

TREN KEMASAN EDIBLE SEBAGAI KEMASAN PANGAN TERKINI DAN MASA DEPAN***The Tren Of Edible Film As Food Packaging For The Present And Future*****Muhammad Sudirman Akilie**Fakultas Pertanian, Universitas Ichsan Gorontalo
msakili85@gmail.comKoresponden: msakili85@gmail.com, 0811431510**Abstrak****Jejak pengiriman:**Diterima: 26-1-2024
Revisi Akhir: 26-4-24
Disetujui: 27-4-2024

Kemasan edible berperan penting dalam melindungi produk pangan dari kerusakan fisik, mekanis, kimiawi, dan mikrobiologis dengan menciptakan penghalang (*barrier*) terhadap oksidasi, air, dan mengendalikan aktivasi enzim. Penggunaan agen aktif seperti ekstrak tumbuhan, minyak esensial, penghubung silang, dan bahan nano dalam kemasan edible memberikan peningkatan mekanik, fisik, penghalang, dan sifat-sifat lain dari bahan yang dapat dimakan bersama produk pangan. Kemajuan dan tren terkini dalam pengembangan kemasan edible komposit (biner dan terner) untuk aplikasi pangan dari beberapa jenis bahan aktif seperti minyak atsiri, ekstrak tumbuhan, bahan pengikat silang, dan bahan nano serta efeknya terhadap produk pangan. Konsep studi komprehensif yang diperlukan untuk mengembangkan lapisan dan film kemasan edible untuk aplikasi pengemasan pangan ramah lingkungan, serta tantangannya terkait penerimaan konsumen dan persyaratan peraturan kemasan edible komersial. Penelitian lebih lanjut terkait peningkatan kemasan edible komposit (biner dan terner) sebagai kemasan masa depan perlu dikaji secara intensif dan berkelanjutan.

Kata kunci: Kemasan edible, komposit, film-pelapis, masa simpan, mutu pangan

Abstract

Edible film packaging roles important to protect food from physical damage, mechanical, chemical, and microbiological by producing a barrier against oxidation, water, and controlling enzyme activation. The use of active agents such as plant extracts, essential oils, cross-linkers, and nanomaterials in edible packaging provides mechanical, physical, barrier improvements, and other properties of edible materials along with food products. Progression and trends in the development of composite (binary and ternary) edible packaging for food applications from several types of active ingredients such as essential oils, plant extracts, cross-linking agents, and nanomaterials and their effects on food products. A comprehensive study concept requires to development of edible packaging films and coatings for eco-friendly food packaging applications, the challenges related to consumer acceptance, and regulatory requirements of commercial edible film packaging. The research is expected for the improvement of composite (binary and ternary) edible packaging as future packaging needs to be studied intensively and continuously.

Keywords: Composites, edible packaging, film-coatings, food quality, shelf-life

Pendahuluan

Kemasan pangan penting dalam meningkatkan umur simpan produk pangan yang mudah rusak (*perishable*) dan agak cepat rusak (*semi perishable*). Peran utama dari pengemasan pangan adalah memberikan perlindungan pada pangan dari efek fisik, mekanis, kimia, dan efek biologis dengan menciptakan sifat penghalang (*barrier*) terhadap transpirasi air dan pertukaran gas, mempertahankan atribut mutu yang lebih baik, dan mengurangi beban mikrobiologis dan limbah padat yang dapat mempengaruhi umur simpan produk pangan. Kekurangan teknologi pengemasan, dapat mempengaruhi lingkungan sekitar dengan menghasilkan limbah hasil pangan. Penggunaan kemasan yang tidak dapat terurai (*nonbiodegradable*) dan tidak ramah lingkungan (*unecofriendly*) menimbulkan dampak lingkungan yang serius. Kemasan edible dalam bentuk pelapis dan film dapat menjadi solusi alternatif terbaik untuk mengurangi pilihan kemasan yang tidak terbarukan dan tidak dapat terurai di alam. Pengembangan lapisan kemasan edible dalam memperpanjang masa simpan pangan, telah terlihat pertumbuhan yang luar biasa dalam beberapa tahun terakhir. Peningkatan disebabkan oleh penggunaan film dan pelapis kemasan edible yang lebih besar, sebagai alternatif dari bahan kemasan pangan berbasis plastik. Negara-negara bergerak maju dari ekonomi linier ke ekonomi sirkular. Tahun 2020, Negara Uni eropa telah mengadopsi ekonomi sirkular dengan rencana kerja, yang bertujuan mengurangi kemasan limbah tradisional dan mempromosikan penggunaan polimer yang dapat terurai secara alami untuk menjaga lingkungan. Beberapa tahun terakhir (2000-2021), sejumlah besar penelitian dalam aspek pelapis dan film kemasan edible untuk produk pangan telah diterbitkan dalam berbagai database jurnal yang terindeks bereputasi (Kumar et al., 2023).

Kemasan pangan memainkan peran penting dalam melindungi produk pangan selama rantai pasok dan periode penyimpanan yang dapat membantu mengurangi limbah dan kehilangan pangan. Inovasi dalam teknologi pengemasan pangan, seperti kemasan edible dan kemasan berbasis nano, memberikan peluang baru untuk meningkatkan efisiensi bahan kemasan serta mutu produk pangan yang memberikan perlindungan dari kerusakan. Kemasan sejak dulu, terbuat dari polimer minyak bumi, yang telah digunakan untuk tujuan pengemasan yang tidak menguntungkan, karena masalah lingkungan dan keamanan pangan. Untuk mengatasi persoalan ini, kemasan edible membantu dalam mengurangi penggunaan polimer sintetis/plastik dalam industri pengemasan pangan. Berbagai jenis biopolimer alami seperti polisakarida, protein, dan lipid yang berasal dari sumber tanaman dan hewan tersedia, untuk dikembangkan sebagai kemasan edible dari berbagai kategori pangan, biopolimer ini memiliki lapisan dan film yang baik, karena kemampuan membentuk sifat mudah terurai (*biodegradable*) dan tidak beracun. Tujuan utama dari penulisan artikel ini adalah meninjau literatur yang relevan dari berbagai tren terkini jenis kemasan pangan edible (pelapis dan film), komponen yang dapat dimakan, dan berbagai jenis aditif (zat aktif, bahan nano, pemlastis). Selain itu, efek dari berbagai jenis kemasan edible komposit, termasuk kemasan biner dan terner pada atribut mutu yang diaplikasikan pada berbagai jenis produk pangan sebagai pangan masa depan yang aman dan ramah lingkungan.

