



Pilihan-pilihan bahan untuk desain kemasan yang ramah lingkungan

Analisis terhadap studi Kajian Daur Hidup / *Life Cycle Assessment*

Publikasi oleh:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Proyek Global
"Support the Export Initiative Environmental Protection" (BMUV)
Köthener Str. 2
10963 Berlin / Germany
T +49 30 338 424 646
E markus.luecke@giz.de

Collaborative Action for Single-Use Plastic Prevention in Southeast
Asia (CAP-SEA)
193/63 Lake Rajada Office Complex, 16th Fl.
New Ratchadapisek Road, Klongtoey
Bangkok 10110 / Thailand
T +66 65 2400266
E christoffer.brick@giz.de

Informasi lebih lanjut

<https://greentechknowledgehub.de>
<https://www.giz.de/en/worldwide/78869.html>
www.exportinitiative-umweltschutz.de

Penulis:

Kevin Stuber-Rousselle
Siddharth Prakash
Clara Löw

Tata letak:

kipconcept gmbh, Bonn

Kredit foto:

Judul: © fotofabrika / AdobeStock

Tautan URL:

Tanggung jawab atas konten situs web eksternal yang ditautkan
dalam publikasi ini selalu berada pada penerbitnya masing-
masing.
GIZ secara tegas memisahkan diri dari konten tersebut.

GIZ bertanggung jawab atas isi publikasi ini.

Freiburg, Oktober 2021

Bekerja sama dengan Öko-Institut e.V.

On behalf of:

 Federal Ministry
for the Environment, Nature Conservation,
Nuclear Safety and Consumer Protection

of the Federal Republic of Germany



Bekerja sama dengan Öko-Institut e.V.

Hubungi kami

info@oeko.de
www.oeko.de

Kantor Pusat Freiburg

P. O. Box 17 71
79017 Freiburg

Alamat

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telepon +49 761 45295-0

Kantor Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telepon +49 30 405085-0

Kantor Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telepon +49 6151 8191-0

Daftar Isi

Daftar singkatan	4
2.1.1 Bahan-bahan yang paling umum	9
2.1.2 Kinerja lingkungan	9
2.1.3 Kemampuan Daur Ulang	12
2.1.4 Kemampuan Digunakan Kembali	13
2.1.5 Kesimpulan	14
2.2.1 Bahan-bahan yang paling umum digunakan	15
2.2.2 Kinerja lingkungan	16
2.2.3 Kemampuan daur ulang	18
2.2.4 Kemampuan digunakan kembali	19
2.2.5 Kesimpulan	19
2.3.1 Bahan-bahan yang paling umum digunakan	20
2.3.2 Kinerja lingkungan	21
2.3.3 Kemampuan daur ulang	24
2.3.4 Kemampuan untuk digunakan kembali	25
2.3.5 Kesimpulan	25
2.4.1 Bahan-bahan yang paling banyak ditemukan	27
2.4.2 Kinerja lingkungan	27
2.4.3 Kemampuan didaur ulang	29
2.4.4 Kemampuan untuk digunakan kembali	30
2.4.5 Kesimpulan	30
2.5.1 Bahan-bahan yang paling umum digunakan	31
2.5.2 Kinerja lingkungan	32
2.5.3 Kemampuan didaur ulang	33
2.5.4 Kemampuan digunakan kembali	34
2.5.5 Kesimpulan	34
Daftar Referensi	46

Daftar singkatan

EPS	polistiren diperluas (<i>expanded</i>)
EVOH	etilen vinil alkohol kopolimer
GWP	potensi pemanasan global
HDPE	polietilena densitas tinggi
HI-PS	polistirena dampak tinggi
LDPE	polietilena densitas rendah
MP	bubur kertas
NWPP	<i>non-woven</i> polipropilena
PA	poliamida
PE	polietilena
PET	polietilena tereftalat
PHA	polihidroksi alkanoat
PLA	asam polilaktat
PP	polipropilena
PS	polistirena
PVdC	polivinilidena klorida
rPET	polietilena tereftalat (daur ulang)
SUPB	kantong plastik sekali pakai
TPA	asam tereftalat
TPS	pati termoplastik
XPS	polistirena diekstrusi (<i>extruded</i>)

Ringkasan Eksekutif

Terdapat kesepakatan yang tengah berkembang saat ini tentang konsekuensi negatif dari peningkatan volume sampah plastik dan kemasan sekali pakai terhadap kesehatan manusia, ekosistem laut dan darat, perubahan iklim dan keanekaragaman hayati. Namun, penerapan langkah-langkah untuk mengatasi masalah tersebut sangat bervariasi. Inkonsistensi yang kerap ditemukan terkait langkah-langkah untuk mengatasi masalah plastik sekali pakai dan limbah kemasan ini sebagian disebabkan oleh kurangnya pengetahuan tentang dampak lingkungan dan potensi pilihan-pilihan bahan untuk desain kemasan yang berkelanjutan serta alternatif plastik sekali pakai. Metodologi Kajian Daur Hidup atau *Life-Cycle Assessment* (LCA) menawarkan analisis yang komprehensif tentang dampak lingkungan dari bahan kemasan, menyoroti bidang-bidang intervensi yang mendesak dan menunjukkan adanya potensi konflik kepentingan diantara tujuan-tujuan lingkungan yang berbeda-beda. Laporan ini didasarkan pada tinjauan literatur dari beberapa studi LCA yang dilakukan untuk menganalisis dampak lingkungan dari berbagai bahan kemasan dan alternatifnya. Laporan berfokus pada lima aplikasi pengemasan: tas belanja, wadah minuman, gelas minuman, kemasan makanan yang dibawa pulang dan kemasan produk daging.

