

Potensi Selulosa Bakteria Diperkayakan *Persicaria odorata* sebagai Pad Penyerap Makanan Lestari

(Potential of Bacterial Cellulose Enriched with *Persicaria odorata* as a Sustainable Food Absorbent Pad)

NAFIZ ADHAM OTHMAN¹, NUR 'ALIAH DAUD¹, MAZIAH SUPIAN¹, ABDUL SALAM BABJI^{1,2}, NORANIDA RADZUAN³
& NURUL AQILAH MOHD ZAINI^{1,2,*}

¹Department of Food Sciences, Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

²Innovation Centre for Confectionery Technology (MANIS), Faculty of Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi, Selangor, Malaysia

³Sri Nona Food Manufacturing Sdn. Bhd., Rawang Integrated Industrial Park, 48000 Rawang, Selangor, Malaysia

Diserahkan: 4 November 2024/Diterima: 25 Mac 2025

ABSTRAK

Pad penyerap makanan kebiasaannya diperbuat daripada bahan polimer tidak terurai seperti polietilena dan polipropilena. Inovasi pada pad penyerap makanan biourai adalah kaedah alternatif untuk memanfaatkan selulosa bakteria sebagai polimer yang mudah terurai. Penyelidikan ini dijalankan untuk menghasilkan pad penyerap makanan berasaskan selulosa bakteria daripada *Komagateibacter xylinus* menggunakan minuman kordial tamat tempoh sebagai medium pertumbuhan bakteria. Selain itu, potensi daun kesum *Persicaria odorata* sebagai agen anti-mikrob turut dikaji. Dua kaedah pengekstrakan iaitu 70% aseton dan air panas telah digunakan. Hasil ekstrak diuji keupayaannya pada analisis anti-mikrob untuk menghalang pertumbuhan bakteria patogen pada kepekatan berbeza (50-250 mg/mL). Hasil menunjukkan bahawa ekstrak aseton *P. odorata* pada kepekatan 200 mg/mL memberikan zon perencatan tertinggi terhadap *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Typhimurium dan *Staphylococcus aureus* dengan diameter zon perencatan masing-masing sebanyak 13.33±1.5, 12.67±0.58 dan 13.33±0.58 mm. Perencatan bakteria patogen oleh ekstrak aseton *P. odorata* adalah lebih baik berbanding ekstrak air panas *P. odorata*. Peratus kadar penguraian selulosa bakteria kawalan adalah melebihi 50% dalam tempoh 10 hari dengan nilai 78.60% pada tanah loam dan 54.45% pada tanah pasir. Peratus kadar penguraian selulosa bakteria dengan ekstrak aseton *P. odorata* menunjukkan corak perkadaran yang sama dengan nilai 67.30% pada tanah loam, 66.35% pada tanah pasir dan 44.32% pada tanah merah. Penghasilan pad penyerap makanan dengan penambahan *P. odorata* boleh diaplikasikan secara gabungan di dalam pek bungkusan makanan dan berupaya untuk diurai oleh bakteria tanah. Kajian ini menunjukkan potensi selulosa bakteria dengan gabungan ekstrak *P. odorata* sebagai pembungkus makanan aktif untuk memelihara kebersihan dan keselamatan produk makanan.

Kata kunci: Anti-mikrob; biourai; pad penyerap makanan; *Persicaria odorata*; selulosa bakteria

ABSTRACT

Food absorbent pads are usually made of non-degradable polymer materials such as polyethylene and polypropylene. Innovation in biodegradable food absorbent pads is an alternative method to utilize bacterial cellulose as a biodegradable polymer. This study was carried out to produce food absorbent pads based on bacterial cellulose from *Komagateibacter xylinus* using expired cordial drink as the bacterial growth medium. In addition, the potential of kesum leaves *Persicaria odorata* as an anti-microbial agent was also studied. Two methods of extraction, namely 70% acetone and hot water were used. The extract was tested for its ability in anti-microbial analysis to inhibit the growth of pathogenic bacteria at different concentration levels of 50-250 mg/mL. Results showed that the acetone extract of *P. odorata* at a concentration of 200 mg/mL have the highest inhibition zone against three species of pathogenic bacteria which is *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serovar Typhimurium, and *Staphylococcus aureus* with an inhibition zone diameter of 13.33±1.5 mm, 12.67±0.58 mm and 13.33±0.58 mm, respectively. The inhibition of pathogenic bacteria by the acetone extract of *P. odorata* was better than the hot water extract of *P. odorata*. The percentage degradation of control bacterial cellulose was more than 50% within 10 days with a value of 78.60% at loam soil and 54.45% at sandy soil, in contrast to red soil with a value of 47.10%. The percentage degradation of bacterial cellulose with acetone extract of *P. odorata* showed the same proportion pattern (>50%) with values of 67.30% at loam soil and 66.35% at sandy soil. The development of food absorbent pads with the addition of *P. odorata* can be applied in combination in the food packaging packs and is able to be decomposed by soil bacteria. This study showed the potential of bacterial cellulose with

a combination of acetone extract *P. odorata* as an active food wrapper with anti-microbial active ingredient content to maintain the cleanliness and safety of food products.

Keywords: Anti-microbial; bacterial cellulose; biodegradation; food absorbent pads; *Persicaria odorata*

PENGENALAN

Bahan makanan berunsurkan daging seperti ayam, daging merah dan ikan perlu disimpan dalam keadaan sejuk beku sebagai langkah untuk menjaga kualiti dan kesegarannya. Produk yang mudah rosak seperti ayam, daging dan ikan mengandungi sekitar 75% kandungan cecair menjadikannya cenderung terhadap kerosakan makanan yang disebabkan oleh pertumbuhan mikrob (Pettersen et al. 2021). Di samping itu, cecair tersebut boleh mengalir ke bahagian bungkusan bersebelahan sekiranya tiada bahan penyerap dan seterusnya berpotensi menyebabkan berlaku pencemaran silang.

Teknologi pembungkusan makanan aktif dibangunkan bertujuan untuk menjamin kualiti makanan yang mudah rosak serta memanjangkan tempoh jangka hayat melalui interaksi antara produk makanan dengan bahan aktif dalam pembungkusan makanan aktif (Vázquez, Flórez & Cazón 2024). Antara sistem pembungkusan makanan aktif yang dihasilkan adalah penyerap oksigen dan karbon dioksida, penyerap lembapan dengan fungsi anti-bakteria, penyerap sisa etilena, penyerap rasa dan bau serta bahan yang mengandungi dan mengekalkan lembapan alkohol (Firouz, Mohi-Alden & Omid 2021). Pembungkusan makanan aktif dengan aktiviti anti-mikroorganisma mendapat perhatian penyelidik terutamanya ciri anti-bakteria dan kesan toksik yang rendah serta sesuai untuk menghalang pertumbuhan bakteria patogen (Pandey, Sharma & Gundabala 2022).

