

# Tinjauan Strategi Pengemasan Buah dan Sayur dalam Memerangi *Food Loss* dalam Rantai Pasokan Pascapanen di Indonesia

Taufiq Ihsan<sup>1\*</sup> dan Vioni Derosya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Andalas; \*e-mail: [taufiqihsan@eng.unand.ac.id](mailto:taufiqihsan@eng.unand.ac.id)

<sup>2</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas

## ABSTRAK

Buah-buahan dan sayur-sayuran segar memiliki umur simpan yang pendek, terutama jika diangkut secara global, sehingga menimbulkan risiko kehilangan pangan/ *food loss* yang tinggi, terutama di Indonesia. Pentingnya mengatasi kerugian pangan pascapanen memerlukan optimalisasi rantai pasok, sebuah tugas yang rumit mengingat beragamnya faktor penyebab antar produk dan rantai pasok. Tinjauan ini menawarkan strategi pengemasan untuk meningkatkan umur simpan produk segar di seluruh rantai pasokan. Melalui kajian literatur yang sistematis, 57 artikel yang dipublikasikan dari tahun 2014 hingga 2023 di beberapa negara, dipelajari faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap kehilangan pangan. Ini meliputi suhu udara, kelembaban relatif, dan gas pematangan, yang dipengaruhi oleh fisiologi pascapanen, yang menyebabkan perubahan kualitas, matang berlebihan, dan pembusukan mikroba. Tidak adanya rantai dingin, pemantauan kualitas yang tidak memadai, dan manajemen inventaris yang kurang optimal dalam rantai pasokan memperburuk tantangan ini. Identifikasi penyebab kehilangan pangan higrotermal memungkinkan dilakukannya mitigasi terhadap inefisiensi dalam penyimpanan dan pengemasan. Solusi praktisnya mencakup penyesuaian suhu penyimpanan, meningkatkan ventilasi kemasan untuk pendinginan optimal, menjaga kondisi kelembapan yang sesuai, dan menyesuaikan komposisi gas berdasarkan fisiologi unik komoditas. Langkah-langkah pemantauan rantai pasokan juga dirinci guna membantu dalam memahami beragam tindakan, mempercepat pengambilan keputusan, dan mendorong upaya kolaboratif untuk memerangi kerugian pascapanen.

**Kata kunci:** buah dan sayur, *food loss*, rantai pasokan, pascapanen, pengemasan

## ABSTRACT

Fresh fruits and vegetables face a brief shelf life, particularly when transported globally, posing heightened food loss risks, notably in Indonesia. Addressing postharvest food losses necessitates optimization of supply chains, a complex task given the diverse contributing factors that vary across products and supply chains. This review offers packaging strategies to enhance the shelf life of fresh produce throughout the supply chain. The main factors contributing to food loss were studied through a systematic literature review of 57 articles published from 2014 to 2023 in several countries. These include air temperature, relative humidity, and ripening gases, influenced by postharvest physiology, leading to quality alterations, over-ripening, and microbial spoilage. The absence of a cold chain, inadequate quality monitoring, and suboptimal inventory management within supply chain procedures exacerbate these challenges. Identification of hygrothermal food loss causes allows for the mitigation of inefficiencies in storage and packaging. Practical solutions include adjusting storage temperatures, enhancing packaging ventilation for optimal cooling, maintaining suitable humidity conditions, and tailoring gas compositions based on the unique physiology of the commodity. Supply chain monitoring measures are also detailed to aid in understanding diverse measures, expediting decision-making, and fostering collaborative efforts to combat postharvest losses.

**Keywords:** fruits and vegetables, supply chains, food loss, postharvest, packaging

**Citation:** Ihsan, T., dan Derosya, V. (2024). Tinjauan Strategi Pengemasan Buah dan Sayur dalam Memerangi *Food Loss* dalam Rantai Pasokan Pascapanen di Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4), 1078-1087, doi:10.14710/jil.22.4.1078-1087

## 1. PENDAHULUAN

Buah dan sayuran segar merupakan sumber nutrisi dan serat penting dalam makanan manusia. Namun, umur simpannya yang terbatas dan daya tahan yang tinggi menyebabkan peningkatan risiko

kehilangan makanan (*food loss*), terutama di sepanjang rantai makanan global. Di seluruh dunia, sekitar 20–50% dari semua buah dan sayuran yang diproduksi, hilang atau terbuang di sepanjang rantai pasokan sebelum mencapai tahap konsumen

(Gustavsson et al., 2011). Di Indonesia sendiri bahkan tercatat mencapai 62,8% (Kementerian PPN/Bappenas, 2021). Produk dapat menjadi busuk karena beberapa faktor, antara lain penanganan pascapanen yang tidak tepat, pengelolaan rantai dingin yang salah, dan pengemasan yang tidak optimal (Yahia, 2020). Selain itu, rantai global yang kompleks dengan banyaknya pemangku kepentingan yang terlibat, rentan terhadap gangguan oleh kejadian yang tiba-tiba, seperti proses operasi yang tertunda, kondisi cuaca ekstrem, atau konsekuensi dari pandemi COVID-19 saat ini (Wunderlich, 2021).

Karena hilang dan terbuangnya pangan memiliki dampak socio-ekonomi yang tinggi terhadap ketahanan pangan, limbah makanan hingga emisi karbon secara global, topik ini tentu menjadi perhatian khusus (FAO et al., 2021). Banyak penelitian terbaru yang membahas penyebab *food loss* pascapanen dan cara mengurangnya (Spang et al., 2019; Yahia, 2020). Dengan adanya pengelolaan permintaan pangan, yang salah satunya dilakukan melalui pengurangan limbah makanan, menjadi bagian yang sangat penting dalam menciptakan sistem pangan yang berkelanjutan guna memenuhi kebutuhan pertumbuhan populasi dunia (Searchinger et al., 2019). Dengan demikian, penanganan *food loss* dan limbah makanan (*food waste*) memiliki beragam implikasi positif bagi komunitas global.

Kemasan, sebaliknya, sering dipandang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan (INCPEN & WRAP, 2019). Mulai dari hulu sampai hilir, hingga setelah produk dikonsumsi, konsumen harus membuangnya atau mendaur ulangnya. Namun, pengemasan dapat melindungi makanan dan memperpanjang umur simpan serta mengurangi dampak lingkungan suatu produk dengan mengurangi *food loss* (Brennan et al., 2021). Kemasan tersedia dalam berbagai ukuran serta mempunyai "sarana informasi" tersendiri guna menyampaikan cara terbaik untuk menggunakan dan menyimpan bahan makanan/ produk, juga paling utama tentu saja memperlambat degradasi buah dan sayuran yang diproses secara minimal. Telah banyak literatur yang mengidentifikasi dan mengkaji fungsi serta teknologi pengemasan yang secara khusus dirancang untuk mengurangi *food loss* dan *food waste* (Wikström et al., 2019).