Analisis yang dituangkan dalam laporan ini mengarah kepada kesimpulan dan pertimbangan-pertimbangan berikut guna mengatasi masalah plastik sekali pakai dan limbah kemasan di Asia Tenggara:

- **Menggantikan produk-produk sekali pakai dengan produk sekali pakai lainnya yang terbuat dari bahan yang berbeda bukanlah sebuah pilihan yang ramah lingkungan:** Tidak ada produk sekali pakai yang lebih baik antara satu dengan yang lain di semua kategori terkait dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan. Yang ada hanyalah pemindahan beban. Oleh karena itu, meskipun satu produk sekali pakai mungkin terlihat lebih ramah lingkungan daripada yang lainnya dalam perbandingan *one-to-one*, namun produk sekali pakai menimbulkan beban yang tinggi pada konsumsi sumber daya.
- **Produk-produk yang dapat digunakan kembali/*reusable* memiliki dampak yang lebih rendah terhadap lingkungan dibandingkan dengan produk sekali pakai:** Meningkatkan tingkat penggunaan kembali produk kemasan yang memiliki potensi tertinggi dalam mengurangi dampak lingkungan. Namun, jika tingkat penggunaan kembali kemasan yang tahan lama dan dapat digunakan kembali rendah, maka kinerjanya tidak lebih baik daripada produk sekali pakai. Dengan demikian, tingginya tingkat penggunaan kembali sangat diperlukan dan kerugian pengumpulan dalam logistik terbalik (*reverse logistics*) dari kemasan yang dapat digunakan kembali diminimalkan.
- **Beban lingkungan dari logistik tambahan, transportasi dan siklus pencucian untuk produk kemasan yang dapat digunakan kembali tidak membalikkan keunggulan lingkungan mereka atas produk sekali pakai:** Beralih ke sistem yang dapat digunakan kembali memiliki dampak yang lebih besar pada kinerja lingkungan dari kemasan yang dapat digunakan kembali daripada jarak yang harus diangkut ke stasiun pencucian dan proses pencucian yang sesuai menggunakan mesin pencuci piring. Dengan meningkatnya efisiensi energi mesin pencuci piring dan meningkatnya pangsa energi terbarukan dalam campuran listrik, jejak lingkungan dari wadah yang dapat digunakan kembali akan semakin menyusut.
- **Mempertimbangkan tantangan dan keterbatasan teknis dalam kegiatan daur ulang, lebih penting untuk mempromosikan penggunaan kembali daripada daur ulang:** Meningkatkan tingkat penggunaan kembali kemasan memiliki potensi pengurangan dampak terhadap lingkungan yang jauh lebih tinggi daripada melalui daur ulang. Jika produk kemasan yang dapat digunakan kembali terbuat dari bahan daur ulang pascapenggunaan oleh

konsumen (*post-consumer*), maka dampak terhadap lingkungan bahkan lebih rendah lagi. Diketahui bahwa tingkat pengumpulan dan daur ulang masih relatif rendah di banyak negara. Secara teknis, kemampuan daur ulang dari suatu bahan tidak berarti bahwa bahan tersebut benar-benar didaur ulang dalam praktiknya.

- **Kurangnya pertimbangan yang memadai dari dampak zat berbahaya, pembentukan mikroplastik, pembuangan sampah sembarangan, hilangnya keanekaragaman hayati dan perubahan dalam penggunaan lahan dalam studi LCA merusak manfaat Lingkungan dari kemasan yang dapat digunakan kembali.** Produk yang dapat digunakan kembali menyebabkan berkurangnya tingkat konsumsi pada sumber daya. Oleh karena itu, mereka juga menyebabkan permintaan yang lebih rendah terhadap penggunaan lahan dan kegiatan ekstraktif, sehingga menghindari konflik penggunaan lahan dan perkebunan monokultur yang memicu hilangnya keanekaragaman hayati. Bobot yang lebih berat dari kemasan yang dapat digunakan kembali dan tahan lama membuatnya tidak rentan menjadi sampah yang dibuang dibandingkan dengan produk plastik sekali pakai yang berbobot ringan. Dikombinasikan dengan zat berbahaya dan generasi mikroplastik, produk plastik sekali pakai menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan manusia, lingkungan laut & darat serta keanekaragaman hayati.
- **Produk kemasan sekali pakai yang terbuat dari plastik bio tidak memberikan keunggulan dibandingkan dengan produk kemasan plastik sekali pakai lainnya:** Hanya ada pemindahan beban lingkungan ketika kemasan plastik berbasis fosil digantikan oleh kemasan plastik berbasis bio. Sementara plastik berbasis fosil konvensional memiliki dampak iklim yang lebih tinggi, plastik berbasis bio dikaitkan dengan potensi pengasaman dan eutrofikasi yang lebih tinggi serta kebutuhan akan lahan. Dengan demikian, mereka menyebabkan adanya persaingan lahan dengan produksi pangan dan juga menyebabkan hilangnya kawasan hutan, sehingga mengancam keanekaragaman hayati.
- **Keuntungan dari kemasan yang dapat terurai secara hayati/*biodegradable* sangat berlebihan dan sangat bergantung pada konteksnya:** Di lingkungan sekitar, mis. komposter rumahan, air laut dll., waktu yang dibutuhkan untuk penguraian sangatlah lama. Dengan demikian, kemasan *biodegradable* tidak menyelesaikan masalah pembuangan sampah secara sembarangan. Di pabrik pengomposan industri, pengemasan *biodegradable* membutuhkan lebih banyak waktu untuk terurai daripada sampah limbah organik lainnya, yang menimbulkan masalah manajemen bagi pabrik pengomposan. Plastik *biodegradable* juga menyebabkan permasalahan pemilahan pada proses daur ulang plastik berbasis fosil, yang menyebabkan penurunan kualitas bahan hasil daur ulang.
- **Manajemen akhir masa pakai dalam konteks tertentu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja lingkungan dari bahan kemasan:** Tidak ada solusi satu ukuran yang cocok untuk semua bagi pilihan pengelolaan limbah yang paling tepat untuk semua bahan kemasan. Jika pengelolaan sampah suatu negara sebagian besar adalah tempat pembuangan akhir, dan tingkat penggunaan kembali dari kemasan yang dapat digunakan kembali rendah, kemasan plastik daur ulang dapat menjadi pilihan yang lebih baik bagi iklim. Di negara-negara di mana pengelolaan limbah didominasi oleh insinerasi – dengan atau tanpa pemulihan energi – plastik berbahan dasar kapas, kertas dan pati dapat menjadi pilihan yang lebih baik bagi iklim. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa daur ulang memiliki keunggulan terhadap lingkungan dibandingkan dengan penimbunan. Namun, setelah melihat pilihan bahan spesifik yang kompleks, yang perlu dipertimbangkan untuk memilih opsi pengelolaan limbah terbaik, beralih ke sistem yang dapat digunakan kembali tidak hanya akan lebih praktis, tetapi juga akan menghasilkan manfaat lingkungan yang lebih besar.