Minuman manis kordial yang dihasilkan di pasaran kebanyakannya mengandungi kandungan gula yang tinggi (Chi & Scott 2019). Menurut laporan tahunan Persatuan Minuman Ringan British (2016), minuman kordial telah dikelaskan sebagai minuman ringan seperti minuman berkarbonat, jus buah-buahan, minuman sukan dan tenaga. Minuman kordial juga dikenali sebagai minuman yang boleh dicairkan. Justeru, kandungan gula yang tinggi di dalam minuman kordial tamat tempoh berpotensi digunakan sebagai media fermentasi alternatif untuk menghasilkan selulosa bakteria.

Penghasilan selulosa bakteria kebanyakannya adalah hasil tindak balas daripada bakteria genus *Gluconacetobacter*, *Komagataebacter xylinus* (Reis et al. 2019). Selulosa bakteria mempunyai ciri yang sesuai sebagai pad penyerap makanan seperti kadar penyerapan air yang tinggi, kehabluran yang tinggi, polimer yang boleh diurai oleh tindak balas bakteria dan tidak toksik terhadap persekitaran (Vilela et al. 2018). Penggunaan selulosa bakteria sebagai pad penyerap makanan serta sisa buangan kordial mengurangkan risiko penggunaan bahan kimia dan mengoptimalkan bahan sedia ada serta dapat memberi kelebihan kepada industri.

Daun kesum *Persicaria odorata* sering digunakan sebagai ramuan dalam masakan bukan sahaja di Malaysia, bahkan di negara Asia Tenggara seperti Vietnam, Kemboja, Singapura, Laos, Siam dan Indonesia. Daun kesum mempunyai bahan bioaktif yang tinggi termasuk bahan antioksidan, anti-radang, anti-mikrob serta antikulat dan digunakan bagi memperbaiki fungsi badan dan mengurangkan risiko penyakit (Kiranman & Yusof 2022). Di samping itu, kajian lepas menunjukkan bahawa aseton adalah pelarut organik terbaik untuk mengekstrak anti-oksidan dan anti-mikrob dengan keupayaannya untuk melarutkan kedua-dua bahan organik dan bukan organik (Kuppusamy et al. 2023). Penyelidikan ini telah dijalankan untuk menghasilkan pad penyerap makanan menggunakan selulosa bakteria dan minuman kordial tamat tempoh dengan gabungan potensi manfaat anti-mikrob daripada ekstrak *P. odorata*. Potensi kebolehan pad penyerap makanan yang dihasilkan untuk diurai oleh bakteria tanah juga turut diuji dalam kajian ini.

BAHAN DAN KAEDAH

BAHAN KAJIAN

Medium penyediaan selulosa bakteria yang digunakan dalam kajian ini adalah minuman komersial yang tamat tempoh, yang diperolehi daripada Sri Nona Food Manufacturing Sdn. Bhd. Minuman kordial ini telah tamat tempoh pada April 2024 dan mempunyai kandungan gula sebanyak 48 mg/mL. Bahan kimia yang digunakan dalam kajian ini adalah natrium hidroksida (Fischer Chemical), kaldu de Man Rogosa (Thermo 117 Scientific™), ekstrak yis dan aseton yang diperolehi di makmal Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor. Strain *Komagataebacter xylinus* yang dibiakkan di dalam air kelapa diperolehi daripada Institut Penyelidikan dan Kemajuan Pertanian Malaysia (MARDI), Serdang, Selangor.

KAEDAH KAJIAN

PENYEDIAAN INOKULUM *Komagataebacter xylinus*

Penyediaan inokulum *K. xylinus* adalah berdasarkan kaedah daripada Yi et al. (2022). Sebanyak 1 mL larutan bakteria *K. xylinus* telah dimasukkan ke dalam kelalang kon yang mengandungi 50 mL kaldu de Man Rogosa Sharpe (MRS) dan kemudian digoncang pada 150 rpm (Mettler Incubator 126 Oven INB200, Germany) pada suhu 30 °C selama 48 jam bagi menghasilkan inokulum *K. xylinus*.

PENGHASILAN SELULOSA BAKTERIA

Minuman kordial tamat tempoh telah digunakan sebagai media fermentasi asas alternatif karbon untuk penghasilan selulosa bakteria oleh *K. xylinus*. Penyediaan media fermentasi alternatif karbon adalah berdasarkan kaedah daripada Yi et al. (2022). Kaedah pencairan dilakukan dengan melarutkan sebanyak 300 mL minuman manis kordial tamat tempoh ke dalam 300 mL air suling, nisbah 1:1. Ekstrak yis sebanyak 20 mg/L ditambah ke dalam larutan kordial cair. Media fermentasi tersebut disterilkan di dalam autoklaf (Hirayama HVE 50, Amerika Syarikat) selama 15 minit pada suhu 121 °C.

Merujuk kepada Fabiana (2021), sebanyak 10 mL inokulum *K. xylinus* ditambah ke dalam 40 mL media fermentasi dalam bekas kelalang kon bagi menghasilkan nisbah 20% (i/i). Kelalang kon ditutup dengan kapas bagi membolehkan pengudaraan sepanjang tempoh fermentasi. Kemudian, fermentasi dijalankan selama 10 hari dalam keadaan statik yang steril pada suhu 30 °C di dalam inkubator (Mettler Incubator 126 Oven INB200, Germany). Selepas 10 hari fermentasi, selulosa bakteria yang terhasil dipermukaan media dituai untuk analisis seterusnya.

