM) melalui geran (FRGS/1/2020/TK0/UKM/02/30, TAP-K014273).

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

RUJUKAN

- Abdullah, U.H., Ahmad, I., Hamzah, A. & Rosli, N.A. 2020. Effectiveness of starch/cinnamon oil film as food packaging with antimicrobial properties. *Sains Malaysiana* 49(8): 1935–1945.
- Alsadi, H., Alsadi, M., Meelad, F.M. & Alamen, S.M. 2022. *Ficus carica* Linn (Moraceae) fruit's: Qualitative, quantitative phytochemical screening and antibacterial activities. *Acta Scientific Microbiology* 5(5): 80–89.
- Alvarez-Martínez, F.J., Barrajon-Catalan, E., Herranz-Lopez, M. & Micol, V. 2021. Antibacterial plant compounds, extracts and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action. *Phytomedicine* 90: 1–16.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2021. ASTM D6988 – 21: Standard guide for determination of thickness of plastic film test specimens. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/111052/a0ad5f11b1b84f5dafdde4761c3ebe50/ASTM-D6988-21.pdf> [26 Disember 2024].
- Arham, R., Mulyati, M.T., Metusalach, M. & Salengke, S. 2016. Physical and mechanical properties of agar based edible film with glycerol plasticizer. *International Food Research Journal* 23(4): 1669–1675.
- Azahari, N.A., Othman, N. & Ismail, H. 2011. Biodegradation studies of polyvinyl alcohol/corn starch blend films in solid and solution media. *Journal of Physical Science* 22(2): 15–31.
- Azevedo, A.G., Barros, C., Miranda, S., Machado, A.V., Castro, O., Silva, B., Saraiva, M., Silva, A.S., Pastrana, L., Carneiro, O.S. & Cerqueira, M.A. 2022. Active Flexible Films for Food Packaging: A Review. *Polymers* 14(12): 1–32.
- Azhar, A.S., Chong, H.Y., Hasnizan, M.H., Abdul Halim, N.S., Mohd Rosdi Naim, N.H., Ismail, N. 'Izzati & Daud, N.M. 2025. Hidrogel berasaskan natrium alginat dan ekstrak tumbuhan semula jadi untuk aplikasi penyembuhan luka. *Jurnal Kejuruteraan* 37(4): 1801–1812.
- Cenobio-Galindo, A. de J., Pimentel-González, D.J., Razo-Rodríguez, O.E. Del, Medina-Pérez, G., Carrillo-Inungaray, M.L., Reyes-Munguía, A. & Campos-Montiel, R.G. 2019. Antioxidant and antibacterial activities of a starch film with bioextracts microencapsulated from cactus fruits (*Opuntia oligacantha*). *Food Science and Biotechnology* 28(5): 1553–1561.
- Cui, C., Ji, N., Wang, Y., Xiong, L. & Sun, Q. 2021. Bioactive and intelligent starch-based films: A review. *Trends in Food Science and Technology* 116: 854–869.
- Dhumal, C.V., Ahmed, J., Bandara, N. & Sarkar, P. 2019. Improvement of antimicrobial activity of sago starch/guar gum bi-phasic edible films by incorporating carvacrol and citral. *Food Packaging and Shelf Life* 21: 1–9.
- Duda-Chodak, A., Tarko, T. & Petka-Poniatowska, K. 2023. Antimicrobial compounds in food packaging. *International Journal of Molecular Sciences* 24(3).
- Dutta, D. & Sit, N. 2023. Application of natural extracts as active ingredient in biopolymer based packaging systems. *Journal of Food Science and Technology* 60(7): 1888–1902.
- Elbing, K.L. & Brent, R. 2019. Growth of *E. coli* in liquid medium. *Current Protocols in Molecular Biology* 125(1): 2019–2021.
- Esianingrum, R., Atmaka, W., Khasanah, L.U., Kawiji, K., Utami, R. & Praseptiangga, D. 2016. Characterization