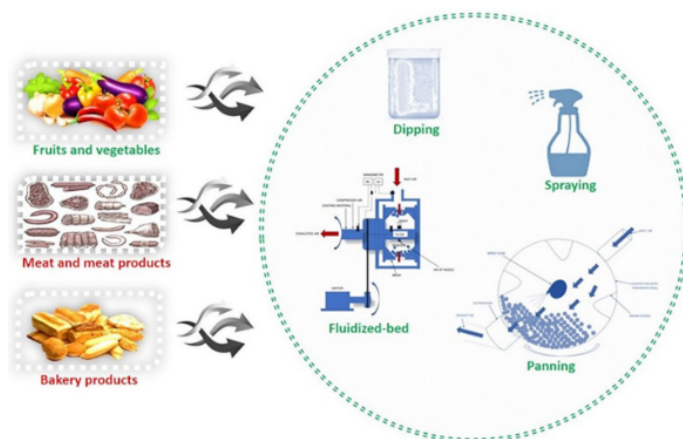
Pembahasan

Karakteristik kemasan edible

Edible film adalah lapisan tipis dan kontinu yang dibuat dari bahan yang dapat dimakan, dibentuk di atas komponen makanan atau diletakkan diantara komponen makanan yang berfungsi sebagai penghambat terhadap transfer massa (misalnya kelembaban, oksigen, lipida, zat terlarut). Merupakan salah satu kemasan alternatif untuk mengurangi penggunaan kemasan plastik sintetis (*nonbiodegradable*) yang saat ini masih dominan. Karakteristik edible film dari pektin kulit pisang dengan penambahan gliserol 20% memiliki nilai kejernihan 7.04, ketebalan edible film (ΔE) 0.14 mm, kuat tarik edible film 12.50 MPa, laju transmisi uap air 128.85 g/ m² 24 jam. Penambahan Gliserol berpengaruh nyata dalam menurunkan nilai kuat tarik dan menaikkan nilai elongasi edible film. Perlakuan dengan penambahan konsentrasi gliserol 20% memiliki standar kemasan edible film yang dapat

mengemas bahan pangan dengan baik (Akili et al., 2012). Contoh pemlastis (gliserol, propilen glikol, dan polietilen glikol) yang diaplikasikan pada kemasan edible film, sebagai molekul rendah senyawa berat dan tidak mudah menguap, digunakan untuk meningkatkan viskositas, ketahanan, fleksibilitas, kelarutan, penghalang, termal, dan sifat mekanik dari film dan pelapis yang dapat dimakan dengan mengurangi ketegangan kekerasan, deformasi, kepadatan, viskositas, dan muatan elektrostatik polimer (Díaz-Montes & Castro-Muñoz, 2021).

Bahan kemasan berbasis plastik dan sintetis tidak dapat terurai secara alami dan menyebabkan banyak masalah bagi lingkungan serta kesehatan manusia. Untuk mendapatkan sifat ideal dari kemasan, pelapis, dan film yang dapat dimakan, karakteristik fisik, kimia, mekanik, karakteristik termal, penghalang (*barrier*), dan biologis sangat penting. Sifat-sifat ini biasanya mencakup kelembaban /sifat penghalang gas, reologi, sifat perekat, transparansi, opasitas, penyerapan air, kelarutan, kapasitas pembengkakan, sifat termal (transisi kaca), mekanis (kekuatan tarik, elongasi), warna, sudut kontak, hidrofilik-hidrofobik interaksi, ukuran partikel, struktur mikro, fungsional, antimikroba, antijamur, antioksidan dan organoleptik. Faktor-faktor yang mempengaruhi aplikasi kemasan edible film seperti jenis dan sifat matriks polimer, kristalinitasnya, kondisi pembentukan film, jenis pelarut yang digunakan, pH formulasi, suhu pengecoran dan pengeringan, dan konsentrasi aditif, yaitu pemlastis, agen antimikroba, antioksidan, pengemulsi, dan agen pengikat silang, sifat bahan makanan dan karakteristik permukaannya penting untuk aplikasi pelapis dan film yang dapat dimakan serta metode pengendapan yang digunakan. Beberapa jenis teknik pengendapan dikenal seperti mencelupkan, menyikat, penyemprotan, pelapisan unggun terfluidisasi, penyemprotan listrik, pendulangan, deposisi elektrostatik, dan impregnasi vakum. Gambar 1 menunjukkan metode aplikasi pelapisan pada produk pangan. Namun, teknik pencelupan dan penyemprotan umumnya digunakan untuk mengaplikasikan pelapis yang dapat dimakan pada buah-buahan, sayuran, dan produk buah potong segar karena efektivitas dan efisiensi biaya yang lebih baik (Kumar et al., 2023).



Gambar 1. Metode aplikasi edible film pada produk pangan

Kemasan edible komposit (*composit edible packaging*)

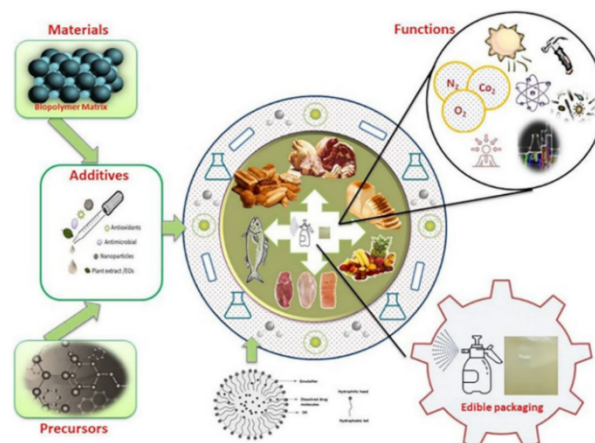
Beberapa tahun terakhir, para peneliti telah berfokus pada pengembangan pelapis dan film yang dapat dimakan komposit untuk meningkatkan umur simpan produk pangan. Mengembangkan kemasan komposit yang dapat dimakan untuk produk pangan, kombinasi biopolimer seperti karbohidrat-karbohidrat, protein-karbohidrat, biner berbasis lipid, dan kombinasi biopolimer terner yang digunakan secara umum. Biopolimer pada kemasan edible film bertindak sebagai penghalang terhadap kelembaban, oksigen, aroma, penghalang minyak, dan perpindahan massa dan juga bertindak sebagai pembawa bahan aktif seperti antioksidan, antimikroba, pewarna, dan agen penyedap. Selulosa dan ulvan yang diekstraksi dari rumput laut hijau *Ulva lactuca*, digunakan untuk pengembangan edible film memiliki sifat

antioksidan alami. Penggabungan konsentrasi ulvan yang berbeda ke dalam film berbasis selulosa meningkatkan ketebalan, kemampuan menahan uap air, film komposit, memiliki sifat penghalang terhadap UV dan Cahaya. Film C/0.48U menunjukkan sifat termal, penghalang, dan antioksidan yang potensial (Gomaa et al., 2022).