PENGKESKRAKAN DAUN KESUM *Persicaria odorata*

Daun *P. odorata* telah diperolehi daripada Nurseri UKM, Bangi, Selangor. Daun *P. odorata* dibersihkan dengan menggunakan air suling dan kemudiannya dikeringkan menggunakan kaedah pengeringan sejuk beku pada suhu -80 °C selama 24 jam. Daun *P. odorata* yang kering dikisar menggunakan pengisar sehingga menjadi serbuk. Serbuk *P. odorata* diekstrak menggunakan dua pelarut berbeza iaitu pelarut aseton 70% (Famuyide et al. 2019) dan pelarut air panas (Ola et al. 2009). Sebanyak 5 g serbuk *P. odorata* direndam di dalam larutan aseton 70% dan diletakkan di dalam mesin penggoncang inkubator (LM-420D) selama 24 jam. Untuk pelarut air panas pula, sebanyak 5 g serbuk *P. odorata* dimasukkan ke dalam bikar dan dicampur dengan air panas pada suhu 100 °C. Campuran larutan tersebut diletakkan di atas plat pemanas selama 10 minit dan dihomogenkan menggunakan bar magnet. Kemudian larutan dimasukkan ke dalam tiub emparan poliester 15 mL dan diempar pada 4000×g selama 2 minit menggunakan mesin pengempar (Hettich Centrifuge, Rotofix 32 A, Labotec, Johannesburg, Afrika Selatan). Supernatan yang terkumpul ditapis melalui kertas turas Whatman No. 1 ke dalam kelalang kon. Kedua-dua hasil ekstrak daripada pelarut aseton 70% dan air panas dikeringkan dengan menggunakan mesin penyejat berputar pada 60 °C, 50 rpm untuk ekstrak aseton 70% dan pada 80 °C, 50 rpm untuk ekstrak air panas. Setelah itu, ekstrak *P. odorata* dikeringkan dengan menggunakan kaedah pengeringan sejuk beku. Ekstrak *P. odorata* kering dikikis dan ditimbang untuk mendapatkan berat hasil dalam bentuk serbuk.

GABUNGAN SELULOSA BAKTERIA DAN EKSTRAK ASETON *P. odorata*

Selulosa bakteria yang dihasilkan selepas 10 hari direndam dalam larutan 1.0 M natrium hidroksida dan diletakkan di dalam takungan air pada suhu 80 °C selama 2 jam. Selulosa bakteria yang telah dimurnikan dan dikeringkan di dalam ketuhar pengeringan pada suhu 60 °C selama 24 jam. Selulosa bakteria yang kering kemudiannya direndam dalam larutan ekstrak aseton *P. odorata* pada kepekatan 200 mg/mL selama 24 jam (Isopencu et al. 2023). Penambahan ekstrak aseton *P. odorata* dalam selulosa bakteria adalah bagi melihat potensinya sebagai agen antimikrob melalui analisis antimikrob yang akan dijalankan dalam langkah seterusnya.

ANALISIS ANTIMIKROB EKSTRAK *P. odorata* MENGUNAKAN KAEDAH RESAPAN CAKERA

Aktiviti antimikrob ekstrak *P. odorata* daripada pelarut aseton 70% dan air panas telah diuji menggunakan kaedah resapan cakera. Kesan perencatan pertumbuhan bakteria patogen dengan penambahan ekstrak aseton *P. odorata* dinilai melalui pengukuran diameter zon perencatan terhadap pertumbuhan *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium dan *Staphylococcus aureus* yang ditumbuhkan di atas agar Mueller Hinton. Sebelum penambahan ekstrak *P. odorata* di atas agar Mueller Hinton, kertas turas Whatmann No. 1 direndam dengan setiap larutan ekstrak pada kepekatan berbeza 50, 100, 150, 200 dan 250 mg/mL.

Bagi analisis aktiviti antimikrob daripada selulosa bakteria dengan gabungan ekstrak *P. odorata*, selulosa bakteria kering digunting kepada kepingan kecil dengan diameter 0.5 cm × 0.5 cm. Kepingan kecil direndam dalam agen antimikrob yang menunjukkan nilai perencatan bakteria tertinggi dalam hasil kajian ini, ekstrak aseton *P. odorata*, pada kepekatan 200 mg/mL selama 24 jam. Selulosa bakteria yang diresapkan dengan agen antimikrob pula kemudiannya diletakkan di atas agar *Mueller Hinton* yang mengandungi koloni *E. coli*, *S. Typhimurium* dan *S. aureus*.

Untuk kawalan negatif adalah kertas turas dan selulosa bakteria, masing-masing tanpa rendaman agen antimikrob. Piring agar dieramkan pada suhu 37 °C selama 24 jam. Zon perencatan yang jelas dalam piring agar diukur dalam unit diameter (mm) termasuk diameter cakera sebagai zon yang menghalang pertumbuhan bakteria. Sebanyak dua replikasi telah dijalankan untuk mendapatkan purata zon perencatan pertumbuhan bakteria patogen.

CIRI MORFOLOGI SELULOSA BAKTERIA

Selulosa bakteria untuk ujian cerapan morfologi telah disediakan menggunakan teknik pengeringan sejuk beku untuk mengeluarkan sebarang air sedia ada (Treesuppharat et al. 2017). Sampel telah dipasang dan disalut emas

sebagai persediaan untuk tujuan pencerapan menggunakan mikroskop elektron pengimbasan-pancaran medan (FE-SEM) (Hitachi SU 8090). Sebelum ujian pencerapan, sampel diletakkan di dalam desikator untuk mengelakkan pendedahan kepada kelembapan. FE-SEM telah digunakan pada voltan 5 kV dan pembesaran 20k (Mohammadkazemi, Azin & Ashori 2015).

UJIAN KADAR PENGURAIAN SELULOSA BAKTERIA

Ujian kadar penguraian selulosa bakteria dijalankan dengan menggunakan kaedah timbunan tanah di dalam takungan yang mengandungi sumber tanah (Afiqah & Aqilah 2020). Takungan bersaiz 2.5 cm × 4.2 cm diisi dengan tiga jenis tanah masing-masing iaitu tanah loam, tanah merah dan tanah pasir. Kesemua tanah ini dipilih berdasarkan jenis tanah yang banyak terdapat di Malaysia. Saiz selulosa bakteria telah dipotong kepada saiz 2 cm panjang dan 1 cm lebar. Selulosa bakteria bersaiz kecil diletakkan di dalam timbunan tanah dalam takungan berisi tanah. Kemudian, takungan tersebut diletakkan di dalam bilik pada suhu sekitar 25 °C dan kelembapan sekitar 90%. Selulosa bakteria dalam timbunan tanah dikeluarkan setiap selang dua hari bagi tempoh 10 hari.