Saat ini, banyak solusi yang tersedia terkait pengemasan untuk mengatasi *food loss* pascapanen (Chauhan et al. 2021). Namun, langkah-langkah spesifik sering dibahas secara terpisah atau disesuaikan dengan tahapan tertentu atau rantai pasokan produk segar. Ini merupakan tantangan bagi pemangku kepentingan untuk mengidentifikasi tindakan mana yang tersedia dan memutuskan tindakan mana yang optimal untuk diambil. Hal ini dipengaruhi oleh fakta bahwa setiap rantai bervariasi karena jenis produk, asal, dan standar serta protokol tiap rantai pasokan. Selain itu, kualitas produk tidak hanya dipengaruhi oleh prapanen dan fluktuasi iklim, tetapi juga rentan terhadap pemicu hilangnya

makanan tertentu (yaitu suhu, kelembapan, gas pematangan). Konsekuensinya, mengklasifikasikan solusi *food loss* berdasarkan pemicu tersebut dapat membantu mempercepat pengidentifikasian langkah-langkah yang tepat. Kemasan terperinci tersedia untuk buah dan sayuran tertentu (contohnya artikel Anjum et al. (2020)). Namun, ikhtisar ringkas dan holistik tentang tindakan paling umum yang mungkin diambil untuk buah dan sayuran, kurang tersedia bagi pemasok produk segar, distributor, pengecer, ahli rekayasa rantai pasok, dan peneliti, khususnya di Indonesia.

Di sini, disajikan beragam pilihan tindakan pengemasan untuk pemasok produk, distributor, dan pengecer guna meminimalkan kehilangan produk segar pascapanen untuk memahami banyak tindakan yang tersedia sehingga cocok untuk ditiru dan diadopsi di Indonesia. Dalam ulasan ini, tujuannya adalah untuk mengeksplorasi strategi pengemasan yang ada dalam mengatasi kehilangan dan pemborosan makanan. Secara khusus, diulas berbagai solusi kemasan yang tersedia di seluruh rantai pasokan pascapanen.

## 2. METODE

Penelitian ini menerapkan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi metode peran pengemasan terkait pencegahan dan minimalisasi *food loss*. Mengacu pada Tranfield et al. (2003), pengembangan tinjauan melibatkan lima langkah: (i) definisi tujuan penelitian; (ii) pemilihan basis data; (iii) identifikasi kata kunci dan istilah; (iv) pemilihan artikel yang kompatibel, dan (v) ekstraksi dan evaluasi data. Sehubungan dengan tujuan (i), sesuai dengan arahan kajian yang diajukan pada sub 1 (pendahuluan), kajian ini bertujuan untuk mengumpulkan dan menyusun metode pencegahan dan minimalisasi *food loss* terkait produk buah dan sayur, yang sebelumnya telah dipublikasikan, dipelajari, dan dibahas dalam literatur ilmiah di seluruh dunia. Mengenai pemilihan *database* (ii), telah dipilih lima *database* (Google Scholar, Science Direct, Scopus, Wiley, dan Web of Science) untuk sampel artikel. Kata kunci dan istilah (iii) didefinisikan setelah peninjauan ulang istilah "*food loss*/kehilangan makanan/kehilangan pangan" dan diskusi di antara penulis tentang tujuan penelitian. Oleh karena itu, pada *string* pencarian, yang diterapkan di setiap basis data, adalah operasi Boolean: ("food losses") AND (prevention OR minimizing OR reduction) AND (method\* OR "case study" OR practice\*), dengan rentang tahun publikasi 2014 sampai 2023. Ini menghasilkan satu set 1.106 artikel. Untuk pemilihan artikel yang kompatibel (iv), pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Review and Meta-Analyses* (PRISMA) digunakan untuk identifikasi sistematis dan penilaian pendekatan dan juga untuk memastikan penyajian metode yang konsisten dan lengkap (Moher et al., 2015). Proses ini meliputi langkah-langkah berikut: pertama, identifikasi dan penghapusan duplikat (667), kedua, pengecualian bab

buku, prosiding, dan seminar (3), dan, ketiga, pengecualian artikel di luar ruang lingkup judul, abstrak, dan membaca teks lengkap, (214). Setelah proses itu, 57 artikel dipilih untuk digunakan dalam tinjauan sistematis. Tidak ada studi yang dikeluarkan berdasarkan kualitas. Namun, kajian ini tidak mengklaim dibebaskan dari keterbatasan, karena didasarkan pada string pencarian, *database*, kriteria eksklusi dan pilihan subyektif. Terakhir dilakukan ekstraksi data (v). Untuk itu, serangkaian publikasi menjalani evaluasi oleh penulis. Evaluasi difokuskan pada identifikasi metode pengemasan yang bersinggungan langsung dengan pencegahan dan minimalisasi *food loss*, praktik, teknik, inisiatif, dan tindakan yang disarankan, diterapkan, dan dibahas dalam artikel yang dipilih. Setelah itu, pendekatan agregasi digunakan untuk meringkas kesimpulan dari artikel yang ditinjau.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Efek Domino *Food Loss*

Paradoks yang menekankan sektor pertanian untuk meningkatkan ketahanan pangan sementara sepertiga dari semua makanan yang diproduksi terbuang sia-sia menyebabkan terganggunya keseimbangan ekonomi dan lingkungan secara keseluruhan. Satu tindakan kecil membuang-buang makanan pada akhirnya dapat menyebabkan serangan bersama terhadap keamanan pangan, meningkatkan banyak masalah etika, ekonomi, dan lingkungan. Produksi pangan membutuhkan banyak sumber daya, termasuk energi, air, pestisida, herbisida, pupuk, tanah, dan tenaga kerja, tak terkecuali di Indonesia (KPPN/Bappenas, 2021). Memanfaatkan lebih banyak lahan untuk produksi pangan juga berarti lebih banyak penggundulan hutan, perubahan iklim, dan hilangnya habitat dan keanekaragaman hayati, sehingga menimbulkan berbagai dampak buruk (Ritchie et al., 2022).

Selain itu, *food loss* di Indonesia setiap tahunnya mencapai 2 ton, setara dengan 85,15 juta ton karbon dioksida ekuivalen, yaitu sekitar 7.29% dari total emisi gas rumah kaca antropogenik, kurang dari emisi transportasi jalan global (Kementerian PPN/Bappenas, 2021). Menggunakan pupuk, herbisida, dan pestisida dalam produksi pertanian berkontribusi terhadap pencemaran lingkungan karena potensi bahan kimia dari tanah ke air (Tudi et al., 2021). Kehilangan pangan dan limbah makanan juga mewakili energi dan nutrisi yang dapat memberikan manfaat gizi bagi banyak orang (Conrad & Blackstone, 2021) karena sekitar 690 juta orang kelaparan dan 3 miliar orang tidak makan makanan yang sehat ketika tersedia cukup makanan untuk memberi makan penduduk dunia. pada tahun 2019 (UN News, 2020) atau sekitar 125 juta orang warga Indonesia. Meskipun definisi dan tahapan kejadiannya saling eksklusif, dampak *food loss* saling terkait, sehingga menimbulkan efek domino. Hal ini menyoroti pentingnya pendekatan strategis yang secara bersamaan dapat mengatasi masalah

kehilangan makanan dan pemborosan makanan serta memastikan keamanan dan keberlanjutan pangan di masa depan.