- **Dampak lingkungan dari kemasan tergantung pada beberapa faktor, seperti berat, ukuran, penggunaan bahan tunggal, kemampuan daur ulang, campuran energi dari proses produksi dan pilihan pengolahan limbah:** Faktor-faktor ini perlu dianalisis kasus per kasus untuk mengevaluasi kinerja lingkungan dari jenis kemasan dan alternatifnya. Dari sudut pandang ekologi, ada preferensi yang jelas untuk opsi kemasan yang dapat didaur ulang yang terbuat dari bahan tunggal. Pertukaran antara daur ulang dan manfaat iklim langsung karena pengurangan berat kemasan perlu dipertimbangkan. Di negara-negara dengan fasilitas pembakaran sampah yang kurang optimal, kemasan yang kompleks dan tidak dapat didaur ulang dengan potensi dampak iklim yang rendah, juga dapat menyebabkan emisi berbahaya. Dalam kasus seperti itu, menggunakan kemasan yang lebih berat tetapi dapat didaur ulang mungkin merupakan alternatif yang lebih baik.
- **Pengemasan makanan harus mendapat perhatian khusus dalam perdebatan tentang solusi pengemasan yang berkelanjutan:** Mencegah limbah makanan melalui pengemasan dengan memperpanjang umur simpan memiliki dampak lingkungan yang lebih besar daripada mengurangi dampak lingkungan dari pengemasan. Menempatkan perspektif yang lebih luas dan sistemik, penting untuk mempertanyakan kebermaknaan pengangkutan produk makanan segar jarak jauh dan menyimpannya untuk umur simpan yang sangat lama. Sebaliknya, pendekatan untuk mengembangkan rantai nilai makanan musiman dan regional untuk produk segar yang sebagian besar berbasis sayuran dengan jarak tempuh yang kecil, persyaratan penyimpanan yang lebih sedikit dan konsumsi segera akan menjadi penting. Beberapa studi LCA telah dengan jelas menunjukkan manfaat lingkungan dari rantai makanan musiman dan regional dengan porsi sayuran yang besar.

1 Pendahuluan

Perdebatan tentang dampak lingkungan dari peningkatan volume sampah dan kemasan plastik sekali pakai telah berlangsung selama beberapa tahun hingga sekarang. Tidaklah berlebihan untuk mengatakan bahwa konsensus masyarakat global tentang urgensi penanganan masalah-masalah terkait sampah pun mulai bermunculan. Hal ini dapat diamati dalam banyak perjanjian internasional, kebijakan nasional dan regional serta berbagai inisiatif sektor swasta di seluruh dunia. Meskipun ada kesepakatan yang berkembang tentang konsekuensi negatif dari peningkatan sampah dan kemasan plastik sekali pakai terhadap kesehatan manusia, ekosistem laut dan darat, perubahan iklim dan keanekaragaman hayati, implementasi serta pemahaman tentang dampak langkah-langkah untuk mengatasi masalah sangatlah bervariasi. Inkonsistensi yang banyak ditemukan dalam langkah-langkah untuk mengatasi masalah plastik sekali pakai dan limbah kemasan sebagian disebabkan oleh kurangnya pengetahuan tentang dampak lingkungan dan pilihan bahan potensial untuk desain kemasan yang berkelanjutan dan alternatif plastik sekali pakai.

Metodologi Kajian Daur Hidup (*Life-Cycle Assessment* atau LCA) menawarkan analisis yang komprehensif tentang dampak lingkungan dari bahan kemasan, menyoroti bidang-bidang untuk dilakukan intervensi yang mendesak dan menunjukkan potensi konflik kepentingan antara tujuan lingkungan yang berbeda. Pada saat yang sama, studi LCA tidak selalu memberikan gambaran yang lengkap dan perlu dilengkapi dengan informasi tambahan yang lebih spesifik pada konteks dan membahas aspek-aspek yang tidak ditangani oleh studi LCA tersebut.

Laporan ini didasarkan pada tinjauan literatur dari beberapa studi LCA yang dilakukan untuk menganalisis dampak lingkungan dari berbagai bahan kemasan dan alternatifnya. Laporan ini berfokus pada lima aplikasi pengemasan: tas belanja, wadah minuman, gelas minuman, kemasan makanan yang dibawa pulang, dan kemasan daging. Penting untuk ditekankan bahwa laporan ini tidak didasarkan pada pemodelan LCA sendiri, melainkan menyatukan informasi dan hasil-hasil dari sejumlah studi LCA. Studi LCA yang dianalisis tidak dapat dibandingkan satu dengan lainnya. Mereka dilakukan oleh penulis yang berbeda-beda, di wilayah yang berbeda-beda dengan menggunakan kumpulan data dan asumsi yang berbeda-beda. Namun demikian, laporan ini, meskipun tidak mengurangi perbedaan yang melekat dalam studi LCA, dapat menarik beberapa kesimpulan dan rekomendasi menyeluruh untuk memandu pengambilan keputusan yang lebih tepat menuju solusi pengemasan yang berkelanjutan.

Laporan ini telah disiapkan oleh Institut Öko, Jerman. Target audiensi dari laporan ini adalah para pengambil keputusan politik dan perusahaan-perusahaan di Thailand, Malaysia dan Indonesia. Saat ini, target audiensi di negara-negara tersebut didukung oleh modul proyek GIZ, yaitu CAP SEA (*Collaborative Action for Single-Use Plastic Prevention in Southeast Asia*). Tujuan dari proyek CAP SEA adalah untuk mendukung pengurangan sampah plastik dan mempromosikan sistem pengemasan yang dapat digunakan kembali di Thailand, Malaysia dan Indonesia dengan berfokus pada pendekatan hulu dan memasukkannya ke dalam saran strategi ekonomi sirkular yang lebih luas kepada pemerintah.

CAP SEA didanai oleh Kementerian Federal Jerman untuk Lingkungan, Konservasi Alam, Keselamatan Nuklir dan Perlindungan Konsumen (BMUV) dan merupakan bagian dari proyek global untuk mendukung "*Export Initiative for Environmental Protection*". GIZ merupakan pelaksana utama dan periode pelaksanaan berlangsung dari Agustus 2019 hingga Maret 2023.