Selulosa bakteria yang diambil dari takungan tanah untuk tujuan persampelan dibersihkan dengan menggunakan berus kecil. Berat selulosa bakteria telah diambil pada setiap selang dua hari dan kadar penguraian selulosa bakteria telah diukur melalui jumlah berat yang kurang disebabkan oleh tindak balas bakteria pengurai pada tanah. Peratus bagi berat selulosa bakteria yang diurai dikira dengan menggunakan formula seperti berikut:

$$\text{Peratus berat selulosa bakteria diurai (\%)} = \frac{\text{berat asal} - \text{berat lepas ditanam}}{\text{berat asal}} \times 100\%$$

ANALISIS STATISTIK

Analisis statistik telah dijalankan dengan menggunakan perisian Minitab versi 22. Nilai data telah direkodkan dalam nilai purata ± sisihan piawai. Analisis varians (ANOVA) dan ujian Fisher LSD telah digunakan. Nilai perbezaan signifikan adalah pada $p < 0.05$.

HASIL DAN PERBINCANGAN

PERENCATAN PERTUMBUHAN BAKTERIA *E. coli*, *S. Typhimurium* DAN *S. aureus* DENGAN PENAMBAHAN EKSTRAK *P. odorata*

Jadual 1 menunjukkan diameter zon perencatan terhadap pertumbuhan bakteria *E. coli*, *S. Typhimurium* dan *S. aureus* dengan penambahan larutan ekstrak *P. odorata* pada tahap pencairan yang berbeza. Ekstrak *P. odorata* pada kepekatan 200 mg/mL daripada kedua-dua kaedah pengekstrakan,

rendaman aseton dan air panas, menunjukkan zon perencatan yang signifikan terhadap pertumbuhan *E. coli*, *S. Typhimurium* dan *S. aureus*. Ekstrak aseton *P. odorata* berkepekatan 200 mg/mL memberikan zon perencatan yang lebih signifikan terhadap ketiga-tiga jenis bakteria patogen berbanding ekstrak air panas *P. odorata* pada kepekatan yang sama.

Penambahan ekstrak aseton *P. odorata* berkepekatan 200 mg/mL menunjukkan terdapat zon perencatan yang signifikan terhadap pertumbuhan *E. coli*, *S. Typhimurium* dan *S. aureus* masing-masing dengan nilai 13.33±1.53 mm, 12.67±0.58 mm dan 13.33±0.58 mm. Penambahan ekstrak air panas *P. odorata* berkepekatan 200 mg/mL pula menunjukkan zon perencatan pertumbuhan *E. coli*, *S. Typhimurium* dan *S. aureus* masing-masing sebanyak 10.33±1.53 mm, 11.67±0.58 mm dan 10.33±1.15 mm.

Kajian terdahulu melaporkan bahawa zon perencatan *P. odorata* yang diekstrak menggunakan aseton pada tiga jenis bakteria yang sama adalah *E. coli* dengan nilai 19.33 mm, *S. aureus* 19.50 mm dan *S. Typhimurium* 18.00 mm (Francis, Zaki & Mohd Zaini 2022). Zon perencatan yang ditunjukkan dalam kajian ini dengan ekstrak air panas *P. odorata* adalah lebih rendah berbanding ekstrak aseton 70% mungkin disebabkan oleh keterlarutan komponen aktif yang kurang baik dalam pelarut organik daripada air yang membawa kepada keberkesanan pelarut aseton 70% (Dogbey, Ibrahim & Abobe 2020). Hasil tersebut mungkin merujuk kepada jumlah kandungan ekstrak *P. odorata* yang mempunyai substrat antimikrob, terpena dan aldehid seperti dekanal, dodekanal, eremofilena, alfacurcumenan dan cariofilin (Abubakar et al. 2015).

PERENCATAN PERTUMBUHAN BAKTERIA *E. coli*, *S. Typhimurium* DAN *S. aureus* TERHADAP SELULOSA BAKTERIA DENGAN GABUNGAN EKSTRAK ASETON *P. odorata*

Rajah 1 menunjukkan selulosa bakteria yang telah direndam dalam ekstrak aseton 70% dengan kepekatan pencairan 200 mg/mL yang diletakkan pada koloni bakteria *S. aureus*, *E. coli* dan *S. Typhimurium* di atas agar *Mueller Hinton*. Jadual 1 menunjukkan diameter zon perencatan pertumbuhan bakteria terhadap selulosa bakteria dengan gabungan ekstrak aseton 70%. Hasil perencatan yang diperoleh terhadap semua bakteria tidak menunjukkan nilai zon perencatan yang signifikan berbeza dengan *E. coli* mempunyai nilai 12.33 mm, *S. Typhimurium* mempunyai nilai 11.12 mm dan *S. aureus* ialah 13.83 mm. Kajian lepas menyatakan bahawa *P. odorata* yang diekstrak menggunakan aseton menunjukkan nilai min perencatan tertinggi bagi *E. coli* dengan diameter 25.00 mm, diikuti dengan *S. aureus* (24.00 mm) dan terendah adalah di *S. Typhimurium* (22.00 mm) (Saad et al. 2014). Kesan antimikrob yang diperoleh ini menunjukkan potensi bagi penghasilan pad penyerap makanan yang bukan sahaja

mampu menyerap tirisan cecair daripada makanan basah, malah boleh mengurangkan risiko pertumbuhan bakteria patogen.

PENCIRIAN MORFOLOGI SELULOSA BAKTERIA

Pencirian morfologi selulosa bakteria kawalan dan selulosa bakteria dengan ekstrak *P. odorata* yang dikeringkan telah dilakukan dengan menggunakan FE-SEM. Rajah 2 menunjukkan mikrogram selulosa bakteria dengan dua skala pembesaran, 300x dan 7000x. Selulosa bakteria telah ditakrifkan sebagai bahan retikulum yang terdiri daripada fibril selulosa ultra-halus. Penghasilan fibril selulosa bakteria adalah dipengaruhi oleh pelbagai faktor termasuk nutrien, keadaan pertumbuhan dan spesies bakteria (Mohammadkazemi, Azin & Ashori 2015). Berdasarkan imej mikrogram FE-SEM, selulosa bakteria kawalan, selulosa bakteria aseton *P. odorata* dan selulosa bakteria air panas *P. odorata* menunjukkan hasil cerapan yang berbeza. Selulosa bakteria kawalan menunjukkan jaringan selulosa yang dibentuk oleh gentian nanometrik (Rodriguez-Chanfrau et al. 2017) dengan rangkaian yang stabil dan padat tetapi rawak dan berongga, dikenali sebagai struktur seperti fibrillar (Kadier et al. 2021).