Selanjutnya, peningkatan *food loss* juga diamati selama pandemi Covid-19 baru-baru ini. Selama pandemi, gangguan rantai pasok pangan baik pada sisi permintaan maupun pasokan terutama dibatasi oleh perintah pembatasan pergerakan (Aday & Aday, 2020). Pembatasan *lockdown* juga secara signifikan mempengaruhi harga dan pasokan pangan, terutama produk buah dan sayur, karena produksi yang lebih rendah, jaringan transportasi yang terbatas, pembatasan impor dan ekspor, ketakutan akan infeksi serta dan kekurangan tenaga kerja (Raj et al., 2022). Di Indonesia, kondisi serupa juga terjadi (Patunru et al., 2020). Secara keseluruhan, pandemi Covid-19 memiliki dampak yang cukup besar terhadap sektor-sektor vital ekonomi dunia (Kalogiannidis et al., 2020), namun dampaknya terhadap produksi pangan dan limbah makanan harus dikaji lebih lanjut untuk menentukan dampak jangka panjangnya.

#### 3.2. Pendekatan Terkini untuk Mengurangi *Food Loss*

*Food loss* dapat saja dimulai pada tahap awal produksi dan manufaktur, terutama dipengaruhi oleh berbagai faktor yang melibatkan budaya dan geografi yang memengaruhi iklim, panen, dan perilaku dalam praktik tertentu (Mak et al., 2020). Sebaliknya, jumlah sisa makanan tergantung pada perilaku dan cara pandang masing-masing individu dan masyarakat. Faktor-faktor yang berkontribusi ini menyoroti bahwa *food waste* lebih mudah dikurangi atau dihindari daripada *food loss*. Sekitar 40% dari total *food loss* and *food waste* di negara berpenghasilan rendah dan menengah terjadi pada tahap pascapanen dan pengolahan, sedangkan total kehilangan dan pemborosan di negara berpenghasilan tinggi melebihi 40% dan terutama terjadi di tingkat ritel dan konsumen (Astria et al., 2023). Hal ini disebabkan karena negara-negara berpenghasilan rendah tidak memiliki fasilitas penyimpanan, pengemasan dan transportasi yang layak juga tidak memiliki kemajuan teknologi dalam hal sistem irigasi air yang memadai, infrastruktur yang buruk untuk penyimpanan dan pengolahan, kesadaran dan pengetahuan yang terbatas untuk menghindari hama dan penyakit, serta cuaca yang buruk.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, pengemasan tidak diragukan lagi memainkan peran penting dalam seluruh rantai pasokan karena dapat meminimalkan *food loss* dan *food waste*. Hal ini karena kemasan memberikan penahanan dan perlindungan terhadap makanan dari kebocoran atau kemungkinan kontaminasi selama sektor manufaktur, transportasi dan penyimpanan serta meningkatkan umur simpan produk makanan dan menawarkan kenyamanan kepada konsumen (Mukama et al., 2020). Kemasan saat ini mencakup berbagai macam bahan, seperti keramik, kaca, logam, kertas, karton, kayu, dan plastik. Sayangnya, penggunaan plastik dalam kemasan

makanan kini diketahui menyebabkan masalah kesehatan jika bersentuhan dengan makanan atau tertelan karena racun dan bahan kimia yang terlarut (Sharma et al., 2021).

### 3.3. Kemasan Cerdas (KC) dan Dampaknya Dalam Mengurangi *Food Loss*

Istilah kemasan cerdas/ KC (*smart packaging*) sering kali digunakan saat ini ketika membahas sistem pengemasan. KC dianggap sebagai konsep yang luas, yang mencakup kemasan cerdas dan aktif yang dapat memantau perubahan internal dan eksternal yang terjadi pada suatu produk (cerdas) dan merespons lebih lanjut (aktif) dengan berkomunikasi dengan antarmuka eksternal (listrik atau optik) (Vanderroost et al., 2014). Tujuan utama penerapan KC adalah untuk memperpanjang umur simpan produk dan menjaga kesegarannya, bertukar informasi kualitas dengan konsumen, meningkatkan keamanan produk, dan meningkatkan ketertelusuran produk saat bergerak melintasi rantai pasokan. KC yang menjadi alternatif utama terhadap pengemasan tradisional bertujuan untuk menunjang dan mempertahankan kualitas tinggi serta meningkatkan kesegaran produk pangan. Untuk mewujudkan hal tersebut, berbagai komponen dapat ditanamkan ke dalam sistem yang mampu melepaskan/menyerap zat dari/ke dalam makanan kemasan untuk menghindari pembusukan (Yildirim et al., 2018).

Sebagai perbandingan, KC terutama digunakan untuk melacak dan memantau kondisi makanan kemasan, untuk menangkap dan menyediakan data kondisi produk selama proses penyimpanan dan transportasi (Wang et al., 2018). Dengan demikian, sistem KC biasanya melibatkan elemen perangkat keras, misalnya, detektor gas, indikator kesegaran dan pematangan, indikator waktu-suhu dan lainnya). Ada juga sistem "pembawa data" yang dapat digunakan untuk penyimpanan dan transfer data untuk menampilkan informasi setelahnya (Muller & Schmid, 2019). Membayangkan itu saja, tentu bagi negara-negara berkembang, KC adalah hal yang masih jauh dapat diterapkan. Sehingga perlu ditelaah kemungkinan lain terkait pengemasan yang lebih terjangkau pengaplikasiannya.

### 3.4. Pendorong *Food Loss* di Sepanjang Rantai Pasokan dan Potensi Solusi

#### 3.4.1. Mencegah Penyalahgunaan Suhu

Suhu adalah pendorong utama kerugian pascapanen. Alasan utamanya adalah proses yang bergantung pada suhu, seperti respirasi atau transpirasi yang menyebabkan pematangan berlebihan dan penuaan, tetapi juga pertumbuhan mikroba patogen (Kader, 2002). Oleh karena itu, sangat penting untuk terus mempertahankan kisaran suhu optimal dengan ventilasi yang baik di sepanjang rantai pasokan untuk meminimalkan atau memperlambat proses yang tidak diinginkan tersebut (De Freitas & Pareek, 2019). Harus dipastikan bahwa pendinginan dilaksanakan sesegera mungkin setelah

panen. Selain itu, teknologi prapendinginan perlu dioptimalkan untuk setiap komoditas guna mencegah kerusakan akibat perubahan suhu yang mendadak (Duan et al., 2020). Ketika akses ke listrik dan pendingin kurang, sistem pendingin energi rendah (misalnya pendingin evaporatif atau solar-driven) adalah opsi yang memungkinkan untuk penyimpanan dingin jangka pendek (Olosunde et al., 2016). Di sisi lain, kontrol suhu juga penting untuk mencegah kerusakan pada buah atau sayuran yang disimpan dalam suhu di bawah titik beku (*chilling & freezing injuries*) terutama yang berasal dari daerah tropis maupun subtropis (Kader, 2002). Pemantauan suhu dalam rantai pasokan komersial biasanya dilakukan dengan menempatkan satu atau lebih sensor suhu di kargo selama pendinginan awal, pengangkutan, atau penyimpanan dingin (Mercier et al., 2017).