Kombinasi biopolimer memungkinkan peningkatan termal, mekanis, penghalang, dan sifat fisika-kimia lainnya yang dapat dimakan pelapis dan film, sehingga memperluas aplikasinya di sektor pengemasan pangan karena interaksi antar molekul dan proses pemisahan fase mikro antara campuran biopolymer (Bharti et al., 2020). Kemasan edible diatur oleh Uni Eropa, melalui peraturan No. 1935/2004 dan peraturan yang telah diubah No. 2023/2006 (Barbosa et al., 2021). Beberapa jenis biopolimer seperti polisakarida, protein, lipid, dan komposisinya dapat digunakan untuk mengembangkan pelapis dan film yang dapat dimakan untuk memperpanjang umur simpan buah-buahan, sayuran, daging, produk daging, dan barang lainnya. Biopolimer ini dapat berasal dari sumber terbarukan dan dapat dimakan, yaitu tanaman, hewan, bakteri, jamur, dan alga.

Kelompok utama biopolimer termasuk polisakarida (selulosa, pati, pektin, hemiselulosa, gusi, agar-agar, alginat, kitosan, pullulan, dan lain-lain), protein (gluten, protein kedelai, zein, kasein, kolagen, whey protein, dan protein ikan), dan lipid (lilin lebah, lilin lak, lilin carnauba, asam lemak bebas, dan minyak) (Mironescu et al., 2021). Secara umum, mereka digunakan sebagai bahan pengental, pengental, pengemulsi, penstabil, bahan pembusa, dan pelapis pelindung pada makanan dan sektor farmasi. Selain itu, biopolimer yang digunakan tidak beracun, ramah lingkungan, dapat terurai secara hayati, dan biokompatibel di alam dan juga bertindak sebagai pembawa zat aktif seperti asam organik, ekstrak tumbuhan, antimikroba, minyak atsiri, probiotik, dan prebiotik. Selain itu, pemlastis (gliserol, propilen glikol, dan polietilen glikol), sebagai molekul rendah senyawa berat dan tidak mudah menguap, digunakan untuk meningkatkan viskositas, ketahanan, fleksibilitas, kelarutan, penghalang.

Kemasan edible berbasis biopolimer komposit atau campuran lebih efektif untuk meningkatkan atribut kualitas produk makanan. Properti dari pelapis dan film yang dapat dimakan komposit tergantung pada kompatibilitas dan interaksi molekuler antara bahan dan aditif dalam komposisi. beberapa peneliti telah bekerja pada pengembangan kemasan edible berbasis polisakarida dan protein dengan sifat penghalang air dan gas yang baik dengan menggunakan zat pengikat silang sebagai bahan tambahan. Kemasan berbasis biopolimer adalah teknologi yang menjanjikan untuk mengawetkan produk pangan. Membantu memperpanjang umur simpan dan fungsionalitasnya dengan mempertahankan atribut mutu yang lebih tinggi, menjaga kesegaran produk pangan, dan mempertahankan warna, vitamin, mineral, dan karakteristik nutrisi dan sensorik lainnya. Aplikasi kemasan edible coating pada pencelupan produk buah dan sayuran sebagai pelapis permukaan dalam memperpanjang masa simpannya dapat dilihat pada gambar 2 dikutip dari (Kumar et al., 2023).



Gambar 2. Metode aplikasi edible coating pada pangan.

Beberapa jenis kemasan seperti kemasan pintar/cerdas dan kemasan aktif, kemasan komposit yang dapat dimakan, kemasan nano, dan formulasi nano digunakan untuk memperpanjang umur simpan dan atribut kualitas produk pangan. Biopolimer telah lazim digunakan dalam penelitian pengemasan sebagai alternatif yang ekologis dan aman, tetapi komersialisasinya pada skala industri masih terkendala oleh keterbatasan atribut mutu kemasan yang memiliki sifat penghalang (*barrier*) yang baik, termal dan mekanik serta biaya produksi dan pemrosesan yang tinggi. Industrialisasi bahan kemasan berbasis biopolimer membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kualitas fisik dan mikrobiologis untuk meningkatkan umur simpan serta meningkatkan nilai gizi (Chawla et al., 2021). Agen penghubung dan pengikat silang adalah agen penting untuk meningkatkan sifat mekanik, struktural, termal, dan lainnya dari kemasan edible. Beberapa jenis pengikat silang seperti asam tanat, genipin, transglutaminase, ekstrak gala chinensis; tanah liat glutaraldehida, natrium trimetaphosfat, asam sitrat, natrium klorida, kalsium klorida, karboksimetil selulosa/hidroksipropil metil selulosa, kalsium laktat, formaldehida, karbodimida, heksametilena, 1,6-diaminokarboksisulfonat, glutaraldehida, keratin, ion logam, ekstrak alami zink klorida, heparin, lilin, asam tanat, dan asam laktat digunakan untuk meningkatkan sifat polimer. Efek dari agen penghubung silang memiliki potensi untuk meningkatkan fungsionalitas kemasan yang dapat dimakan dengan menciptakan kekuatan dan ikatan hidrofobik dan hidrogen dan dengan ikatan silang ion dan interaksi elektrolitik. (Zhang et al., 2023), melaporkan bahwa agen penghubung silang seperti asam sitrat membantu dalam meningkatkan sifat fisik, mekanik, dan antimikroba dari film kemasan dan dapat digunakan dalam pengawetan pangan segar. Penggunaan kalsium klorida dan heksil asetat sebagai agen pengikat silang untuk meningkatkan sifat fungsional, seperti penghalang dan sifat mekanik, dari kemasan berbasis alginat. Hal ini menyebabkan umur simpan yang lebih lama dari apel potong segar hingga 10 hari pada suhu 4 °C, tercapai reaksi pencoklatan yang tertunda, penurunan laju respirasi, dan beban mikroba (Duong et al., 2023). Minyak atsiri (EO) adalah salah satu yang paling produk turunan alami yang penting dengan sifat antimikroba, antioksidan, dan antijamur alami karena adanya senyawa fenolik dan bioaktif. Minyak atsiri digunakan dalam industri pengemasan pangan, sebagai kemasan antimikroba, efek dari minyak atsiri seperti pohon teh; oregano, rosemary, dan bawang putih, serai, sage, jeruk nipis, jeruk, cengkeh, bunga matahari, minyak temulawak, minyak kemangi meningkatkan sifat fisik, mekanik, penghalang, dan sifat biologis kemasan PLA. Penggabungan EO ke dalam kemasan edible memberikan pelepasan bahan bioaktif yang membantu meminimalkan oksidasi dan menutupi aroma yang tidak diinginkan (Rezaeigolestani et al., 2017). Selain itu, EO digunakan untuk mengembangkan lapisan anti jamur, terutama untuk buah-buahan dan sayuran, jamur biru pada komoditas hortikultura yang sangat mudah rusak dan mudah busuk. Penambahan EO sebagai aditif antimikroba alami yang potensial meningkatkan sifat-sifat film/pelapis kemasan edible pada produk pangan, seperti minuman, buah-buahan dan sayuran, susu, dan produk berbasis susu.