Selulosa bakteria aseton *P. odorata* mempunyai permukaan yang lebih rata dan hampir tidak kelihatan jaringan serat seperti selulosa bakteria kawalan. Selulosa bakteria aseton *P. odorata* juga mempunyai liang-liang pori lebih besar berbanding selulosa bakteria kawalan. Ini dapat diperhatikan pada 7000x skala pembesaran. Selulosa bakteria air panas *P. odorata* pula menunjukkan permukaan yang lebih rata berbanding selulosa bakteria aseton *P. odorata* dengan kehadiran liang-liang pori yang lebih kecil berbanding selulosa bakteria aseton *P. odorata*. Menurut Rodriguez-Chanfrau et al. (2017), beberapa

kesan tindak balas selulosa bakteria terhadap bahan kimia yang berbeza adalah berkait rapat dengan struktur gentian. Selulosa ialah sekumpulan polihabur yang mengandungi bahan kristal dan amorfus. Selulosa bakteria mempunyai kecenderungan untuk membentuk ikatan hidrogen antara molekul. Kewujudan ikatan ini secara signifikan mempengaruhi kereaktifan selulosa dengan meningkatkan kehabluran selulosa di dalam selulosa bakteria, menyukarkan penembusan pelarut dan reagen. Sebaliknya, ciri selulosa yang amorfus iaitu kelihatan tidak teratur memudahkan penembusan pelarut dan reagen untuk bertindak balas.

KADAR PENGURAIAN SELULOSA BAKTERIA

Kadar penguraian selulosa bakteria pada tanah loam, tanah merah dan tanah pasir

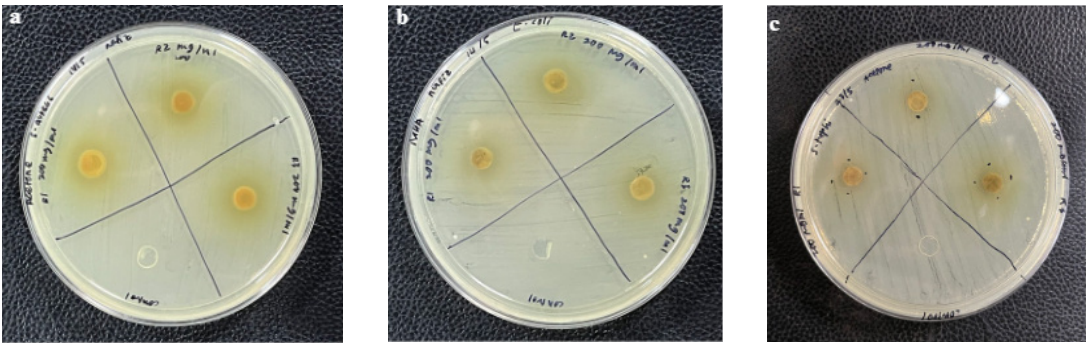
Jadual 2 menunjukkan peratus kadar penguraian selulosa bakteria kawalan dan selulosa bakteria aseton *P. odorata* dalam tempoh sepuluh hari. Kedua-dua jenis selulosa bakteria tidak memerlukan jumlah masa yang lama untuk mencapai peratus kadar penguraian yang melebihi 50%. Peratus kadar penguraian selulosa bakteria kawalan selepas sepuluh hari pada timbunan tanah loam mempunyai nilai tertinggi sebanyak 78.60%, diikuti tanah pasir sebanyak 54.45% dan tanah merah sebanyak 47.10%. Peratus kadar penguraian selulosa bakteria aseton *P. odorata* selepas sepuluh hari pada timbunan tanah loam mencapai nilai tertinggi sebanyak 67.30%, diikuti tanah pasir sebanyak 66.35% dan tanah merah iaitu 44.32%.

Menurut hasil kajian lepas, selulosa bakteria mempunyai keupayaan untuk diurai lebih daripada 50% oleh bakteria daripada tanah adalah dalam tempoh tiga hari dan 100% diurai pada hari ketujuh di dalam tanah (Zahan et al. 2020). Struktur selulosa bakteria yang

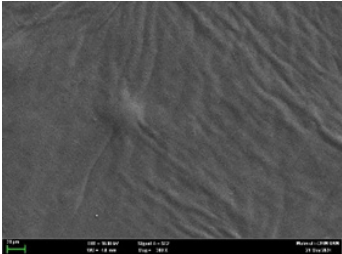
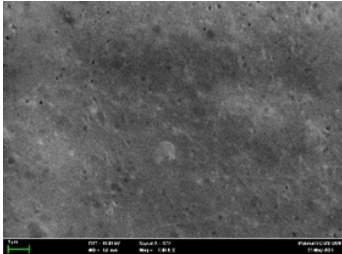
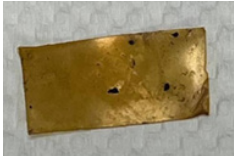
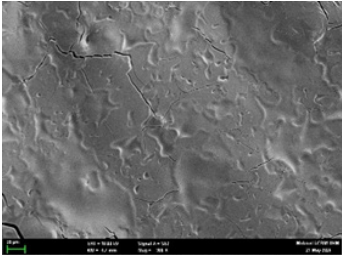
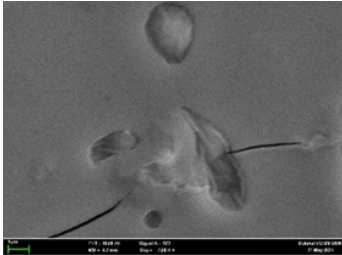
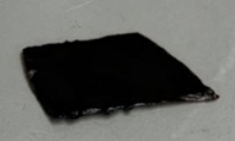
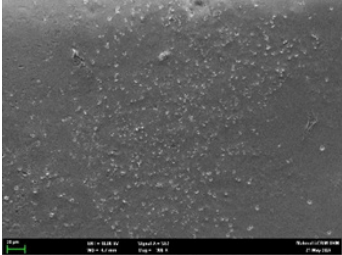
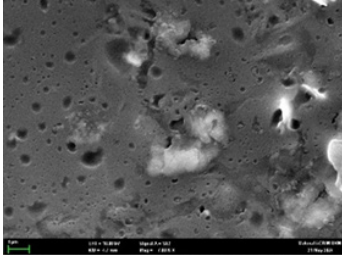
JADUAL 1. Diameter zon perencatan (mm) ekstrak *P. odorata* terhadap bakteria *E. coli*, *S. Typhimurium* dan *S. aureus* menggunakan jenis pengestrakan aseton 70% dan air panas dan pada kepekatan ekstrak *P. odorata* yang berbeza