Sayangnya, ini sangat sulit diterapkan di Indonesia. Hanya sedikit perangkat yang ditempatkan karena biaya tambahan dan sumber daya waktu yang diperlukan untuk menempatkan sensor dan mengevaluasi data. Sensor ini juga terkadang hanya mengukur suhu udara. Ulasan beberapa perangkat diberikan oleh Defraeye et al. (2021). Namun, data suhu udara yang diperoleh mungkin tidak mencerminkan kondisi termal sebenarnya dari buah dan sayuran tersebut. Meski demikian, fokus saat ini di Indonesia, dalam pemantauan suhu lebih terletak pada pemantauan waktu nyata serta pemantauan seluruh rantai pasokan pascapanen, daripada menempatkan lebih banyak sensor (Putri et al. 2020; Kementerian PPN/Bappenas, 2022). Hal yang sama juga dilakukan oleh dunia secara global (Ndraha et al., 2018).

#### 3.4.2. Kelembapan Rendah dan Peningkatan Kehilangan Kelembapan

Kehilangan air yang disebabkan transpirasi nyatanya adalah kehilangan mutu pasar produk, karena mengarah pada penurunan kualitas buah dan sayur seperti mengerut, layu hingga pelunakan. Produk segar yang berbeda (buah-buahan, umbi-umbian, dan sayuran) menunjukkan berbagai kerentanan terhadap transpirasi karena variasi morfologi dan anatomi, termasuk luas permukaan, kadar air, atau permeabilitas masing-masingnya (Bovi et al., 2016; Sasaki et al., 2022). Untuk sebagian besar produk segar, kelembapan di lingkungan penyimpanan atau ruang pengemasan biasanya harus dijaga tetap tinggi (>90%).

Namun demikian, spesifikasi pengemasan dan penyimpanan harus disesuaikan secara terpisah untuk setiap produk guna mencapai kualitas yang optimal. Di samping kemasan plastik tradisional (misalnya nampan, tas, foil), tersedia beberapa solusi terbaru dan lebih berkelanjutan untuk meningkatkan lingkungan dengan kelembapan tinggi di sekitar produk. Contohnya adalah polimer biodegradable, pelapis makanan yang juga dapat dimakan, dan sistem pelembap (Khalil et al., 2018; Ramesh et al., 2020). Selain itu, perlu dicatat bahwa untuk produk tertentu,

termasuk umbi, langkah pencucian pascapanen dapat secara signifikan mengurangi umur simpan dengan menghilangkan lapisan pelindung alaminya (meminimalkan hilangnya kelembapan) atau dengan meningkatkan risiko infeksi mikroba oleh air yang terkontaminasi (Machado-Moreira et al., 2019).

### 3.4.3. Pemantauan Kelembapan

Dalam rantai pasokan komersial, pemantauan ini kurang umum dibandingkan pemantauan suhu. Salah satu alasannya adalah sensor biasanya lebih mahal dan kurang kuat di lingkungan dengan kelembapan tinggi. Hal ini berubah dengan cepat dan semakin banyak pemangku kepentingan mulai menggunakan gabungan sensor suhu dan kelembapan, mengingat tingginya dampak kelembapan terhadap kualitas produk segar (Shoji et al., 2022). Kelembapan tinggi, kondensasi terkait dan pembusukan mikroba

Penyebab lain *food loss* adalah penyakit pascapanen yang disebabkan oleh berbagai mikroba patogen, termasuk jamur dan bakteri. Organisme ini sebagian besar menunjukkan pertumbuhan yang maju di bawah kondisi lembap dan hangat (Al-Najada & Al-Suabeyl, 2014). Tingkat kelembapan yang tinggi mendukung perkecambah dan pertumbuhan spora jamur patogen. Fluktuasi suhu dalam rantai dingin dapat menyebabkan kondensasi pada permukaan buah bahkan kemasan (Castellanos et al. 2016). Oleh karena itu, sangat penting untuk mengoptimalkan pengemasan pada setiap produk guna mengontrol kelembapan dan meminimalkan kondensasi. Hal ini dapat dicapai dengan pengemasan berventilasi optimal (posisi, ukuran, jumlah lubang ventilasi) (Mukama et al., 2020), pengemasan atmosfer termodifikasi (*Modified Atmosphere Packaging/MAP*) (Caleb et al. 2016), atau penyerap kelembapan dalam kemasan (Bovi et al., 2018).

### 3.4.4. Peningkatan Gas yang Berpotensi Mempercepat Pembusukan

Spesies dan kultivar yang berbeda memiliki metabolisme pascapanen yang unik yang mempengaruhi permulaan dan durasi proses pematangan yang berlebihan hingga pembusukan. Buah-buahan klimakterik (misalnya mangga, alpukat, apel), yang terus matang setelah panen, menjadi perhatian khusus karena umur simpan pascapanennya seringkali pendek (Yahia, 2020). Setelah panen, buah-buahan ini menghasilkan hormon tanaman etilen, yang mempengaruhi pematangan dan reaksi penuaannya, tetapi juga produk hortikultura lain di sekitarnya. Gas pematangan lainnya, seperti O<sub>2</sub> atau CO<sub>2</sub>, di udara sekitar produk juga mempengaruhi laju respirasi dan umur simpan produk terkait. Teknologi pascapanen yang sesuai, seperti penyimpanan dengan udara

terkendali (*Controlled Atmosphere Storage/ CAS*) atau kemasan aktif, memodifikasi komposisi gas di sekitarnya untuk mempertahankan kesegaran produk lebih lama (Drago et al., 2022). Selain itu, penyerapan etilen, pencegahan kargo yang muatannya bercampur, serta penyimpanan dan pengangkutan yang berventilasi baik dapat membantu mengendalikan dan memperlambat proses terkait etilen (Sadeghi et al., 2021).

Pemantauan berbagai gas ini tidak umum dilakukan dalam rantai pasokan produk segar di negara-negara berkembang, termasuk Indonesia. Alasan utamanya adalah perangkat yang kecil namun cukup akurat dengan harga yang terjangkau masih sulit untuk diproduksi (Janssen et al., 2014). Ada *trade-off* yang harus diselesaikan antara sensitivitas sensor, portabilitas, dan biaya. Namun, ada beberapa peneliti yang secara aktif berupaya meningkatkan beberapa aspek perangkat pemantauan gas (Hu et al., 2019; Wang et al., 2018).

### 3.5. Strategi Pengemasan yang Memadai dalam Mengoptimalkan Operasi Rantai Pasokan

Sementara standar kualitas membantu menjaga keseragaman produk dan mengurangi *food loss* selama rantai pasokan yang panjang, mereka juga dapat menyebabkan terjadinya *food loss* karena adanya istilah produk yang "tidak sempurna" atau tidak tersortir (Porter et al., 2018). Jadi, untuk mengurangi kerugian yang dapat dihindari ini, kemungkinan pembelian produk dengan ukuran, bentuk, atau kematangan yang tidak sesuai harus didorong. Studi terbaru menunjukkan bahwa konsumen bersedia membeli produk semacam itu saat didiskon (Cao & Miao, 2021). Pilihan lain adalah penetapan harga yang "dinamis" untuk kualitas produk yang berbeda atau juga memberikan insentif pada pelanggan untuk membeli tidak hanya produk yang sempurna tanpa cacat (Fan et al., 2020). Selanjutnya, bentuk komunikasi toko dapat membantu meningkatkan motivasi dan persepsi pelanggan untuk membeli. Label produk harus memberi tahu pelanggan seperti tanggal "baik digunakan sebelum" (Aschemann-Witzel et al. 2016). Selain itu, informasi produk juga dapat digunakan untuk menginformasikan kepada pelanggan tentang cara pencegahan *food loss* saat ini. Contohnya adalah persyaratan penggunaan kemasan untuk produk impor dengan rute pengangkutan yang panjang (Shrivastava et al., 2022). Namun demikian, unit pengemasan yang dapat didaur ulang dan dapat digunakan kembali harus diutamakan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, terutama untuk produk dalam negeri. Tabel 1 menyajikan solusi bersama dengan referensi yang relevan.