Polifenol alami yang berasal dari tumbuhan adalah komponen yang menarik untuk membuat dan meningkatkan fungsionalitas kemasan. Bagian tanaman seperti daun, bunga, biji, akar, dan limbah kulit memiliki potensi untuk mengekstrak antimikroba dan polifenol antioksidan dan senyawa bioaktif dan menggabungkannya ke dalam lapisan dan film kemasan edible. Ekstrak alami yang berasal dari tumbuhan adalah direkomendasikan untuk dimasukkan ke dalam makanan dan diakui aman untuk dikonsumsi. Penggabungan ekstrak yang berasal dari tumbuhan dalam matriks polimer memberikan mekanik, termal, biologis, dan fisikokimia sifat-sifat bahan kemasan. Sifat-sifat ini dari film dan pelapis kemasan edible tergantung pada interaksi antara matriks dan ekstrak tumbuhan, interaksi molekulernya, dan kristalinitas polimer (Kumar et al., 2019). Penggabungan tanaman ekstrak seperti ekstrak kulit buah delima, ekstrak raspberry, ekstrak teh hijau, ekstrak blueberry, ekstrak bilberry, peterseli, anggur, dan blueberry ekstrak pomace, ekstrak the, ekstrak kayu manis, cengkeh, ekstrak biji buah anggur, meningkatkan sifat termal, mekanis, biologis, dan sifat-sifat lain dari kemasan edible (Nogueira et al., 2020). Nanoteknologi adalah teknologi yang sedang berkembang yang

digunakan dalam sektor pengemasan pangan, mengembangkan kemasan nano, dengan sifat penghalang yang sangat baik, mekanis, termal, antioksidan, dan sifat antimikroba. Pembuatan kemasan nano, diharapkan akan mencakup 25% dari total kemasan pangan. Intervensi nanoteknologi di sektor pengemasan pangan membantu memperpanjang umur simpan, memastikan keamanan pangan, mengurangi kerugian dan kehilangan pangan, dan meningkatkan kesehatan konsumen. Beberapa jenis material nano termasuk nanopartikel, polimer nanokomposit, nanoemulsions, nanoformulasi, dan pengisi nano, seperti nanostarch, nanoselulosa, nanochitosan, nanoprotein, dan nanolipid, telah digunakan untuk mengembangkan kemasan aktif dengan memperluas sifat utama dari sistem pengemasan seperti penahanan, kenyamanan, perlindungan, pengawetan, pemasaran, dan ramah lingkungan (Jeevahan & Chandrasekaran, 2019). Nanopartikel, seperti perak, emas, titanium dioksida, seng, dan nanoclay, telah digunakan untuk meningkatkan sifat-sifat kemasan pangan. Bahan nano dan bentuk lain dari proses nanoteknologi umumnya meningkatkan sistem pengemasan dengan mengembangkan sistem pengemasan yang aktif, pintar, dan cerdas dengan melindungi makanan dari kerusakan mekanis, fisik, mikroba, dan kerusakan akibat sinar UV (Adeyeye, 2019). Badan pengawas pangan amerika FDA telah menerbitkan pedoman untuk penggunaan bahan nano dalam aplikasi pengemasan pangan dan menekankan pentingnya mengevaluasi keamanan material nano (NM), dan telah menyetujui titanium dioksida dan silikon dioksida untuk digunakan sebagai bahan yang aman dan dapat kontak dengan pangan (Singh et al., 2023). Kuat tarik kemasan edible komposit dengan nanopartikel graphine oxide (GO) sebanding dengan film plastik komoditas seperti HDPE (High Density Polyethylene) dan LDPE (Low Density Polyethylene) (Krystyan et al., 2021). Selain itu, film nanokomposit dengan silver nanopartikel (AgNP) menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap bakteri dan jamur patogen (*pseudomonas aeruginosa*, *enterococcus faecalis* dan *staphylococcus aureus*) (Jamróz et al., 2020).

Pengaruh kemasan edible (pelapis/film) pada produk pangan

Produk berbahan dasar daging meningkat konsumsinya di seluruh dunia kecuali Eropa. Konsumsi daging telah mencapai 346,16 juta ton pada tahun 2018, di seluruh dunia, dan diperkirakan akan meningkat sebesar 44% pada tahun 2030 (Song et al., 2021). Daging sebagai sumber pangan penting, mengandung nutrisi seperti protein, mineral, asam amino, asam lemak

(asam oleat, asam linoleat dan linolenat), vitamin (B1, B2, B3, dan B kompleks lainnya), dan zat gizi mikro (Gagaoua et al., 2021). Penurunan atribut mutu daging dipengaruhi oleh faktor kimia, fisik, dan faktor biologis seperti cahaya, pH, suhu udara, dan serangan mikroba. Beberapa mekanisme seperti lipid oksidasi, ketengikan, pembusukan mikroba, dan enzimatik autolisis merupakan faktor utama pembusukan daging. Populasi mikroba seperti *Salmonella typhimurium*, *S. aureus*, *E. coli*, dan *Clostridium perfringens* bertanggung jawab atas penurunan atribut mutu dan mengurangi umur simpan daging dan produk daging. Faktor oksidasi dan autolisis enzimatik menurunkan mutu produk daging melalui degradasi air, sifat tekstur, warna, bau, degradasi lipid, protein, pigmen, karbohidrat, vitamin, dan produksi amina biogenik. Oleh karena itu, karena sifat yang sangat mudah rusak pada produk daging selama pemrosesan, pengangkutan, dan ekspor, kebutuhan akan kemasan yang tepat untuk mengatasi masalah ini. Umumnya, sebagian besar kemasan nonbiodegradable diproduksi dari bahan yang tidak terbarukan seperti plastik, poliester, dan nilon telah digunakan untuk melindungi produk daging (Bharti et al., 2020). Karena meningkatnya permintaan konsumen akan kemasan ramah lingkungan untuk meningkatkan keamanan dan kualitas makanan, kemasan edible merupakan pendekatan pengemasan untuk mengawetkan daging dan produk daging untuk waktu yang lebih lama selama penyimpanan (Trajkovska Petkoska et al., 2021). Kemasan yang dapat dimakan berbasis hewani yang dapat diperbarui memiliki potensi untuk melindungi kualitas atribut dan mempertahankan umur simpan daging dan daging produk dengan memperlambat kehilangan air, transmisi gas, dan autolisis enzimatik, serta menghambat perubahan warna dan pertumbuhan mikroba (Kumar et al., 2023).