Jenis pengestrakan	Kepekatan ekstrak (mg/mL)	Zon perencatan (mm)		
		<i>E. coli</i>	<i>S. Typhimurium</i>	<i>S. aureus</i>
Aseton 70%	50	8.17±1.16 ^{ghi}	8.33±0.58 ^{ghi}	8.00±0.00 ^{ghi}
	100	10.33±1.53 ^{cdef}	9.67±0.58 ^{defg}	10.67±0.58 ^{cde}
	150	10.83±0.76 ^{cde}	10.67±0.58 ^{cde}	11.67±0.58 ^{abc}
	200	13.33±1.5 ^{3a}	12.67±0.5 ^{8ab}	13.33±0.5 ^{8a}
	250	13.00±1.00 ^a	12.00±0.00 ^{abc}	13.00±1.00 ^a
Air panas	50	7.00±1.00 ^{hi}	7.00±1.00 ^{hi}	6.67±1.16 ⁱ
	100	8.33±1.53 ^{ghi}	8.00±1.00 ^{ghi}	8.00±1.00 ^{ghi}
	150	8.67±2.08 ^{fgh}	9.33±0.58 ^{efg}	8.67±2.08 ^{fgh}
	200	10.33±1.53 ^{cdef}	11.67±0.58 ^{abc}	10.33±1.15 ^{cdef}
	250	10.50±0.50 ^{cde}	11.17±0.76 ^{bcd}	9.50±1.80 ^{defg}

Nilai menunjukkan min ± sisihan piawai. Min (n=3) dengan abjad ^{a-i} yang berbeza pada lajur yang sama menunjukkan perbezaan yang ketara (p<0.05)



RAJAH 1. Cerapan zon perencatan daripada selulosa bakteria aseton *P. odorata* terhadap *S. aureus* (a), *E. coli* (b) dan *S. Typhimurium* (c) sebanyak tiga replikasi pada setiap piring agar

Jenis sampel	Imej selulosa bakteria	Imej mikrograf selulosa bakteria di bawah FE-SEM	
		300x	7000x
Selulosa bakteria kawalan			
Selulosa bakteria aseton <i>P. odorata</i>			
Selulosa bakteria air panas <i>P. odorata</i>			

RAJAH 2. Imej mikrograf FE-SEM bagi selulosa bakteria kawalan, selulosa bakteria aseton *P. odorata* dan selulosa bakteria air panas *P. odorata* pada skala pembesaran 300x dan 7000x

terdiri daripada gentian nanoselulosa kristal dan sejumlah kecil rantai selulosa amorfus adalah mudah diurai oleh mikroorganisma pada tanah seperti *Bacillus* sp. dan *Rhizopus* sp. (Potivara & Phisalaphong 2019). Selulosa bakteria kawalan dan selulosa bakteria aseton *P. odorata* pada tanah loam dan tanah pasir dalam kajian ini boleh mencapai kadar penguraian yang tinggi melebihi 50% dan sebaliknya bagi tanah merah yang kurang daripada 50% dalam tempoh sepuluh hari.

Cerapan fizikal selulosa bakteria selepas proses biodegradasi

Rajah 3 menunjukkan cerapan selulosa bakteria kawalan daripada timbunan tanah loam (1), tanah merah (2) dan tanah pasir (3) pada hari pertama. Selulosa bakteria tersebut mengalami penguraian secara signifikan pada hari

kesepuluh daripada tanah loam (4), tanah merah (5) dan tanah pasir (6). Perbezaan antara tanah loam, tanah merah dan tanah pasir adalah berdasarkan faktor nisbah karbon kepada nitrogen (C:N) yang berbeza yang menjelaskan keadaan selulosa bakteria kawalan yang kurang diurai oleh bakteria daripada pada tanah merah dan tanah pasir (Adjuik, Nokes & Montross 2023).

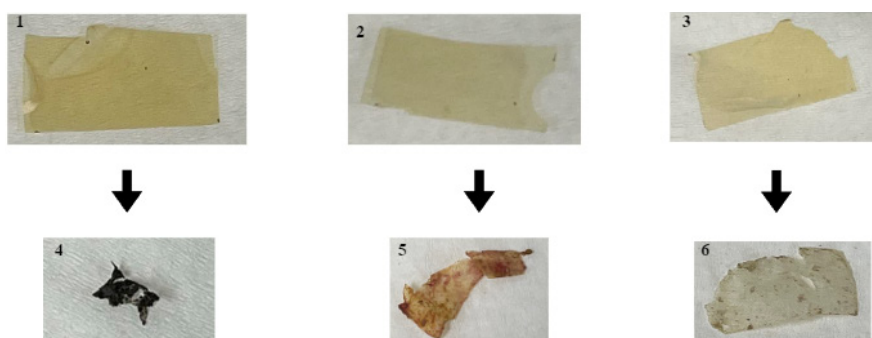
Rajah 4 menunjukkan cerapan selulosa bakteria aseton *P. odorata* daripada timbunan tanah loam (a), tanah merah (b) dan tanah pasir (c) pada hari pertama. Selulosa bakteria tersebut mengalami penguraian secara signifikan pada hari kesepuluh daripada tanah loam (d), tanah merah (e) dan tanah pasir (f) dan lebih signifikan berbanding selulosa bakteria kawalan. Hasil tersebut diperoleh berdasarkan ciri selulosa bakteria yang tiada sebatian hemiselulosa, lignin dan lain-lain sebatian bukan selulosa, tahap kehabluran

JADUAL 2. Peratus kadar penguraian selulosa bakteria kawalan dan selulosa bakteria aseton *P. odorata* pada tanah loam, tanah merah dan tanah pasir setiap hari sehingga hari kesepuluh