**Tabel 1.** Langkah-langkah pascapanen untuk mengurangi *food loss* di sepanjang rantai pasokan buah dan sayur yang dapat diterapkan di Indonesia

Parameter	Dampak	Solusi	Referensi
Suhu	Peningkatan umur simpan terkait suhu	Wadah kemasan berventilasi (dapat digunakan kembali) yang lebih baik untuk pendinginan homogen, misalnya, kotak kardus dengan lubang ventilasi, wadah dari "International Food Container Organization/ IFCO Systems."	Berry et al., 2022; Defraeye et al., 2015; Gruyters et al., 2019; Singh et al., 2016; Wu et al., 2019
Kelembapan	Mengurangi pembusukan mikroba akibat	Peningkatan sistem pengemasan/insulasi untuk kontrol suhu yang lebih baik. Misalnya material berubah fasa ( <i>phase change materials/ PCMs</i> ) untuk wadah dengan sekat. Pengemasan yang dirancang khusus untuk mengurangi risiko kondensasi atau kontaminasi. Misalnya wadah pengatur kelembapan, penambahan bantalan penyerap cairan, ventilasi yang lebih baik, bahan pengemasan yang mengandung senyawa antimikroba, saset antimikroba, dan pelapis yang dapat dimakan dengan zat antimikroba.	Singh et al., 2018; Zhao et al., 2020 Bovi et al., 2018; Jung & Zhao, 2016; Mukama et al., 2020; Rux et al., 2015, 2016
	Mengurangi kehilangan massa	i. Pengemasan untuk perlindungan fisik terhadap getaran dan kerusakan "memar" pada buah misalnya, desain kemasan dengan kekuatan yang lebih baik, pencegahan kelebihan beban. ii. Pelapis yang dapat dimakan, misalnya pelapis dari protein, lipid, polisakarida atau komposit.	Mukama et al., 2020 Mukama et al., 2020
	Pengurangan penggunaan plastik	i. Bahan kemasan yang dapat terurai secara hayati atau berbahan dasar hayati misalnya, asam polilaktat, pati, selulosa. ii. Kemasan produk secara kolektif/massal, bukan kemasan tunggal (kemasan plastik <i>shrink wrap</i> , bungkus <i>flow pack</i> , dll.). Misalnya kantong berbahan foil	Nor & Ding, 2020; Yousuf et al., 2018; Khalil et al., 2018; Ramesh et al., 2020 Kakadellis & Harris, 2020
Gas pematangan	Mengurangi kehilangan massa & pematangan / pembusukan yang lebih lambat	Pengemasan MAP atau modifikasi kesetimbangan, di mana kondisi di dalam kemasan diadaptasi berdasarkan komposisi gas di dalam kemasan dan lingkungan sekitarnya.	Ghidelli et al., 2018; Yildirim et al., 2018
Operasi sistem ritel	Kesadaran Konsumen	i. Cetak pesan informatif pada kemasan, misalnya, "kemasan yang dapat terurai secara alami ( <i>biodegradable</i> )", "kemasan yang dapat digunakan kembali ( <i>reusable</i> )". ii. Pemberian informasi terkait strategi pengurangan <i>food loss</i> . Misalnya, label atau stiker bertuliskan, "lebih sedikit <i>food loss</i> dengan pembelian...."	Verghese et al., 2015 Verghese et al., 2015

### 3.6. Strategi Pengambilan Keputusan untuk Evaluasi Solusi dan Identifikasi Tindakan Optimal

#### 3.6.1. Identifikasi Solusi Khusus Produk

Karena produk segar berasal dari berbagai jaringan tanaman pada tahap pengembangan yang berbeda, mereka memerlukan penyesuaian pengemasan dan penyimpanan khusus untuk menangkali penyebab pembusukan terkait. Metode pengemasan dan penyimpanan yang dioptimalkan dapat membantu mengurangi gejala seperti yang telah diuraikan pada sub 3.4. Produk buah berukuran kecil, seperti strawberry, menjadi perhatian khusus karena rentan terhadap kondensasi dan pembusukan mikroba. Ini karena rasio luas permukaan terhadap volume yang besar, yang meningkatkan risiko terjadinya transpirasi dan kondensasi. Sayuran seperti selada atau jenis rempah-rempahan, juga memiliki area jaringan yang luas; rentan layu akibat transpirasi. Berbagai kemasan dan penyimpanan berpendingin di ritel membantu mengurangi gejala akibat hilangnya kelembapan. Sebagian besar buah "nyata" dan terutama klimakterik menunjukkan peningkatan respirasi, pematangan, dan akhirnya penuaan setelah dipanen. *Scrubber* etilen dalam

kemasan atau selama penyimpanan mengurangi proses autokatalitik tersebut (Sadeghi et al., 2021).

Salah satu tantangan bagi ritel dan pemangku kepentingan lainnya adalah bahwa setiap produk memiliki persyaratan yang berbeda, misalnya terkait kemasan, pelapis *edible film* (bungkus produk yang dapat dimakan), atau pembersih etilen. Oleh karena itu, perusahaan yang memasok teknologi ini biasanya menyediakan solusi khusus untuk setiap produk kepada pelanggan. Sebagai contoh, pengemasan MAP disesuaikan oleh produsen untuk setiap produk, serta komposisi *edible film* dan prosedur aplikasinya. Selain itu, produk yang berbeda juga sering diangkut atau disimpan bersama, meskipun memiliki kondisi penyimpanan higrותרmal lain yang optimal atau sensitivitas etilen dan tingkat produksi yang berbeda.

Pemangku kepentingan menghadapi tantangan untuk menentukan kondisi suhu udara (dan terkadang kelembapan) yang ditetapkan untuk menghindari pembusukan yang berlebihan dengan produk yang disimpan pada suhu yang lebih dingin dibandingkan dengan menghindari kerusakan akibat pendinginan dengan produk yang disimpan pada suhu yang lebih tinggi. Suhu penyimpanan sering dipilih sebagai suhu optimal tertinggi dari semua tanaman

yang disimpan. Dengan demikian, *chilling injuries* dapat dihindari, namun hal ini menyebabkan hilangnya masa pascapanen buah dan sayuran yang dapat disimpan pada suhu yang lebih dingin. Pemangku kepentingan juga dapat mencoba mengidentifikasi atau membuat zona suhu di kompartemen berpendingin mereka jika memungkinkan. Di truk berpendingin atau ruang penyimpanan, terpal dapat memisahkan zona yang berbeda dan mengelompokkan kompartemen dengan cara itu. Di ruang penyimpanan, kondisi suhu juga seringkali tidak seragam; di mana suhu terdingin ditemukan di dekat kipas, di mana unit pendingin ditempatkan.