2 Jenis-jenis Kemasan

2.1 Tas belanja

Tas belanja adalah tas yang digunakan untuk mengangkut barang saat berbelanja. Tas yang paling umum digunakan di seluruh dunia adalah **kantong plastik sekali pakai**, juga dikenal sebagai tas pembuangan, yang rata-rata digunakan selama sekitar 15 menit dan kemudian dibuang. Diperkirakan bahwa 500 miliar tas belanja digunakan di seluruh dunia setiap tahun (Plastic Oceans 2021). Namun, ada alternatif untuk kantong plastik sekali pakai. Bab ini adalah tentang jejak lingkungan dari tas belanja sekali pakai dan alternatifnya.

2.1.1 Bahan-bahan yang paling umum

Kantong plastik sekali pakai atau *single-use plastic bags* (SUPB) umumnya terbuat dari polietilena berdensitas rendah/*low-density polyethylene* (LDPE) atau polietilena berdensitas tinggi (*high-density polyethylene* atau HDPE). Kantong kertas juga biasanya merupakan tas atau kantong sekali pakai.

Kantong plastik yang dapat digunakan kembali adalah tas atau wadah yang diproduksi untuk berbagai kegunaan dan umumnya terbuat dari **polipropilen (PP)** atau **polietilena tereftalat (PET)**. Tas katun yang diproduksi dari anyaman kapas juga digunakan sebagai alternatif untuk tas wadah plastik yang dapat digunakan kembali.

Kantong plastik berbahan dasar alami (*bio-based*) adalah wadah yang biasanya diproduksi untuk sekali pakai saja. Namun, Kantong *bio-based* yang dapat digunakan kembali juga tersedia di pasaran. Kantong plastik *bio-based* biasanya dibuat dari **bahan baku berbahan dasar alami** seperti **asam polilaktat/*polylactic acid* (PLA)**, **bahan sampah organik**, **hasil bumi seperti tebu, jagung** atau terkadang juga **kayu**. “Berbahan dasar alami” tidak selalu berarti bahwa 100% bahan baku dapat diperbarui. Plastik *bio-based* juga dapat digunakan dalam komposit yang juga mengandung plastik berbasis minyak bumi. Bio-PET, misalnya, terdiri dari 30 persen tebu dan 70 persen sumber daya fosil (DUH 2018a).

Kantong plastik yang dapat terurai/*biodegradable* adalah wadah pembawa barang yang juga umumnya diproduksi untuk sekali pakai. Mereka dapat diproduksi dari bahan baku *bio-based* atau berbasis fosil. Bahan baku *bio-based* yang khas untuk memproduksi kantong plastik *biodegradable* adalah pati, selulosa, karbohidrat, mis. diperoleh dari kentang, singkong, dan lain-lain dan PLA. Mereka dirancang untuk terurai dalam kondisi tertentu¹, melepaskan emisi CO₂ dan metana.

Kantong plastik *oxo-degradable* adalah tas pembawa barang yang diproduksi hanya untuk sekali pakai. Mereka terbuat dari plastik konvensional seperti PE dan dari aditif². Kantong plastik ini dirancang untuk dapat terurai menjadi potongan-potongan menjadi mikroplastik setelah digunakan.

2.1.2 Kinerja lingkungan

Berat sebuah tas belanja berdampak pada kinerja lingkungannya. SUPB memiliki berat sekitar 6 g di Cina, India, Singapura dan Amerika Serikat, tetapi sekitar 18-20 g di Finlandia, Spanyol dan Inggris (UNEP 2020a). Jika kedua jenis tas memenuhi unit fungsional yang sama, tas dari Finlandia, Spanyol dan Inggris memiliki jejak lingkungan tiga kali lebih tinggi daripada tas dari China, India,

¹ Kebanyakan plastik biodegradasi didesain agar terurai dalam kondisi pabrik industri pengomposan.

² Ion logam seperti kobalt, mangan, besi.

Singapura dan Amerika Serikat. Namun, tas 18-20 g mungkin lebih besar dari tas 6 g dan, oleh karena itu, dapat membawa lebih banyak bahan. Lebih lanjut, bobot yang lebih berat juga bisa berarti tas lebih kokoh dan dapat digunakan beberapa kali. Namun, tas 18-20 g harus mengganti tiga tas 6 g sehingga kedua SUPB dapat dibandingkan dalam hal kinerja lingkungannya. Jarak tempuh tas yang harus diangkut sebelum digunakan tampaknya tidak berdampak signifikan terhadap kinerja lingkungannya (Khoo et al. 2010; Edwards und Fry 2011).

Studi Civancik-Uslu et al. (2019) membandingkan tiga tas sekali pakai yang terbuat dari HDPE, kertas dan plastik *biodegradable* dengan dua tas yang dapat digunakan kembali yang terbuat dari LDPE dan PP. Kajian ini juga memasukkan kategori dampak potensi pembuangan sampah secara sembarangan. Potensi membuang sampah sembarangan mempertimbangkan antara lain berat tas kantong, tingkat degradasi dan harga tas kantong (diasumsikan tas yang lebih murah lebih mungkin untuk dibuang). Para penulis menyimpulkan bahwa:

- kantong HDPE sekali pakai memiliki kinerja hampir 30 kali lebih buruk daripada kantong LDPE yang dapat digunakan kembali dalam hal potensi dibuang sembarangan sebagai sampah
- tiga kantong lainnya memiliki kinerja beberapa kali lebih baik daripada kantong LDPE dalam hal potensi dibuang sembarangan sebagai sampah
- kantong HDPE sekali pakai memiliki kinerja sama atau lebih baik daripada kantong lainnya dalam hal pembentukan ozon fotokimia, penggunaan air, pengasaman dan eutrofikasi
- kantong LDPE yang dapat digunakan kembali memiliki jejak karbon terendah, diikuti oleh kantong HDPE sekali pakai
- kantong kertas dan kantong PP yang dapat digunakan kembali memiliki jejak karbon tertinggi tetapi memiliki kinerja terbaik dalam hal potensi dibuang sembarangan sebagai sampah
- kantong kertas, kantong PP yang dapat digunakan kembali dan kantong *biodegradable* memiliki kinerja paling buruk dalam hal eutrofikasi
- kantong *biodegradable* memiliki konsumsi air tertinggi

Dengan demikian, tidak ada satu jenis tas kantong yang lebih baik dari yang lainnya di semua kategori tentang dampak yang ditimbulkan. Bahan yang lebih ringan dapat menghasilkan dampak iklim yang lebih rendah, seperti halnya tas kantong sekali pakai HDPE dan tas kantong LDPE yang dapat digunakan kembali, tetapi juga dapat menghasilkan potensi sampah yang lebih besar. Bahan yang lebih ringan juga lebih mungkin terbawa angin.