Buah-buahan dan sayuran memainkan peran penting untuk manusia karena adanya kandungan nutrisi dan fitokimia seperti vitamin, protein, mineral, serat, karbohidrat asam amino, senyawa fenolik, flavonoid, dan senyawa antosianin. Konsumsi buah-buahan dan sayuran membantu dalam mengurangi risiko penyakit seperti kardiovaskular, diabetes, stroke dan lain-lain. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), 400 g berbeda buah dan sayuran yang berbeda harus dikonsumsi dalam sehari untuk kesehatan yang lebih baik. Manajemen pascapanen buah-buahan dan sayuran selama rantai pasokan dan penyimpanan menyajikan tantangan terbesar bagi industri pengolahan makanan karena sifat mudah rusak dari sebagian besar buah dan sayuran. Beberapa jenis faktor seperti fisik, mekanik, kimiawi, dan biologis bertanggung jawab atas kerugian pascapanen buah dan sayuran; yang mengarah ke tempat pembuangan sampah dan pencemaran lingkungan. Oleh karena itu, kemasan edible adalah pendekatan ramah lingkungan yang berkelanjutan untuk mengurangi kerugian pascapanen pada buah dan sayuran dengan mempertahankan umur simpannya, mengendalikan pertukaran gas, dan memperlambat kelembaban, respirasi tingkat, biosintesis etilen, pencoklatan enzimatis, pembusukan, aroma, dan kehilangan warna karena sifat semipermeabel dari lapisan kemasan edible, yang bertindak sebagai penghalang terhadap air transpirasi uap dan gas (de Oliveira et al., 2021). Beberapa peneliti telah mengkonfirmasi bahwa penerapan kemasan edible dikembangkan dari polisakarida, protein, dan lipid memberikan perlindungan terhadap kerusakan mekanis, fisik, kimia, dan biologis pada buah dan sayuran selama rantai pasokan dan periode penyimpanan (Kumar et al., 2021).

Produk susu, seperti keju, susu, dan yoghurt, dianggap sebagai makanan pokok yang mengandung sejumlah komponen nutrisi seperti karbohidrat, protein, serat, lipid, mineral, dan vitamin. Mempertahankan umur simpan produk berbasis susu merupakan tantangan utama bagi industri pangan dan manufaktur karena sifatnya yang sangat mudah rusak. Terlepas dari faktor fisik, pembusukan jamur adalah penyebab utama kontaminasi pada produk susu (Garnier et al., 2017). Kemasan yang dapat dimakan adalah cara terbaik untuk memungkinkan pemeliharaan atribut mutu dan umur simpan untuk waktu yang lebih lama dari produk makanan berbahan dasar susu dengan mengurangi beban mikroba dan meminimalkan oksidasi (Díaz-Montes & Castro-Muñoz, 2021). Penerapan berbagai kemasan edible berbasis biopolimer yang berbeda dengan dan tanpa bahan aktif memiliki potensi untuk meningkatkan umur simpan produk pangan berbasis susu dengan mengendalikan pertumbuhan mikroorganisme berbahaya dan meminimalkan laju oksidasi. Memperpanjang umur simpan dodol rumput laut coklat menggunakan kitosan dan lapisan edible berbasis karagenan dengan memperlambat pertumbuhan jumlah jamur; lapisan berbasis kitosan ditemukan paling banyak efektif dibandingkan dengan edible coating berbasis karagenan (Kumar et al., 2023). Di sisi lain, berbagai peneliti telah menyelidiki efek dari pelapis yang dapat dimakan yang diformulasikan menggunakan agar-agar, protein whey dengan agen antimikroba, kitosan (Nottagh et al., 2020), galaktomanan, dan edible berbasis pelapis whey pada berbagai jenis keju (Siriwardana & Wijesekara, 2021). Masalah utama dari umur simpan pengurangan roti dan jenis produk lainnya lebih tinggi kadar air dan aktivitas air yang menarik jamur dan pertumbuhan jamur dan ragi selama periode penyimpanan. Kemasan edible memiliki potensi untuk meningkatkan umur simpan roti dan jenis produk makanan lainnya dengan mempertahankan tekstur dan sifat organoleptiknya. Banyak peneliti telah menerapkan berbagai jenis kemasan edible untuk meningkatkan umur simpan produk makanan roti.

Tantangan dan keterbatasan kemasan edible

Kemasan edible sebagai solusi kemasan pangan yang berkelanjutan menghadapi beberapa tantangan terkait dengan produksi, penyimpanan, dan penggunaan pengemasan dalam skala komersial dengan tetap menjaga penerimaan konsumen dan keamanan pangan dari segi nutrisi dan perpanjangan umur simpan. Tantangan utama dari kemasan edible, biopolimer seperti polisakarida, berbasis film dari protein dan pelapis yang kurang baik sebagai penghalang air dan gas. Oleh karena itu, kemasan komposit dengan penambahan plasticizer, pengemulsi, dan komponen lainnya merupakan salah satu solusi terbaik untuk

meningkatkan ketahanan mekanis, penghalang, dan termal dari kemasan berbasis biopolymer (Abdullah et al., 2022). Di sisi lain, konsentrasi yang lebih tinggi dari biopolimer dan zat aktif seperti minyak atsiri dan ekstrak tumbuhan juga mungkin memiliki beberapa dampak negatif pada rasa produk, yang secara langsung mempengaruhi tingkat penerimaan konsumen.