### 3.6.2. Pertukaran antara Nilai Food Loss dan Dampak Solusi Pengurangannya

Beberapa *trade-off* muncul selama pengambilan keputusan untuk menerapkan strategi pengurangan *food loss*. Contohnya adalah biaya (jangka pendek) untuk langkah-langkah baru versus kemungkinan peningkatan pendapatan makanan yang disimpan yang biasanya baru terjadi kemudian (Rutten, 2013). Selanjutnya, ketika standar baru ditetapkan, dampak lingkungannya tidak boleh melebihi emisi dari akumulasi kehilangan pangan. Dari sisi pengemasan sendiri, biasanya dilebih-lebihkan tentang emisi seluruh rantai pasokan (Shrivastava et al., 2022).

Namun, seringkali sulit untuk secara tepat mengukur total jejak karbon di sepanjang rantai pasokan, dan penelitian yang membandingkan dampak lingkungan dari solusi *food loss* yang berbeda (Chauhan et al., 2021). Oleh karena itu, analisis siklus hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*) dari keseluruhan rantai dan setiap operasi akan membantu dalam memberikan informasi yang relevan untuk proses pengambilan keputusan (Bessou, 2017). Misalnya, nilai LCA dari seluruh rantai yang disebabkan oleh *food loss* dibandingkan dengan yang didorong oleh strategi pengurangan *food loss*, akan memberikan wawasan yang berharga untuk mengidentifikasi langkah-langkah yang optimal. Dengan begitu, kita dapat menentukan berapa skor kriteria yang berbeda dalam menghemat makanan, mengurangi jejak karbon, serta menghemat biaya maupun energi.

## 4. KESIMPULAN

Studi ini menyusun kumpulan strategi pengemasan terkait pengurangan *food loss* untuk rantai pasokan pascapanen buah-buahan dan sayuran. Di sini dijabarkan penyebab utama *food loss* dalam proses rantai pasokan yang tidak menguntungkan yang menyebabkan inefisiensi dan pembusukan sehingga mengarah pada limbah makanan. Tinjauan singkat dan holistik mengenai langkah-langkah yang mungkin dilakukan memberikan ringkasan dan titik awal untuk mengoptimalkan rantai pasokan pascapanen dan meminimalkan *food loss*. Hal ini akan memungkinkan para *stakeholder* untuk berkonsultasi dengan praktik dan prosedur yang ada untuk mengurangi *food loss*.

Perlu juga dikatakan bahwa kajian ini mempunyai keterbatasan, karena *database* yang dipilih untuk memilih artikel terkait hanyalah sedikit dari sekian banyak *database* yang tersedia, terutama untuk menggambarkan secara detail kondisi di Indonesia. Meskipun demikian, kajian ini menunjukkan implikasi teoretis, praktis, dan manajerial, dengan memberikan panduan kepada akademisi, praktisi, dan pengambil keputusan tentang metode pengemasan buah dan sayuran untuk mengurangi dan meminimalkan *food loss* dan *food waste*. Terakhir, sebagai penelitian masa depan, direkomendasikan survei yang menilai persepsi para pemangku kepentingan yang berbeda melalui penerapan aplikasi yang spesifik, sektoral, dan ekstensif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aday, S., & Aday, M. S. (2020). Impact of COVID-19 on the food supply chain. *Food Quality and Safety*, 4(4), 167–180, <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyaa024>
- Anjum, M. A., Akram, H., Zaidi, M., Ali, S. (2020) Effect of gum arabic and Aloe vera gel based edible coatings in combination with plant extracts on postharvest quality and storability of 'Gola' guava fruits. *Scientia Horticulturae*, 271, 109506, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109506>
- Al-Najada, A. R., & Al-Suabeyl, M. S. (2014). Isolation and classification of fungi associated with spoilage of post-harvest mango (*Mangifera indica* L.) in Saudi Arabia. *African Journal of Microbiology Research*. 8(7): 685-688, <https://doi.org/10.5897/AJMR12.1898>
- Aschemann-Witzel, J., de Hooge, I., & Normann, A. (2016). Consumer-related food waste: Role of food marketing and retailers and potential for action. *Journal of International Food and Agribusiness Marketing*, 28(3), 271–285, <https://doi.org/10.1080/08974438.2015.1110549>
- Astria, W. D., Herdiansyah, H., & Tumuyu, S. S. (2023). Praktik Pencegahan dan Pengurangan Sampah Sisa Makanan di Sektor Pengecer di Beberapa Negara (Tinjauan Literatur). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21 (2), 350-360, <https://doi.org/10.14710/jil.21.2.350-360>
- Berry, T. M., Defraeye, T., & Ambaw, A. (2022). Exploring novel carton footprints for improved refrigerated containers usage and a more efficient supply chain. *Biosystems Engineering*, 220, 181–202, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.06.001>
- Bessou, C. (2017), How to assess the environmental impacts of an agri-chain in *Sustainable development and tropical agri-chains*, editor Biénabe, E., Rival, A., Loeillet, D., Dordrecht: Springer, pp. 237–255.
- Bovi, G. G., Caleb, O. J., Linke, M., Rauh, C., Mahajan, P. V. (2016). Transpiration and moisture evolution in packaged fresh horticultural produce and the role of integrated mathematical models: A review. *Biosystems Engineering*, 150, 24–39, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.07.013>
- Bovi, G. G., Caleb, O. J., Klaus, E., Tintchev, F., Rauh, C., Mahajan, P. V. (2018). Moisture absorption kinetics