Studi Komisi Eropa/European Commission (2019) membandingkan kantong LDPE sekali pakai, kantong *biodegradable* dan kantong LDPE *bio-based*. Kantong *biodegradable* terbuat dari pati dan co-poliester. Kantong LDPE *bio-based* diproduksi di Brasil dari tebu, sedangkan kantong lainnya diproduksi di Eropa. Sebagai kesimpulan keseluruhan, tidak ada bahan kantong dalam penelitian ini yang jelas lebih disukai. Kantong LDPE *bio-based* memiliki jejak karbon dan konsumsi bahan bakar fosil terendah dibandingkan dengan dua jenis kantong lainnya. Rendahnya hasil dalam dua kategori dampak ini disertai dengan kompromi/*trade-off* dalam kategori dampak lainnya. Kantong LDPE *bio-based* memiliki kinerja paling buruk dalam kategori dampak pengasaman, eutrofikasi, partikel dan pembentukan ozon fotokimia. Kantong LDPE sekali pakai memiliki kinerja sedikit lebih baik dalam hal 10 kantong 10an daripada 10 kantong *biodegradable*.

Menurut Komisi Eropa/European Commission (2019), plastik *biodegradable* mempengaruhi Potensi Pemanasan Global (*Global Warming Potential* atau GWP) di tempat pembuangan akhir lebih dari

kantong LDPE karena pelepasan metana dalam proses pengomposan. Kantong LDPE bersifat lembam dan tidak melepaskan emisi di tempat pembuangan akhir. Membandingkan kredit dari proses pengomposan kantong berbahan dasar pati dengan kredit untuk daur ulang kantong LDPE, kredit dari proses daur ulang jauh lebih tinggi daripada kredit dari pengomposan. Manfaat bagi iklim dari daur ulang LDPE jauh lebih besar daripada manfaat pengomposan kantong plastik *biodegradable*. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa daur ulang LDPE mengarah pada penggantian bahan fosil baru, sedangkan kompos hanya menggantikan pupuk (European Commission 2019).

Jika pengelolaan sampah suatu negara sebagian besar adalah TPA dan tingkat penggunaan kembali kantong yang dapat digunakan kembali rendah, maka kantong plastik daur ulang mungkin menjadi pilihan yang lebih baik bagi iklim. Di negara-negara di mana pengelolaan limbah didominasi oleh insinerasi – dengan atau tanpa pemulihan energi – plastik berbahan dasar kapas, kertas dan pati dapat menjadi pilihan yang lebih baik bagi iklim. Namun, yang terakhir sangat tergantung pada berat tas kantong, tingkat penggunaan kembali sebenarnya dari tas kantong ini serta proses produksi kertas (UNEP 2020a).

Studi Kimmel (2014) membandingkan empat kantong sekali pakai, kantong HDPE konvensional, kantong HDPE daur ulang sebagian, kantong kertas daur ulang sebagian dan kantong kertas daur ulang 100%, dengan dua kantong yang dapat digunakan kembali, satu terbuat dari LDPE dan satu lagi dibuat dari polipropilen bukan tenunan (*non-woven polypropylene* atau NWPP). Kantong HDPE yang didaur ulang sebagian terbuat dari 30% bahan daur ulang dan 70% bahan *virgin*. Kantong kertas daur ulang sebagian terbuat dari 40% bahan daur ulang dan 60% kertas kraft. Hasil utamanya adalah:

- Kantong sekali pakai yang terbuat dari kertas daur ulang sebagian memiliki kinerja paling buruk di semua kategori dampak lingkungan.
- Kantong kertas yang terbuat dari kertas daur ulang 100% memiliki kinerja lebih baik daripada kantong kertas yang terbuat dari kertas daur ulang sebagian di semua kategori dampak lingkungan, kecuali untuk konsumsi bahan bakar fosil dan eutrofikasi laut, di mana keduanya memiliki kinerja yang sama.
- Namun, kantong kertas daur ulang 100% memiliki kinerja lebih buruk daripada SUPB di semua kategori dampak lingkungan kecuali pengasaman dan toksisitas air tawar serta laut.
- Jika kantong kertas digunakan kembali 3,7 kali, itu lebih ramah lingkungan daripada SUPB.
- Kantong HDPE daur ulang sebagian menghasilkan 0-30% lebih baik daripada kantong HDPE *virgin* di semua kategori dampak lingkungan.
- Kantong yang dapat digunakan kembali memiliki performa terbaik dalam hal dampak lingkungan jika digunakan cukup sering. Jika hanya digunakan sekali, kinerjanya terburuk.
- Kantong LDPE yang dapat digunakan kembali memiliki kinerja lebih baik daripada kantong PP yang dapat digunakan kembali.
- Kantong LDPE yang dapat digunakan kembali perlu digunakan kembali sekitar 6-9 kali agar lebih baik daripada kantong HDPE yang didaur ulang sebagian dan kantong PP yang dapat digunakan kembali perlu digunakan 13-20 kali agar lebih baik daripada pilihan sekali pakai.

Muthu et al. (2011) membandingkan SUPB yang terbuat dari PE, kantong kertas, kantong NWPP dan kantong katun. Mereka meneliti dampak tas-tas kantong ini pada kategori perubahan iklim. Diasumsikan bahwa kantong PP yang dapat digunakan kembali menggantikan 100 SUPB dan tas katun menggantikan 50 SUPB. Wilayah geografis penelitian ini adalah Hong Kong, Cina dan India.

Dalam studi mereka, kantong kertas memiliki kinerja paling buruk. Menurut penulis, kantong kertas mengonsumsi “energi dalam jumlah besar dari bahan bakar fosil, listrik, bahan kimia, dll.” SUBP dan kantong katun yang dapat digunakan kembali memiliki jejak karbon yang sebanding, yang keduanya lebih rendah dari kantong kertas. Kantong PP yang dapat digunakan kembali memiliki performa terbaik. Para penulis kemudian menyimpulkan bahwa daur ulang dan penggunaan kembali mengurangi jejak karbon kantong belanja.