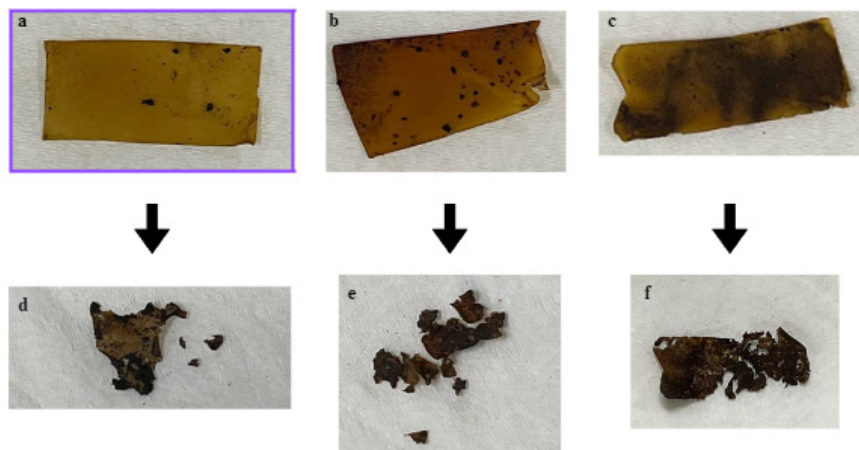
Jenis sampel	Masa (Hari)	Kadar penguraian (%)		
		Tanah loam	Tanah merah	Tanah pasir
Selulosa bakteria aseton <i>P. odorata</i>	0	0.00±0.00 ^r	0.00±0.00 ^r	0.00±0.00 ^r
	2	9.08±5.29 ^{pqr}	8.02±8.05 ^{pqr}	1.99±2.81 ^r
	4	29.67±13.89 ^{ijklmno}	11.72±4.24 ^{opqr}	4.89±5.13 ^{qr}
	6	43.30±14.90 ^{efghijk}	23.12±1.83 ^{lmnopq}	23.90±16.00 ^{klmnopq}
	8	57.21±1.14 ^{bcdef}	36.26±1.13 ^{ghijklmn}	30.60±22.70 ^{ijklmno}
	10	67.30±3.07 ^{abc}	44.32±2.65 ^{efghij}	66.35±12.68 ^{abcd}
Selulosa bakteria kawalan	0	0.00±0.00 ^r	0.00±0.00 ^r	0.00±0.00 ^r
	2	18.30±20.90 ^{nopqr}	18.57±2.70 ^{nopqr}	18.75±7.01 ^{mnpqr}
	4	51.49±9.59 ^{bcdefgh}	27.78±5.01 ^{ijklmnop}	40.10±3.07 ^{fghijkl}
	6	62.50±15.20 ^{abcde}	32.16±9.05 ^{hijklmn}	48.48±2.96 ^{cdefghi}
	8	68.60±18.80 ^{ab}	38.25±7.10 ^{fghijklm}	51.18±2.40 ^{bcdefgh}
	10	78.60±18.00 ^a	47.10±15.2 ^{defghij}	54.45±2.65 ^{bcdefg}

Nilai menunjukkan min ± sisihan piawai. Min (n=3).

^{a-r} Abjad kecil berbeza pada lajur yang sama menunjukkan perbezaan yang ketara ($p < 0.05$)



RAJAH 3. Cerapan selulosa bakteria kawalan daripada tanah loam (1), tanah merah (2) dan tanah pasir (3) pada hari pertama manakala daripada tanah loam (4), tanah merah (5) dan tanah pasir (6) pada hari kesepuluh



RAJAH 4. Cerapan selulosa bakteria aseton *P. odorata* daripada tanah loam (a), tanah merah (b) dan tanah pasir (c) pada hari pertama manakala daripada tanah loam (d), tanah merah (e) dan tanah pasir (f) pada hari kesepuluh

yang tinggi sekitar 84-90% berbanding selulosa tumbuhan hanya sekitar 40-60% dengan kehabluran yang tinggi mempercepat proses penguraian (Cazón & Vázquez 2021; Kamaruddin, Dirpan & Bastian 2021; Swinger et al. 2021).

KESIMPULAN

Selulosa bakteria dengan gabungan ekstrak aseton *P. odorata* yang dapat menghalang pertumbuhan bakteria patogen menunjukkan potensi selulosa bakteria yang dihasilkan sebagai pembungkus makanan aktif. Kesan gabungan selulosa bakteria dan ekstrak aseton *P. odorata* boleh mempunyai aktiviti perencatan yang lebih baik terhadap bakteria patogen seperti *E. coli*, *S. Typhimurium* dan *S. aureus* berbanding gabungan selulosa bakteria dan ekstrak air panas *P. odorata*. Peratus kadar penguraian selulosa bakteria tanpa ekstrak dan dengan gabungan ekstrak *P. odorata*, kedua-duanya mempunyai kadar penguraian yang baik melebihi 50% dalam tempoh 10 hari. Kajian lanjutan untuk menilai kebolehan selulosa bakteria dengan gabungan ekstrak aseton *P. odorata* sebagai pad penyerap makanan terhadap produk makanan basah boleh diterokai pada masa hadapan bagi menguji tahap keberkesannya. Kesimpulannya, kajian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada para pengkaji, pengguna dan kumpulan industri makanan.

PENGHARGAAN

Penyelidikan ini ditaja oleh geran Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM-TR2023-14). Penulis juga ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Jabatan Sains Makanan, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia atas kemudahan penyelidikan yang disediakan.

RUJUKAN

- Abubakar, M.A., Zulkifli, R.M., Hassan, W.N.A.W., Shariff, A.H.M., Malek, N.A.N.N., Zakaria, Z. & Ahmad, F. 2015. Antibacterial properties of *Persicaria minor* (Huds.) ethanolic and aqueous-ethanolic leaf extracts. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 5: 50-56.
- Adjuik, T.A., Nokes, S.E. & Montross, M.D. 2023. Biodegradability of bio-based and synthetic hydrogels as sustainable soil amendments: A review. *Journal of Applied Polymer Science* 140: e53655.
- Afiqah, A. & Aqilah, N. 2020. Potensi selulosa bakteria sebagai pembungkusan makanan lestari. Ijazah Sarjana Sains Muda, Tesis, Fakulti Sains dan Teknologi Universiti Kebangsaan Malaysia (Tidak diterbitkan).
- Cazón, P. & Vázquez, M. 2021. Improving bacterial cellulose films by *ex-situ* and *in-situ* modifications: A review. *Food Hydrocolloids* 113: 106514.
- Chi, D.L. & Scott, J.M. 2019. Added sugar and dental caries in children: A scientific update and future steps. *Dental Clinics of North America* 63(1): 17-33.
- Dogbey, B.F., Ibrahim, S. & Abobe, J.A.E. 2020. Comparison of antioxidant and antimicrobial activities of acetone and water extracts of *Theobroma cacao* beans. *Advances in Microbiology* 10(09): 478-491.
- Fabiana, F. 2021. Penghasilan selulosa bakteria daripada minuman cordial yang tamat tempoh dan potensi penggunaannya sebagai gel selulosa anti-pemerangan. Ijazah Sarjana Sains, Tesis, Fakulti Sains dan Teknologi Universiti Kebangsaan Malaysia (Tidak diterbitkan).