- of cassava starch-based edible film enriched with lemongrass oil (*Cymbopogon citratus*). *Nusantara Bioscience* 8(2): 278–282.
- Fazel, M.F., Abu, I.F., Haiqal, M., Mohamad, N., Arniwati, N., Daud, M., Hasan, A.N., Bakkar, Z.A., Alif, M., Khir, N., Juliana, N., Das, S., Razin, M., Razali, M., Hana, N., Baharin, Z. & Ismail, A.A. 2024. Physicochemistry, Nutritional, and therapeutic potential of *Ficus carica* – A promising nutraceutical. *Drug Design, Development and Therapy* 18: 1947–1968.
- Gabriel, A.A., Rahmawati, A.Y., Taradipa, Y.S., Enomae, T., Muhammad Nur Fauzan, R.M., Thangunpai, K., Indramawarni, S., Halim, A. & Ihsanpuro, S.I. 2024. *Canna edulis* ker. starch-based biodegradable plastic materials: mechanical and morphological properties. *Discover Materials* 4(55): 1–13.
- García, A.V., Álvarez-Pérez, O.B., Rojas, R., Aguilar, C.N. & Garrigós, M.C. 2020. Impact of olive extract addition on corn starch-based active edible films properties for food packaging applications. *Foods* 9: 1–20.
- Gopi, S., Amalraj, A., Jude, S., Thomas, S. & Guo, Q. 2019. Bionanocomposite films based on potato, tapioca starch and chitosan reinforced with cellulose nanofiber isolated from turmeric spent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* 96: 664–671.
- Issa, A., Ibrahim, S.A. & Tahergorabi, R. 2017. Impact of sweet potato starch-based nanocomposite films activated with thyme essential oil on the shelf-life of baby spinach leaves. *Foods* 6: 1–13.
- Jeyasubramanian, K. & Balachander, R. 2016. Starch bioplastic film as an alternative food-packaging material. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 75(2): 78–84.
- Kim, S., Baek, S.K., Go, E. & Song, K. Bin. 2018. Application of adzuki bean starch in antioxidant films containing cocoa nibs extract. *Polymers* 10(11): 1–12.
- Leon-Bejarano, M., Durmus, Y., Ovando-Martínez, M. & Simsek, S. 2020. Physical, barrier, mechanical, and biodegradability properties of modified starch films with nut by-products extracts. *Foods* 9(2): 1–17.
- M. Alansari, B. 2020. Development of Antioxidant Activity of Potato Starch Edible Films Incorporate with Rosemary *Rosmarinus officinalis* L. Oil and Used it in Packaging Beef Pattis. *Basrah Journal of Agricultural Sciences* 33(2): 67–79.
- Malekzadeh, E., Tatari, A. & Dehghani Firouzabadi, M. 2024. Effects of biodegradation of starch-nanocellulose films incorporated with black tea extract on soil quality. *Scientific Reports* 14: 1–21.
- Medina Jaramillo, C., Gutiérrez, T.J., Goyanes, S., Bernal, C. & Famá, L. 2016. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers* 151: 150–159.
- Motelica, L., Fikai, D., Fikai, A., Oprea, O.C., Kaya, D.A. & Andronesu, E. 2020. Biodegradable antimicrobial food packaging: Trends and perspectives. *Foods* 9(10): 1–36.
- Mouzahim, M.E., Eddarai, E.M., Eladaoui, S., Guenbour, A., Bellaouchou, A., Zarrouk, A. & Boussen, R. 2023. Effect of Kaolin clay and *Ficus carica* mediated silver nanoparticles on chitosan food packaging film for fresh apple slice preservation. *Food Chemistry* 410(June).
- Munteanu, I.G. & Apetrei, C. 2021. Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *International Journal of Molecular Sciences* 22(7): 1–30.
- Negi, P.S. 2012. Plant extracts for the control of bacterial growth: Efficacy, stability and safety issues for food application. *International Journal of Food Microbiology* 156(1): 7–17.
- Oluwasina, O.O., Olaleye, F.K., Olusegun, S.J., Oluwasina, O.O. & Mohallem, N.D.S. 2019. Influence of oxidized starch on physicochemical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. *International Journal of Biological Macromolecules* 135: 282–293.
- Piñeros-Hernandez, D., Medina-Jaramillo, C., López-Córdoba, A. & Goyanes, S. 2017. Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. *Food Hydrocolloids* 63: 488–495.
- Saberi, B., Vuong, Q. V., Chockchaisawasdee, S., Golding, J.B., Scarlett, C.J. & Stathopoulos, C.E. 2017. Physical, barrier, and antioxidant properties of pea starch-guar gum biocomposite edible films by incorporation of natural plant extracts. *Food and Bioprocess Technology* 10(12): 2240–2250.
- Sandhu, A.K., Islam, M., Edirisinghe, I. & Burton-Freeman, B. 2023. Phytochemical composition and health benefits of figs (fresh and dried): A review of literature from 2000 to 2022. *Nutrients* 15: 1–27.
- Shahbazi, Y. 2017a. Characterization of nanocomposite films based on chitosan and carboxymethylcellulose containing *Ziziphora clinopodioides* essential oil and methanolic *Ficus carica* extract. *Journal of Food Processing and Preservation* 42(2): 1–10.
- Shahbazi, Y. 2017b. Antibacterial and antioxidant properties of methanolic extracts of apple (*Malus pumila*), grape (*Vitis vinifera*), pomegranate (*Punica granatum* L.) and common fig (*Ficus carica* L.) fruits. *Pharmaceutical Sciences* 23: 308–315.
- Tarique, J., Sapuan, S.M. & Khalina, A. 2021. Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. *Scientific Reports* 11: 1–17.
- Terzioglu, P. & Sicak, Y. 2021. Citrus Limon L. Peel Powder Incorporated Polyvinyl Alcohol/Corn Starch Antioxidant Active Films. *Journal of the Institute of Science and Technology* 11(2): 1311–1320.