- of FruitPad for packaging of fresh strawberry. *Journal of Food Engineering*, 223, 248–254, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.10.012>
- Brennan, L., Langley, S., Verghese, K., Lockrey, S., Ryder, M., Francis, C., Phan-Le, N. T., Hill, A. (2020). The role of packaging in fighting food waste: a systematised review of consumer perceptions of packaging. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125276, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125276>
- Caleb, O. J., Ilte, K., Frohling, A., Geyer, M., Mahajan, P. V. (2016). Integrated modified atmosphere and humidity package design for minimally processed Broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*). *Postharvest Biology and Technology*, 121, 87–100, <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2016.07.016>
- Cao, Y., & Miao, L. (2021). Consumer responses to suboptimal food products. *Appetite*, 163, 105205. <https://doi.org/10.1016/J.APPET.2021.105205>
- Castellanos, D. A., Herrera, D. R., & Herrera, A. O. (2016). Modelling water vapour transport, transpiration and weight loss in a perforated modified atmosphere packaging for feijoa fruits. *Biosystems Engineering*, 151, 218–230. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.08.015>
- Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M. U., Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126438. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126438>
- Conrad, Z., & Blackstone, N. T. (2021). Identifying the links between consumer food waste, nutrition, and environmental sustainability: A narrative review. *Nutrition Reviews*, 79(3), 301–314, <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaa035>.
- De Freitas, S. T., & Pareek, S. (2019). Postharvest physiological disorders in fruit and vegetables. *Postharvest physiological disorders in fruits and vegetables*, 3–14. <https://doi.org/10.1201/B22001-1>
- Defraeye, T., Cronjé, P., Berry, T., Opara, U. L., East, A., Hertog, M., Verboven, P., Nicolai, B. (2015). Towards integrated performance evaluation of future packaging for fresh produce in the cold chain. *Trends in Food Science and Technology*, 44(2), 201–225, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.008>
- Defraeye, T., Shrivastava, C., Berry, T., Verboven, P., Onwude, D., Schudel, S., Buhlmann, A., Cronje, P., Rossi, R. M. (2021). Digital twins are coming: Will we need them in supply chains of fresh horticultural produce. *Trends in Food Science and Technology*, 109, 245–258, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.025>
- Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., Perego, P. (2020). Innovations in smart packaging concepts for food: An extensive review. *Foods*, 9(11), 1628, <https://doi.org/10.3390/foods9111628>
- Duan, Y., Wang, G. B., Fawole, O. A., Verboven, P., Zhang, X. R., Wu, D., Opara, U. L., Nicolai, B., Chen, K. (2020). Postharvest precooling of fruit and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 278–291, <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.04.027>
- Fan, T., Xu, C., & Tao, F. (2020). Dynamic pricing and replenishment policy for fresh produce. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 106127, <https://doi.org/10.1016/J.CIE.2019.106127>
- FAO, Ifad, Unicef, WFP, & WHO. (2021). The state of food security and nutrition in the world - Transforming food systems for affordable healthy diets. The state of the world. <https://doi.org/10.4060/ca9692en>
- Ghidelli, C., P'erez-gago, M. B., & Ghidelli, C. (2018). Recent advances in modified atmosphere packaging and edible coatings to maintain quality of fresh-cut fruits and vegetables quality of fresh-cut fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(4), 662–679, <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1211087>
- Gruyters, W., Defraeye, T., Verboven, P., Berry, T., Ambaw, A., Opara, U. L., Nicolai, B. (2019). Reusable boxes for a beneficial apple cold chain: A precooling analysis. *International Journal of Refrigeration*, 106, 338-349, <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.07.003>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., van Otterdijk, R., Meybeck, A. (2011). Global food losses and food waste: extent, causes and prevention. *International Congress: Save Food!*, 38.
- Hu, B., Sun, D. W., Pu, H., Wei, Q. (2019). Recent advances in detecting and regulating ethylene concentrations for shelf-life extension and maturity control of fruit: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 91(2018), 66–82, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.010>
- INCPEN & WRAP (2019). Key Findings Report: UK survey 2019 on citizens' attitudes & behaviours relating to food waste, packaging and plastic packaging, WRAP. Banbury, UK.
- Janssen, S., Schmitt, K., Blanke, M., Bauersfeld, M. L., W'ollenstein, J., Lang, W. (2014). Ethylene detection in fruit supply chains. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 372, 20130311, <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0311>
- Jung, J., & Zhao, Y. (2016). Antimicrobial packaging for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Antimicrobial food packaging*, 2016, 183-201, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800723-5.00018-8>
- Kader, A. A. (2002). Postharvest technology of horticultural crops. *University of California Agriculture and Natural Resources* (Vol. 3311).
- Kakadellis, S., & Harris, Z. M. (2020). Don't scrap the waste: The need for broader system boundaries in bioplastic food packaging life-cycle assessment – A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122831, <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.122831>
- Kalogiannidis, S., Chatzitheodoridis, F., & Kontsas, S. (2020). An Eclectic Discussion of the Effects of COVID-19 Pandemic on the World Economy During the First Stage of the Spread. *International Journal of Financial Research*, 11, 6, <https://doi.org/10.5430/ijfr.v11n6p137>
- Khalil, H. P. S. A., Banerjee, A., Saurabh, C. K., Tye, Y. Y., Suriani, A. B., Mohamed, A., Karim, A. A., Rizal, S., Paridah, M. T. (2018). Biodegradable films for fruits and vegetables packaging application: preparation and properties in *Food engineering reviews*, 10, New York LLC: Springer, pp. 139–153. <https://doi.org/10.1007/s12393-018-9180-3>
- Kementerian PPN/Bappenas, (2021). Laporan Kajian Food Loss & Waste di Indonesia, Jakarta: kementerian PPN/Bappenas, <https://lcdi-indonesia.id/wp>