- Famuyide, I.M., Aro, A.O., Fasina, F.O., Eloff, J.N. & McGaw, L.J. 2019. Antibacterial and antibiofilm activity of acetone leaf extracts of nine under-investigated south African *Eugenia* and *Syzygium* (Myrtaceae) species and their selectivity indices. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 19(1): 141.
- Firouz, M.S., Mohi-Alden, K. & Omid, M. 2021. A critical review on intelligent and active packaging in the food industry: Research and development. *Food Research International* 141: 110-113.
- Francis, F., Zaki, Z.A.A.B. & Mohd Zaini, N.A. 2022. Production of bacterial cellulose from expired cordial beverages and their potential use as anti-bright cellulose gel. *Sains Malaysiana* 51(5): 1399-1410.
- Isopencu, G., Deleanu, I., Busuioc, C., Oprea, O., Surdu, V.A., Bacalum, M., Stoica, R. & Stoica-Guzun, A. 2023. Bacterial cellulose—Carboxymethylcellulose composite loaded with turmeric extract for antimicrobial wound dressing applications. *International Journal of Molecular Sciences* 24(2): 1719.
- Kadier, A., Ilyas, R.A., Huzaifah, M.R.M., Harihastuti, N., Sapuan, S.M., Harussani, M.M., Azlin, M.N.M., Yuliasni, R., Ibrahim, R., Atikah, N., Wang, J., Chandrasekhar, K., Islam, A., Sharma, S., Punia, S., Rajasekar, A., Asyraf, M.R.M., Ishak, M.R. & Puglia, D. 2021. Use of industrial wastes as sustainable nutrient sources for bacterial cellulose (BC) production: Mechanism, advances, and future perspectives. *Polymers* 13(19): 3365.
- Kamaruddin, I., Dirpan, A. & Bastian, F. 2021. The novel trend of bacterial cellulose as biodegradable and oxygen scavenging films for food packaging application: An integrative review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 807: 022066.
- Kiraman, N.A.S. & Yusof, H. 2022. A mini review on the methods for the extraction, isolation, and determination of *P. odorata*'s bioactive compounds. *Healthscope* 5(2): 38-44.
- Kuppusamy, K.M., Selvaraj, S., Singaravelu, P., John, C.M., Racheal, K., Varghese, K., Kaliyamoorthy, D., Perumal, E. & Gunasekaran, K. 2023. Anti-microbial and anti-cancer efficacy of acetone extract of *Rosa chinensis* against resistant strain and lung cancer cell line. *BMC Complementary Medicine and Therapies* 23(1): 406.
- Mohammadkazemi, F., Azin, M. & Ashori, A. 2015. Production of bacterial cellulose using different carbon sources and culture media. *Carbohydrate Polymers* 117: 518-523. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014486171401011X>
- Ola, S.S., Catia, G., Marzia, I., Francesco, V.F., Afolabi, A.A. & Nadia, M. 2009. HPLC/DAD/MS characterisation and analysis of flavonoids and cinnamoyl derivatives in four Nigerian green-leafy vegetables. *Food Chemistry* 115(4): 1568-1574. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881460900199X>
- Pandey, S., Sharma, K. & Gundabala, V. 2022. Antimicrobial bio-inspired active packaging materials for shelf life and safety development: A review. *Food Bioscience* 48: 101730. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212429222001894>
- Pettersen, M.K., Nilsen-Nygaard, J., Hansen, A.Å., Carlehög, M. & Liland, K.H. 2021. Effect of liquid absorbent pads and packaging parameters on drip loss and quality of chicken breast fillets. *Foods* 10(6): 1340.
- Potivara, K. & Phisalaphong, M. 2019. Development and characterization of bacterial cellulose reinforced with natural rubber. *Materials* 12(14): 2323.
- Reis, D.T., dos Santos Pereira, A.K., Scheidt, G.N. & Pereira, D.H. 2019. Plant and bacterial cellulose: Production, chemical structure, derivatives and applications. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry* 11(5): 321-329.
- Rodríguez-Chanfrau, J.E., Luiz Dos Santos, M., Dos Santos Riccardi, C., De Olyveira, G.M., Hernández-Escalona, M., Basmaji, P., Veranes-Pantoja, Y. & Guastaldi, A.C. 2017. Chemical modification of bacterial cellulose for use in regenerative medicine. *Cellulose Chemistry and Technology* 51(7-8): 673-680.
- Saad, R., Khan, J., Krishnanmurthi, V., Asmani, F. & Yusuf, E. 2014. Effect of different extraction techniques of *Persicaria odorata* extracts utilizing anti-bacterial bioassay. *British Journal of Pharmaceutical Research* 4(18): 2146-2154.
- Swingler, S., Gupta, A., Gibson, H., Kowalczyk, M., Heaselgrave, W. & Radecka, I. 2021. Recent advances and applications of bacterial cellulose in biomedicine. *Polymers* 13(3): 412.
- Treesuppharat, W., Rojanapanthu, P., Siangsano, C., Manuspiya, H. & Ummartyotin, S. 2017. Synthesis and characterization of bacterial cellulose and gelatin-based hydrogel composites for drug-delivery systems. *Biotechnology Reports* 15: 84-91. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215017X17300735>
- Vázquez, M., Flórez, M. & Cazón, P. 2024. A strategy to prolong cheese shelf-life: Laminated films of bacterial cellulose and chitosan loaded with grape bagasse antioxidant extract for effective lipid oxidation delay. *Food Hydrocolloids* 156: 110232.

- Vilela, C., Kurek, M., Hayouka, Z., Röcker, B., Yildirim, S., Antunes, M.D.C., Nilsen-Nygaard, J., Pettersen, M.K. & Freire, C.S.R. 2018. A concise guide to active agents for active food packaging. *Trends in Food Science and Technology* 80: 212-222.
- Yi, T.J., Francis, F., Mutalib, S.A. & Zaini, N.A.M. 2022. Antimicrobial activity of bacterial cellulose from *Komagataeibacter xylinus* using expired commercial sweet drinks as a source of carbon. *Sains Malaysiana* 51(8): 2695-2711.
- Zahan, K.A., Azizul, N.M., Mustapha, M., Tong, W.Y., Abdul Rahman, M.S. & Sahuri, I.S. 2020. Application of bacterial cellulose film as a biodegradable and antimicrobial packaging material. *Materials Today: Proceedings* 31: 83-88. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320302674>
- *Pengarang untuk surat-menyurat; email: nurulaqilah@ukm.edu.my