Dalam studi mereka, Khoo et al. (2010), membandingkan kantong plastik *bio-based* sekali pakai berbahan dasar jagung dengan kantong sekali pakai PP yang terbuat dari fosil. Penelitian tersebut dilakukan di Singapura. Tas *bio-based* diproduksi di AS. Para penulis selanjutnya menetapkan bahwa tas kantong *bio-based* memiliki potensi pemanasan global (GWP), pengasaman dan penipisan ozon yang lebih tinggi daripada kantong PP fosil yang terutama disebabkan oleh konsumsi energi yang tinggi selama fase produksi plastik *bio-based*. Secara khusus, konversi glukosa menjadi polimer membutuhkan energi dalam jumlah besar. Para penulis menyimpulkan bahwa pengiriman dari luar negeri tidak memiliki dampak yang signifikan terhadap hasil-hasil temuan.

2.1.3 Kemampuan Daur Ulang

Secara umum, banyak bahan-bahan kantong belanja seperti PP, HDPE, LDPE atau kertas yang dapat didaur ulang³. Namun dalam praktiknya, kantong-kantong ini seringkali tidak didaur ulang. Ini bukan karena alasan teknis, tetapi karena kantong tidak masuk ke aliran limbah daur ulang. Dalam beberapa penilaian siklus hidup, ini diakui dengan nilai daur ulang yang rendah atau tidak ada sama sekali. Hal ini juga disebabkan oleh fakta bahwa SUPB sering digunakan kembali sebagai kantong sampah setelah digunakan pertama kali sebagai kantong belanja (Muthu et al. 2011). Oleh karena itu, mereka berakhir di aliran limbah sisa, alih-alih aliran limbah daur ulang.

Analisis berbagai studi LCA yang dilakukan di berbagai wilayah dunia menunjukkan beragam asumsi terkait daur ulang kantong belanja:

- Civancik-Uslu et al. (2019) memperkirakan bahwa setengah dari kantong kertas dan proporsi yang lebih kecil (10%) dari kantong HDPE, LDPE, dan PP didaur ulang setelah digunakan. Ruang lingkup penelitian ini adalah Spanyol dan Denmark,
- Studi yang dilakukan oleh Kimmel (2014) mengasumsikan tingkat daur ulang yang sama untuk Amerika Serikat,
- Sebaliknya, sebuah studi yang dilakukan oleh Komisi Eropa/European Commission (2019) mengasumsikan bahwa sekitar 30% kantong plastik didaur ulang pada akhir siklus hidupnya,

Muthu et al. (2011) menggunakan data dari survei konsumen yang dilakukan oleh Li Yi et al. (2010) dalam LCA mereka, di mana perilaku masyarakat dari Cina, Hong Kong dan India dianalisis. Menurut Muthu et al. (2011) daur ulang kantong belanja sangat bergantung pada perilaku konsumen. Mereka mengasumsikan tingkat daur ulang sebagai berikut:

- Cina
 - o 21 % untuk kantong plastik
 - o 31 % untuk kantong kertas

³ Dapat didaur ulang mengacu pada kegiatan akhir siklus hidup, sedangkan penggunaan bahan daur ulang berarti bahwa bahan yang didaur ulang digunakan pada tahap produksi, bukan bahan *virgin*.

- 22 % untuk kantong kain *non-woven*
- Hong Kong
 - 22 % untuk kantong plastik
 - 25 % untuk kantong kertas
 - 25 % untuk kantong kain *non-woven*
- India
 - 18 % untuk kantong plastik
 - 25% untuk kantong kertas
 - 21% untuk kantong kain *non-woven*

Mengenai plastik *biodegradable* dan *bio-based*, selain risiko plastik ini memasuki aliran limbah yang salah, ada juga masalah teknis dengan daur ulang. Jika mereka masuk ke aliran daur ulang, mereka dapat menyebabkan masalah pemilahan dalam proses daur ulang plastik berbasis fosil (UNEP 2020a). Sebagian besar pendaur ulang tidak dapat membedakan antara plastik *bio-based* dan berbasis fosil, yang mengarah pada penurunan kualitas bahan daur ulang.

Di sisi lain, menggunakan bahan daur ulang di bidang manufaktur juga dapat secara signifikan mengurangi jejak lingkungan dari kantong belanja. Jika kantong plastik memiliki kandungan daur ulang 30%, itu berarti 0-30% lebih baik daripada kantong yang terbuat dari 100% bahan *virgin*, tergantung pada kategori dampaknya (Kimmel 2014). Menggunakan bahan daur ulang juga mengurangi jejak lingkungan dari kertas. Sebuah kantong kertas daur ulang 100% memiliki kinerja lebih baik daripada kantong kertas craft di setiap kategori dampak. Namun, kantong kertas yang terbuat dari 100% bahan kertas daur ulang masih memiliki jejak lingkungan yang lebih tinggi daripada SUPB yang terbuat dari plastik *virgin*, kecuali untuk pengasaman dan toksisitas air tawar serta laut.

2.1.4 Kemampuan Digunakan Kembali

Tingkat penggunaan kembali memiliki dampak besar pada kinerja lingkungan dari sebuah kantong belanja. Tingkat penggunaan kembali kantong yang lebih tinggi memiliki pengaruh yang lebih besar pada jejak karbonnya daripada tingkat daur ulangnya (Muthu et al. 2011). Kantong yang dapat digunakan kembali dapat menjadi lebih ramah lingkungan daripada SUPB jika digunakan kembali berkali-kali. Seberapa sering tas kantong katun perlu digunakan kembali sangat tergantung pada penelitian yang diselidiki. Misalnya, menurut (UNEP 2020a), tas kantong katun perlu digunakan 50-150 kali agar dampak perubahan iklim lebih sedikit daripada SUPB, sedangkan Environmental Action Germany (DUH) memperkirakan bahwa tas kantong katun perlu digunakan kembali 25-32 kali agar sebanding dengan lingkungan dengan SUPB (DUH 2021).