- content/uploads/2021/06/Report-Kajian-FLW-FINAL-4.pdf
- Kementerian PPN/Bappenas, (2022), Laporan Tahunan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian 2021, Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas, [https://pascapanen-litbang-ppid.pertanian.go.id/doc/34/LAPORAN%20TAHUNAN/LT\\_2021%20\(1\).pdf](https://pascapanen-litbang-ppid.pertanian.go.id/doc/34/LAPORAN%20TAHUNAN/LT_2021%20(1).pdf)
- Machado-Moreira, B., Richards, K., Brennan, F., Abram, F., Burgess, C. M. (2019). Microbial contamination of fresh produce: What, where, and how. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(6), 1727–1750, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12487>
- Mak, T. M., Xiong, X., Tsang, D. C., Iris, K. M., Poon, C. S. (2020). Sustainable food waste management towards circular bioeconomy: Policy review, limitations and opportunities. *Bioresource Technology*, 297, 122497, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122497>
- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., Uysal, I. (2017). Time-temperature management along the food cold chain: A review of recent developments. *Journal of Food Science*, 16, 645–667, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12269>
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L.A. (2015). Preferred reporting items for systematic review and metaanalysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Review*, 4 (1), 1, <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Mukama, M., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2020). Advances in design and performance evaluation of fresh fruit ventilated distribution packaging: A review. *Food packaging and shelf life*, 24, 100472, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100472>
- Muller, P., & Schmid, M. (2019). Intelligent packaging in the food sector: A brief overview. *Foods*, 8, 16, <https://doi.org/10.3390/foods8010016>
- Ndraha, N., Hsiao, H. I., Vlajic, J., Yang, M. F., Lin, H. T. V. (2018). Time-temperature abuse in the food cold chain: Review of issues, challenges, and recommendations. *Food Control*, 89, 12–21, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.027>
- Nor, S. M., & Ding, P. (2020). Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review. *Food research international*, 134, 109208, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109208>
- Olosunde, W. A., Aremu, A. K., & Onwude, D. I. (2016). Development of a solar powered evaporative cooling storage system for tropical fruits and vegetables. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(2), 279–290, <https://doi.org/10.1111/jfpp.12605>
- Patunru, A., Octania, G., & Audrine, P. (2020) Penanganan Gangguan Rantai Pasok Pangan di masa Pembatasan Sosial terkait Pandemi Covid-19 CIPS-Indonesia <https://www.cips-indonesia.org/publications/penanganan-gangguan-rantai-pasok-pangan-di-masa-pembatasan-sosial-terkait-pandemi-covid-19?lang=id>
- Porter, S. D., Reay, D. S., Bomberg, E., Higgins, P. (2018). Avoidable food losses and associated production-phase greenhouse gas emissions arising from application of cosmetic standards to fresh fruit and vegetables in Europe and the UK. *Journal of Cleaner Production*, 201, 869–878, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.079>
- Putri F. P., Marimin, M., & Yuliasih, I. (2020). Peningkatan efektivitas dan efisiensi manajemen rantai pasok agroindustri buah: tinjauan literatur dan riset selanjutnya. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 30(3), 338-354, <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.3.38>
- Raj, A., Mukherjee, A. A., de Sousa Jabbour, A. B. L., Srivastava, S. K. (2022). Supply chain management during and post-COVID-19 pandemic: Mitigation strategies and practical lessons learned. *Journal of Business Research*, 142, 1125–1139, <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.01.037>
- Ramesh, M., Narendra, G., Sasikanth, S. (2020). A Review on Biodegradable Packaging Materials in Extending the Shelf Life and Quality of Fresh Fruits and Vegetables in *Waste Management as Economic Industry Towards Circular Economy*, editor Ghosh, S. (eds) Springer, Singapore, pp 59-65, [https://doi.org/10.1007/978-981-15-1620-7\\_6](https://doi.org/10.1007/978-981-15-1620-7_6)
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2022) Environmental Impacts of Food Production. <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>
- Rux, G., Mahajan, P. V., Geyer, M., Linke, M., Pant, A., Saengerlaub, S., Caleb, O. J. (2015). Application of humidity-regulating tray for packaging of mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, 108, 102–110, <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2015.06.010>
- Rux, G., Mahajan, P. V., Linke, M., Pant, A., Saengerlaub, S., Caleb, O. J., Geyer, M. (2016). Humidity-regulating trays: Moisture absorption kinetics and applications for fresh produce packaging. *Food and Bioprocess Technology*, 9(4), 709–716, <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1671-0>
- Sadeghi, K., Lee, Y., & Seo, J. (2021). Ethylene scavenging systems in packaging of fresh produce: A review. *Food reviews international*, 37, 155–176, <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1695836>
- Sasaki, Y., Orikasa, T., Nakamura, N., Hayashi, K., Yasaka, Y., Makino, N., Shobatake, K., Koide, S., Shiina, T. (2022) Optimal packaging for strawberry transportation: Evaluation and modeling of the relationship between food loss reduction and environmental impact. *Journal of Food Engineering*, 314(2022) 110767, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110767>.
- Searchinger, T., R. Waite, C. Hanson and J. Ranganathan (2019). *Creating a Sustainable Food Future: A Menu of Solutions to Feed Nearly 10 Billion People by 2050*, World Resources Institute. Washington. <https://www.wri.org/research/creating-sustainable-food-future>
- Sharma, P., Bhagat, P., Mandal, M. B., Singh, T. B. (2021). Assessment of awareness regarding health hazards of plastic chemicals and their warning label among a sample population of Varanasi City: A cross-sectional study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences*, 13(Suppl 2), S1428, [https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs\\_240\\_21](https://doi.org/10.4103/jpbs.jpbs_240_21)
- Shoji, K., Schudel, S., Onwude, D., Shrivastava, C., Defraeye, T. (2022). Mapping the postharvest life of imported fruits from packhouse to retail stores using physicsbased digital twins. *Resources, Conservation*

- Ihsan, T., dan Derosya, V. (2024). Tinjauan Strategi Pengemasan Buah dan Sayur dalam Memerangi *Food Loss* dalam Rantai Pasokan Pascapanen di Indonesia. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(4), 1078-1087, doi:10.14710/jil.22.4.1078-1087
- and Recycling, 176, 105914, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105914>
- Shrivastava, C., Berry, T., Cronje, P., Schudel, S., Defraeye, T. (2022). Digital twins enable the quantification of the trade-offs in maintaining citrus quality and marketability in the refrigerated supply chain. *Nature Food*, 3 (2022), 413–427, <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00497-9>
- Singh, J., Shani, A. B. R., Femal, H., & Deif, A. (2016). Packaging's role in sustainability: Reusable plastic containers in the agricultural-food supply chains. *Organizing for Sustainable Effectiveness*, 5, 175–204, <https://doi.org/10.1108/S2045-06052016000005016/FULL/XML>
- Singh, S., Gaikwad, K. K., & Lee, Y. S. (2018). Phase change materials for advanced cooling packaging. *Environmental Chemistry Letters*, 16(3), 845–859, <https://doi.org/10.1007/S10311-018-0726-7/FIGURES/4>
- Spang, E. S., Achmon, Y., Donis-Gonzalez, I., Gosliner, W. A., Madison, P., Jablonski-Sheffield, Momin, M. A., Qusted, T. E., Winans, K. S., Tomich, T. P. (2019). Annual review of environment and resources food loss and waste: Measurement, drivers, and solutions. *Annual Reviews of Environmental Resources*, 44, 117-156, <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718>
- Tranfield, D., Denyer, D., Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal Management*, 14, 207–222, <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., Phung, D. T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *International journal of environmental research and public health*, 18(3), 1112, <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- UN News, (2020). Food loss and waste 'an ethical outrage', UN chief says on International Day, UN News., <https://news.un.org/en/story/2020/09/1074122>
- Vanderroost, M., Ragaert, P., Devlieghere, F., De Meulenaer, B. (2014). Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science & Technology*, 39(1), 47–62, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.009>
- Vergheze, K., Lewis, H., Lockrey, S., Williams, H. (2015). Packaging's role in minimizing food loss and waste across the supply chain. *Packaging Technology and Science*, 28(7), 603–620, <https://doi.org/10.1002/pts.2127>
- Wang, J., Zhang, M., Gao, Z., Adhikari, B. (2018). Smart storage technologies applied to fresh foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(16), 2689–2699, <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1323722>
- Wikström, F., Williams, H., Trischler, J., Rowe, Z. (2019). The Importance of Packaging Functions for Food Waste of Different Products in Households. *Sustainability*, 11(9), 2641, <https://doi.org/10.3390/su11092641>
- Wu, W., Cronj'e, P., Verboven, P., Defraeye, T. (2019). Unveiling how ventilated packaging design and cold chain scenarios affect the cooling kinetics and fruit quality for each single citrus fruit in an entire pallet. *Food Packaging and Shelf Life*, 21, 100369, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100369>
- Wunderlich, S. M. (2021). Food supply chain during pandemic: changes in food production, food loss and waste. *International Journal of Environmental Impacts*, 4(2), 101–112, <https://doi.org/10.2495/EI-V4-N2-101-112>
- Yahia, E. M. (2020). Preventing food losses and waste to achieve food security and sustainability. Preventing food losses and waste to achieve food security and sustainability. Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.1201/97804292266621>
- Yildirim, S., Rocker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., Coma, V. (2018). Active packaging applications for food in *Comprehensive reviews in food science and food safety* (Vol. 17, pp. 165–199). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12322>
- Yousuf, B., Qadri, O. S., & Srivastava, A. K. (2018). Recent developments in shelf-life extension of fresh-cut fruits and vegetables by application of different edible coatings: A review. *LWT - food science and technology*, 89, 198–209, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.051>
- Zhao, Y., Zhang, X., Xu, X., Zhang, S. (2020). Research progress of phase change cold storage materials used in cold chain transportation and their different cold storage packaging structures. *Journal of Molecular Liquids*, 319, 114360, <https://doi.org/10.1016/J.MOLLIQ.2020.114360>