Keamanan dan peraturan yang terkait dengan penggunaan konsentrasi zat aktif dalam pelapis kemasan edible sangat terbatas. Oleh karena itu, kesadaran konsumen dan peraturan terkait dengan manfaat kemasan edible bagi lingkungan dan konsumen harus dipromosikan oleh otoritas lembaga pengawasan pangan untuk mengatasi tantangan tingkat penerimaan konsumen pada skala komersial. Beberapa tantangan, bersama dengan solusi yang memungkinkan. Pengembangan dan penerapan standar keamanan, hukum, dan kebijakan untuk penggunaan lapisan kemasan edible nanomaterial dalam film kemasan pangan. Bahan pelapis atau nanomaterial film yang kontak dengan pangan yang digunakan untuk pengemasan, potensial menciptakan kemasan pangan dengan sifat yang lebih baik dan membantu memperpanjang masa simpannya. Penggunaan bahan nano dalam industri pangan, seperti peraturan European Union (EU) 10/2011, hanya nanopartikel atau bahan nano yang telah disetujui dan secara khusus tercantum dalam spesifikasi lampiran I peraturan yang dapat digunakan sebagai penghalang fungsional kemasan pangan. Sebaliknya, Regulasi 450/2009/EC mengintegrasikan persyaratan umum untuk penggunaan kemasan aktif dan cerdas yang aman, yang menyatakan bahwa zat aktif harus secara langsung dimasukkan ke dalam bahan kemasan pangan (Kumar et al., 2023).

Tantangan kemasan edible menunjukkan kekhawatiran dalam kekuatan mekanik dan daya tahannya, ketika dibandingkan dengan ketahanan kemasan plastik berbasis minyak bumi. Upaya dan strategi, seperti penggabungan beragam biopolimer serta penggabungan elemen penguat dari bahan nano, secara signifikan memperkuat keseluruhan kekokohan struktur dan ketahanan yang tahan lama, yang pada akhirnya membuka jalan untuk pemanfaatan yang lebih efektif dan aplikatif di berbagai industri pangan. Selain itu, mengintegrasikan bahan nano, seperti nanopartikel atau serat nano, ke dalam komposisi lapisan kemasan edible, dapat meningkatkan kemampuannya sebagai infiltrasi gas dan menghambat transmisi uap air. Pendekatan ini sangat menjanjikan, berpotensi menciptakan kemasan edible skala nano yang secara efektif melindungi pangan dari ancaman yang menurunkan kualitas pangan dalam mewujudkan keberlanjutan keamanan pangan dan mengurangi limbah.

Tantangan kompatibilitas kemasan edible dengan pangan yang beragam, menghadapi tantangan dalam penerapannya, terutama pada tekstur, kadar air, dan keasaman. Keberhasilan kemasan edible untuk meningkatkan pengawetan, penampilan, dan kualitas secara keseluruhan

terhalang oleh interaksi yang kompleks antara bahan pelapis dan beragam permukaan dan komposisi pangan yang berbeda. Tekstur yang bervariasi, mulai dari buah-buahan yang renyah hingga makanan lembut yang dipanggang, ditambah dengan tingkat kelembapan yang berfluktuasi dan berbagai tingkat keasaman dalam makanan, menghadirkan kerumitan yang menuntut solusi kemasan edible yang sesuai dan adaptif. Selain itu, atribut sensorik kemasan edible memengaruhi rasa, tekstur, dan visual bahan pelapis. Perubahan yang terlihat di pengalaman sensorik dari persepsi rasadi mulut atau sensasi sentuhan saat dikonsumsi, untuk meningkatkan kualitas, keamanan, dan daya jual, pentingnya formulasi pada aplikasi pelapis kemasan edible untuk mencapai keseimbangan yang harmonis antara manfaat fungsional dan atribut sensorik produk akhir. Inovasi kemasan edible dari waktu ke waktu akan menjadi aspek penting untuk memastikan mutu yang konsisten dan kesegaran produk yang dilapisi. Integrasi teknologi inovatif dan desain kemasan yang berfungsi sebagai penghalang (*barrier*) terhadap masuknya kelembapan dan oksigen, yang keduanya merupakan kontributor utama terhadap kerusakan pelapis kemasan edible. Integritas pelapis kemasan edible selama penyimpanan dan transportasi, diharapkan meningkatkan kualitas dan daya tahan kemasan pangan.

Masa depan kemasan edible

Pelapis dan film kemasan edible, efektif untuk menjaga kualitas dan atribut sensorik yang berbeda jenis produk makanan dengan mengurangi penurunan berat, penghalang terhadap transmisi gas, dan transpirasi air. Kemasan komposit paling diinginkan untuk menjaga kualitas atribut produk pangan dibandingkan dengan lapisan kemasan edible yang dibuat dari polimer tunggal dengan sifat penghalang yang sangat baik terhadap transpirasi gas dan air. Beberapa jenis metode telah digunakan untuk mengembangkan kemasan komposit untuk produk pangan memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, teknologi homogenisasi bertekanan tinggi, seperti mikrofluidisasi dan ultrasonikasi, seharusnya digunakan untuk mengembangkan formulasi kemasan edible nano berbasis biopolimer untuk meningkatkan stabilitasnya pada permukaan produk pangan untuk jangka waktu yang lebih lama. Penelitian lebih lanjut untuk mengidentifikasi biopolimer yang kompatibel, antara interaksi dengan bahan lain seperti pemlastis dan pengemulsi, perlu penyelidikan terkait efisiensi dalam meningkatkan kualitas dan atribut sensorik produk pangan yang secara bersamaan memperpanjang umur simpan.

Pemilihan metode pelapisan kemasan edible untuk diaplikasikan pada berbagai produk pangan, penting untuk memastikan penerapan bahan di permukaan produk pangan dan pengaruhnya terhadap kualitas pangan. Selain itu, penelitian dan teknologi baru membutuhkan pengurangan sifat higroskopis dari biopolimer nabati seperti gum. Selain itu, komposisi yang paling cocok dengan biopolimer dan aditif bahan aktif yang lain dapat dieksplorasi lebih lanjut untuk penerapan, stabilitas, dan formulasi biaya pelapisan. Efek teknologi homogenisasi bertekanan tinggi pada sifat-sifat bahan pelapis dan penerapan pada permukaan produk pangan memerlukan studi lebih komprehensif. Fokus utamanya, haruslah pada pemulihan biopolimer, seperti selulosa, pektin, pati, protein, hemiselulosa, lignin, kolagen, gelatin, kitin, agar-agar, alginat, whey, dan kasein, dari berbagai jenis limbah makanan yang diperoleh dari berbagai bagian buah-buahan, sayuran, hewan, dan produk berbasis susu, untuk dikembangkan sebagai lapisan yang dapat terurai secara alami dan aman. Sebagian besar produk samping dan limbah hayati (kulit, biji, pomace, pulp, ampas tebu, kulit, batu, sekam, dedak, tongkol jagung, sirip, sisik, otot, jeroan, cangkang, dan lainnya biomassa lainnya) dapat berfungsi sebagai sumber bahan terbarukan yang berharga untuk komponen kemasan edible.