Selain itu, popularitas kantong belanja yang dapat digunakan kembali dari PP, PE dan PET meningkat. Mereka hemat biaya dan dalam beberapa kasus, hanya perlu digunakan kembali tiga kali agar dampak perubahan iklim lebih kecil daripada SUPB (DUH 2021). Tas kantong PP yang tebal dan tahan lama diperkirakan perlu digunakan 10-20 kali dan kantong PE yang lebih tipis namun tetap dapat digunakan kembali 5-10 kali untuk mendapatkan dampak perubahan iklim yang sama dengan SUPB. Ini tidak hanya mengharuskan kantong memiliki umur simpan yang lama, tetapi juga konsumen menggunakan kembali setiap kantong sampai beberapa kali (UNEP 2020a). Semakin banyak kantong plastik yang dapat digunakan kembali yang terbuat dari bahan daur ulang, yang

membuatnya semakin ramah lingkungan. Di Jerman, misalnya, hingga 90% tas PET yang dapat digunakan kembali terbuat dari botol plastik daur ulang (DUH 2021).

Studi yang dilakukan oleh Muthu et al. (2011) menggunakan data dari survei konsumen (Li Yi et al. 2010) di mana tingkat penggunaan kembali tas kantong PP tahan lama adalah 78% di Cina, 69% di Hong Kong dan 55% di India. Tingkat penggunaan kembali tas kantong katun (73-80%) lebih tinggi dibandingkan dengan kantong plastik sekali pakai yang digunakan kembali antara 42-55% (Muthu et al. 2011). Diasumsikan bahwa kantong plastik sekali pakai sebagian digunakan kembali sebagai kantong sampah. Oleh karena itu, istilah "sekali pakai" tidak cukup akurat, tetapi kantong plastik hanya digunakan sekali untuk tujuan awalnya digunakan sebagai kantong belanja.

Tingkat penggunaan kembali yang didapat dari berbagai negara menunjukkan bahwa kantong PP yang tahan lama hanya digunakan 2-5 kali tergantung negaranya, sedangkan tas kantong katun digunakan 4-5 kali. Tingkat penggunaan kembali ini jauh di bawah titik impas yang harus dicapai oleh berbagai kantong ini agar secara ekologis sebanding dengan kantong plastik sekali pakai. Tingkat penggunaan kembali dari survei konsumen ini berbeda dari tingkat penggunaan kembali yang diasumsikan dalam skenario dasar pada studi LCA lainnya. Misalnya, Muthu et al. (2011) berasumsi bahwa tas kantong katun menggantikan 50-150 kantong sekali pakai di Finlandia. Dalam skenario dasar mereka, Muthu et al. (2011) juga mengasumsikan bahwa tas kantong katun menggantikan 50 tas sekali pakai (ini bertentangan dengan 4-5 kali tas katun digunakan kembali dalam survei konsumen). Kimmel (2014) memperkirakan bahwa kantong PP yang tahan lama digunakan kembali sebanyak 14,6 kali di AS.

Tampaknya tingkat penggunaan kembali yang diasumsikan dalam banyak penelitian tidak sesuai dengan tingkat penggunaan kembali yang sebenarnya. Terdapat pula perbedaan besar dalam tingkat penggunaan kembali antara negara dan benua. Banyak studi LCA berfokus pada Eropa atau Amerika Serikat (Kimmel 2014; Muthu et al. 2011), sementara tingkat penggunaan kembali di Asia atau Afrika diasumsikan lebih rendah. Tas kantong yang dapat digunakan kembali dapat lebih unggul daripada opsi sekali pakai jika tingkat penggunaan kembalinya cukup tinggi.

2.1.5 Kesimpulan

Kantong belanja yang dapat digunakan kembali memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah daripada tas kantong sekali pakai. Namun, tingkat penggunaan kembali kantong yang dapat digunakan kembali merupakan faktor penentu. Semakin tinggi tingkat penggunaan kembali, semakin rendah dampak lingkungan. Jika tingkat penggunaan kembali dari tas kantong tahan lama dan dapat digunakan kembali rendah, kinerjanya tidak lebih baik daripada SUPB. Kantong yang dapat digunakan kembali cenderung memiliki jejak lingkungan yang lebih besar dalam tahap produksi daripada kantong sekali pakai karena bahan yang digunakan lebih tahan lama. Setelah kantong yang dapat digunakan kembali cukup sering digunakan, konsumsi energi yang lebih tinggi dalam fase produksi dikompensasi. Jika kantong yang dapat digunakan kembali digunakan kembali di luar titik impas, jejak lingkungannya berkurang lebih jauh. Berapa kali kantong yang dapat digunakan kembali perlu digunakan kembali agar sebanding secara ekologis dengan SUPB tergantung pada bahannya.

Ada juga kantong belanja yang dapat digunakan kembali dari plastik seperti PP, PE, atau PET yang semakin populer. Ini juga karena biayanya yang rendah dan kinerja lingkungan yang baik. Mereka perlu digunakan kembali lebih jarang daripada tas kantong katun, membuatnya lebih ramah lingkungan daripada SUPB. Dampak lingkungan dari tas kantong belanja dapat dikurangi lebih jauh lagi jika kantong yang dapat digunakan kembali terbuat dari bahan daur ulang.

Karena beratnya yang lebih besar, kantong plastik yang dapat digunakan kembali memiliki potensi menjadi sampah yang lebih kecil daripada SUPB. Namun, tetap menimbulkan masalah yang sama seperti yang terkait dengan SUPB jika berakhir di alam, menyebabkan pencemaran mikroplastik dan berdampak fisik pada hewan. Di sisi lain, karena beratnya yang ringan, kantong plastik sekali pakai berpotensi yang tinggi menjadi sampah. Mereka mudah terbawa angin dan berakhir sebagai sampah, bukan dalam pengelolaan sampah yang diinginkan. Sayangnya, potensi membuang sampah sembarangan tidak dipertimbangkan di sebagian besar penilaian siklus hidup.

Dalam hal pilihan bahan kantong belanja, tidak ada kantong sekali pakai yang lebih baik dari yang lain di semua kategori dampak lingkungan. Jenis bahan dan berat tas kantong belanja merupakan karakteristik penting untuk menentukan dampak lingkungan darinya. Sebuah kantong yang terbuat dari bahan yang sama, tetapi dengan berat dua kali lipat, dampak lingkungan dua kali lipat kecuali jika digunakan kembali lebih sering atau digunakan untuk mengangkut lebih banyak barang.