- Tongdeesoontorn, W., Mauer, L.J., Wongruong, S., Sriburi, P., Reungsang, A. & Rachtanapun, P. 2021. Antioxidant films from cassava starch/gelatin biocomposite fortified with quercetin and TBHQ and their applications in food models. *Polymers* 13(7): 1–19.
- Walia, A., Kumar, N., Singh, R., Kumar, H., Kumar, V., Kaushik, R. & Kumar, A.P. 2022. Bioactive Compounds in Ficus Fruits, Their Bioactivities, and Associated Health Benefits: A Review. *Journal of Food Quality* 2022.
- Wen, H., Hsu, Y.I., Asoh, T.A. & Uyama, H. 2020. Antioxidant activity and physical properties of pH-sensitive biocomposite using poly(vinyl alcohol) incorporated with green tea extract. *Polymer Degradation and Stability* 178.
- Wu, Y., Liu, Y., Jia, Y., Zhang, H. & Ren, F. 2024. Formation and application of starch–polyphenol complexes: Influencing factors and rapid screening based on chemometrics. *Foods* 13(10): 1–23.
- Wu, Z., Wu, J., Peng, T., Li, Y., Lin, D., Xing, B., Li, C., Yang, Y., Yang, L., Zhang, L., Ma, R., Wu, W., Lv, X., Dai, J. & Han, G. 2017. Preparation and application of starch/polyvinyl alcohol/citric acid ternary blend antimicrobial functional food packaging films. *Polymers* 9(3): 1–19.
- Yilmaz, P., Demirhan, E. & Ozbek, B. 2022. Development of *Ficus carica* Linn leaves extract incorporated chitosan films for active food packaging materials and investigation of their properties. *Food Bioscience* 46: 1–9.