Sistem biner dari biopolimer alami (polisakarida, lipid, atau protein) telah dipelajari secara ekstensif, dan efek interaksi biner dari sifat-sifatnya telah dikarakterisasi. Pembentukan kompleks pati-lipid menunjukkan berkurangnya pembengkakan dan kelarutan pati, serta adanya gelatinisasi dan retrogradasi yang terhambat, dan laju pencernaan enzimatis melambat (Panyoo & Emmambux, 2017). Kompleks biner telah menjadi subjek penelitian intensif, namun kompleks terner antara pati-lipid-protein telah menjadi bidang penyelidikan baru dengan meningkatnya jumlah penemuan dan informasi mengenai kompleks terner, interaksi, metode persiapan, analisis analitik, teknik dan aplikasi dalam industri pangan. Kompleks terner menciptakan fondasi untuk generasi baru yang dapat terurai secara hayati plastik rekayasa (misalnya, peralatan makan sekali pakai, kemasan) dan makanan (selongsong yang dapat dimakan, mikrokapsul). Karena sifat mekanik yang baik, kemasan plastik baru ini dapat memenuhi banyak kebutuhan manusia sebagai bahan yang stabil untuk penggunaan sehari-hari. Komposisi kompleks dan senyawa baru dapat menentukan solusi yang lebih ekologis. Aplikasi lain dapat ditemukan, seperti mainan yang aman dan dapat dimakan untuk anak kecil, mainan yang dapat dimakan dapat menjadi solusi, dan mencegah tertelannya plastik yang tidak dapat dimakan oleh anak-anak. Selain itu, penting bagi generasi mendatang untuk mengganti banyak plastik yang tidak dapat terurai dengan kompleks terner dari biopolimer (Folentarska et al., 2021).

Zat nabati seperti buah dan produk sampingan dan limbah sayuran (kulit, biji, cangkang) dapat memiliki nilai komersial yang tinggi dan dapat dianggap sebagai peluang yang sesuai untuk kemasan edible masa depan. Kombinasi kemasan edible komposit, dapat mengatasi masalah penghalang (*barrier*) atau masalah mekanis pada kemasan edible dibandingkan

dengan kemasan biopolimer sekali pakai. Sejalan dengan tujuan pembangunan berkelanjutan, karena pemanfaatan sampah organik dan produk limbah adalah tren berkelanjutan yang memiliki dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan di planet bumi, yang berarti lebih sedikit polusi untuk sumber daya udara, tanah, dan air yang baik untuk manfaat kesehatan manusia karena potensi nilai pangan fungsional, dan nutrisi dari bioaktif yang diekstrak dari limbah organik yang dikombinasikan dengan pangan.

Keefektifan pelapis kemasan edible yang dikombinasikan dengan teknik pengawetan non-termal lainnya seperti cahaya, radiasi elektromagnetik ultraviolet (UV-C), iradiasi gamma pada atribut mutu dan umur simpan produk pangan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan pada penggunaan teknik pengawetan non-termal yang digabungkan dengan pelapis kemasan edible mempertahankan atribut mutu produk pangan. Dari sisi teknik, perlu juga dikembangkan mesin penyemprot yang murah pada skala laboratorium untuk aplikasi pelapisan pada produk pangan, terutama untuk buah-buahan, sayuran, dan buah potong segar (Kumar et al., 2023).

Kesimpulan

Kemasan edible adalah kemasan pangan yang aman dan ramah lingkungan. Kemasan ini merupakan bagian integral dari sistem pengemasan pangan yang berkelanjutan yang dapat diaplikasikan pada produk pangan seperti sayur, buah, dodol, pizza, sosis dan permen. Bahan film dan pelapis dari biopolimer seperti polisakarida, lipid, dan protein yang berasal dari alam digunakan untuk mengembangkan kemasan edible dalam memperpanjang umur simpan produk pangan. Bahan komposit kemasan edible biner dan terner sebagai kemasan pangan masa depan, memiliki potensi dalam menjaga kesegaran, warna, vitamin, mineral, kekuatan tekstur, dan nutrisi serta atribut sensorik produk pangan, serta menciptakan sifat penghalang (barrier) dari kemasan edible terhadap transpirasi dan transmisi gas.

Daftar Pustaka

- Abdullah, Cai, J., Hafeez, M. A., Wang, Q., Farooq, S., Huang, Q., Tian, W., & Xiao, J. (2022). Biopolymer-based functional films for packaging applications: A review. *Frontiers in Nutrition*, 9(August), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1000116>
- Adeyeye, S. A. O. (2019). Food packaging and nanotechnology: safeguarding consumer health and safety. *Nutrition & Food Science*, 49(6), 1164–1179. <https://doi.org/10.1108/NFS-01-2019-0020>
- Akili, M. S., Ahmad, U., & Suyatma, N. E. (2012). Karakteristik Edible Film dari Pektin Hasil Ekstraksi Kulit Pisang. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 26(21), 39–46.
- Barbosa, C. H., Andrade, M. A., Vilarinho, F., Fernando, A. L., & Silva, A. S. (2021). Active Edible Packaging. *Encyclopedia*, 1(2), 360–370. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia1020030>
- Bharti, S. K., Pathak, V., Alam, T., Arya, A., Basak, G., & Awasthi, M. G. (2020). Materiality of Edible Film Packaging in Muscle Foods: A Worthwhile Conception. *Journal of Packaging Technology and Research*, 4(1), 117–132. <https://doi.org/10.1007/s41783-020-00087-9>
- Chawla, R., Sivakumar, S., & Kaur, H. (2021). Antimicrobial edible films in food packaging: Current scenario and recent nanotechnological advancements- a review. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2(December 2020), 100024. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2020.100024>
- de Oliveira, K. Á. R., Fernandes, K. F. D., & de Souza, E. L. (2021). Current advances on the development and application of probiotic-loaded edible films and coatings for the bioprotection of fresh and minimally processed fruit and vegetables. *Foods*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/foods10092207>
- Díaz-Montes, E., & Castro-Muñoz, R. (2021). Edible films and coatings as food-quality preservers: An overview. *Foods*, 10(2), 1–26. <https://doi.org/10.3390/foods10020249>
- Duong, N. T. C., Uthairatanakij, A., Laohakunjit, N., Jitareerat, P., & Kaisangsri, N. (2023).

- Cross-linked alginate edible coatings incorporated with hexyl acetate: Film characteristics and its application on fresh-cut rose apple. *Food Bioscience*, 52, 102410. <https://doi.org/10.1016/J.FBIO.2023.102410>
- Folentarska, A., Łagiewka, J., Krystyjan, M., & Ciesielski, W. (2021). Biodegradable binary and ternary complexes from renewable raw materials. *Polymers*, 13(17), 1–16. <https://doi.org/10.3390/polym13172925>
- Gagaoua, M., Bhattacharya, T., Lamri, M., Oz, F., Dib, A. L., Oz, E., Uysal-Unalan, I., & Tomasevic, I. (2021). Green coating polymers in meat preservation. *Coatings*, 11(11), 1–26. <https://doi.org/10.3390/coatings11111379>
- Garnier, L., Valence, F., & Mounier, J. (2017). Diversity and control of spoilage fungi in dairy products: An update. *Microorganisms*, 5(3), 1–33. <https://doi.org/10.3390/microorganisms5030042>
- Gomaa, M., Al-Badaani, A. A., Hifney, A. F., & Adam, M. S. (2022). Utilization of cellulose and ulvan from the green seaweed *Ulva lactuca* in the development of composite edible films with natural antioxidant properties. *Journal of Applied Phycology*, 34(5), 2615–2626. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02786-z>
- Jamróz, E., Khachatryan, G., Kopel, P., Juszczak, L., Kawecka, A., Krzyściak, P., Kucharek, M., Bębenek, Z., & Zimowska, M. (2020). Furcellaran nanocomposite films: The effect of nanofillers on the structural, thermal, mechanical and antimicrobial properties of biopolymer films. *Carbohydrate Polymers*, 240, 116244. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116244>
- Jeevahan, J., & Chandrasekaran, M. (2019). Nanoedible films for food packaging: a review. *Journal of Materials Science*, 54(19), 12290–12318. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03742-y>
- Krystyjan, M., Khachatryan, G., Grabacka, M., Krzan, M., & Witczak, M. (2021). *Starch / Chitosan Polymer Composites Modified by Graphene Oxide , Designed as New Bionanomaterials*.
- Kumar, N., Neeraj, Ojha, A., & Singh, R. (2019). Preparation and characterization of chitosan - pullulan blended edible films enrich with pomegranate peel extract. *Reactive and Functional Polymers*, 144, 104350. <https://doi.org/10.1016/J.REACTFUNCTPOLYM.2019.104350>
- Kumar, N., Pratibha, Neeraj, Ojha, A., Upadhyay, A., Singh, R., & Kumar, S. (2021). Effect of active chitosan-pullulan composite edible coating enrich with pomegranate peel extract on the storage quality of green bell pepper. *LWT*, 138, 110435. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110435>
- Kumar, N., Pratibha, Prasad, J., Yadav, A., Upadhyay, A., Neeraj, Shukla, S., Petkoska, A. T., Heena, Suri, S., Gniewosz, M., & Kieliszek, M. (2023). Recent Trends in Edible Packaging for Food Applications — Perspective for the Future. *Food Engineering Reviews*, 718–747. <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09358-y>
- Mironescu, M., Lazea-Stoyanova, A., Barbinta-Patrascu, M. E., Virchea, L. I., Rexhepi, D., Mathe, E., & Georgescu, C. (2021). Green design of novel starch-based packaging materials sustaining human and environmental health. *Polymers*, 13(8), 1–35. <https://doi.org/10.3390/polym13081190>
- Nogueira, G. F., de Oliveira, R. A., Velasco, J. I., & Fakhouri, F. M. (2020). Methods of incorporating plant-derived bioactive compounds into films made with agro-based polymers for application as food packaging: A brief review. *Polymers*, 12(11), 1–34. <https://doi.org/10.3390/polym12112518>
- Nottagh, S., Hesari, J., Peighambardoust, S. H., Rezaei-Mokarram, R., & Jafarizadeh-Malmiri, H. (2020). Effectiveness of edible coating based on chitosan and Natamycin on biological, physico-chemical and organoleptic attributes of Iranian ultra-filtrated cheese. *Biologia*, 75(4), 605–611. <https://doi.org/10.2478/s11756-019-00378-w>
- Panyoo, A. E., & Emmambux, M. N. (2017). Amylose–lipid complex production and potential health benefits: A mini-review. *Starch - Stärke*, 69(7–8), 1600203. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/star.201700020>

doi.org/10.1002/star.201600203

- Rezaeigolestani, M., Misaghi, A., Khanjari, A., Basti, A. A., Abdulkhani, A., & Fayazfar, S. (2017). Antimicrobial evaluation of novel poly-lactic acid based nanocomposites incorporated with bioactive compounds in-vitro and in refrigerated vacuum-packed cooked sausages. *International Journal of Food Microbiology*, 260, 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.IJFOODMICRO.2017.08.006>
- Singh, N., Gaur, S., Chawla, S., Singh, S., & Husen, A. (2023). Use of smart nanomaterials in food packaging. *Advances in Smart Nanomaterials and Their Applications*, 233–245. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99546-7.00008-2>
- Siriwardana, J., & Wijesekara, I. (2021). Analysis of the Effectiveness of an Antimicrobial Edible Coating Prepared from Sweet Whey Base to Improve the Physicochemical, Microbiological, and Sensory Attributes of Swiss Cheese. *Advances in Agriculture*, 2021, 5096574. <https://doi.org/10.1155/2021/5096574>
- Song, D., Hoa, V. B., Kim, H. W., Khang, S. M., Cho, S., Ham, J., & Seol, K. (2021). *Coatings-11-01344-V2.Pdf*.
- Trajkovska Petkoska, A., Daniloski, D., Kumar, N., Pratibha, & Broach, A. T. (2021). *Biobased Materials as a Sustainable Potential for Edible Packaging BT - Sustainable Packaging* (S. S. Muthu (ed.); pp. 111–135). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4609-6_5
- Zhang, W., Roy, S., Assadpour, E., Cong, X., & Jafari, S. M. (2023). Cross-linked biopolymeric films by citric acid for food packaging and preservation. *Advances in Colloid and Interface Science*, 314, 102886. <https://doi.org/10.1016/J.CIS.2023.102886>