Kantong sekali pakai yang terbuat dari plastik *biodegradable* atau *bio-based* tidak menawarkan keunggulan dibandingkan dengan kantong plastik sekali pakai lainnya. Mereka hanya berumur pendek dan menghasilkan jumlah limbah yang sama. Selain itu, mereka juga menyebabkan masalah pemilahan dalam proses daur ulang plastik berbasis fosil. Jejak karbon mereka yang berpotensi lebih rendah terhapus oleh emisi yang lebih tinggi dalam kategori dampak lain seperti pengasaman, eutrofikasi, partikel dan pembentukan ozon fotokimia. Bahkan, sebutan "*biodegradable*" jadi memungkirkan masalah yang terkait dengan kelompok plastik ini, seperti: pembuangan sampah organik yang tidak tepat, membuang sampah sembarangan, dan penggunaan produk sekali pakai yang tidak hati-hati (Umweltbundesamt 2021).

2.2 Wadah minuman

Wadah minuman adalah wadah untuk membawa atau menempatkan minuman. Sebagian besar wadah minuman termasuk dalam kategori kemasan sekali pakai. Misalnya, 70% minuman ringan di Inggris dikemas dalam botol PET sekali pakai. Sisanya adalah kaleng, karton minuman berlapis/*multilayer*, atau gelas (BSDA 2021). Namun, ada alternatif untuk botol plastik sekali pakai. Bab ini adalah tentang jejak lingkungan dari wadah minuman sekali pakai dan alternatifnya.

2.2.1 Bahan-bahan yang paling umum digunakan

Botol plastik sekali pakai umumnya terbuat dari **PET, PET daur ulang (rPET) atau HDPE**. Botol plastik sekali pakai yang terbuat dari **bahan baku *bio-based*** juga tersedia di pasaran.

Botol kaca dapat berupa wadah minuman sekali pakai atau dapat digunakan kembali, sedangkan **kaleng aluminium** biasanya merupakan wadah minuman sekali pakai.

Kemasan karton minuman berlapis biasanya merupakan wadah minuman sekali pakai. Biasanya diproduksi dari beberapa lapisan karton, plastik dan aluminium.

Botol minuman yang dapat digunakan kembali biasanya diproduksi dari varian bahan seperti **baja, aluminium, PP, atau kaca**.

Konsumsi tanpa wadah berarti tidak ada bahan yang digunakan untuk pengangkutan minuman atau untuk proses minum. Minumannya, misalnya air putih, diminum langsung dari keran.

2.2.2 Kinerja lingkungan

Studi yang dilakukan oleh Benavides et al. (2018) membandingkan tiga jenis botol PET (virgin, daur ulang dan PET *bio-based*). Botol PET daur ulang yang dijadikan model dalam penelitian ini terbuat dari 35% bahan daur ulang dan 65% bahan *bio-based* atau virgin. Menurut penelitian mereka, botol 100% *bio-based* memiliki jejak karbon yang lebih baik daripada yang 100% berbahan dasar fosil. Jejak karbonnya lebih rendah daripada campuran PET daur ulang dan PET fosil serta campuran PET daur ulang dan PET *bio-based*. Selanjutnya, Benavides et al. (2018) membandingkan dua metode berbeda untuk memproduksi asam tereftalat (TPA) dari plastik *bio-based*. Mereka menemukan bahwa produksi berdasarkan zat antara isobutanol menghasilkan 88% lebih baik dalam keseimbangan karbon dibandingkan dengan produksi botol PET berbasis fosil, sementara produksi dari fermentasi gula langsung menghasilkan 22% lebih baik daripada produksi botol berbasis fosil. Penulis menyarankan bahwa:

- penggunaan PET *bio-based* yang lebih tinggi daripada PET berbasis fosil mengarah pada pengurangan Potensi Pemanasan Global/GWP dan konsumsi bahan bakar fosil.
- Kombinasi PET *bio-based* dan bahan daur ulang menghasilkan 35% hingga 73% lebih baik dalam hal Potensi Pemanasan Global/GWP daripada botol PET berbasis fosil.
- Kombinasi PET *biobased* yang terbuat dari isobutanol intermediate dan bahan daur ulang memiliki konsumsi bahan bakar fosil yang rendah: 59% lebih kecil dari botol PET berbasis fosil.
- Pilihan terbaik kedua dalam hal konsumsi bahan bakar fosil adalah PET *biobased*, yang terbuat dari isobutanol intermediate dan mengonsumsi 50% lebih sedikit bahan bakar fosil dibandingkan dengan botol PET berbasis fosil.
- Para peneliti tidak membandingkan botol yang terbuat dari 100% bahan daur ulang, namun hasil-hasil yang mereka temukan mengindikasikan bahwa jejak karbon yang dihasilkan akan lebih kecil dari botol *biobased* yang terbuat dari fermentasi langsung dari gula namun lebih kecil dibandingkan botol PET *biobased* yang terbuat dari isobutanol intermediate.

Dalam studi yang diselenggarakan oleh Chen et al. (2016) botol PET *bio-based*, dalam hal GWP, memiliki kinerja lebih baik daripada botol PET berbasis fosil ketika dampak yang dihindari diperhitungkan dan lebih buruk jika tidak diperhitungkan. Dampak yang dihindari adalah dampak lingkungan yang dihindari melalui penggunaan material dan, oleh karena itu, diperhitungkan sebagai kredit. Sebagai contoh, para penulis memberikan kredit untuk botol PET berbahan dasar biomassa kayu untuk menghindari pembakaran tumpukan semak belukar karena panen sisa tanaman yang tidak dapat diperdagangkan. Membakar tumpukan kayu semak adalah praktik umum di wilayah Pacific Northwest guna mengurangi risiko kebakaran hutan. Namun, membakar tumpukan semak belukar bukanlah praktik umum di setiap wilayah lainnya. Apakah kredit ini dapat dipertanggungjawabkan atau tidak tergantung pada ruang lingkup geografis penelitian. Dampak yang dihindari harus ditafsirkan secara hati-hati jika terdapat sensitifitas terhadap hasil-hasil temuan dan terutama jika digunakan secara sepihak (hanya untuk satu produk) dalam LCA yang komprehensif. Para penulis membandingkan botol PET *bio-based* yang berbeda satu sama lain:

- Botol PET *bio-based* yang memiliki kinerja terbaik mengandung TPA yang terbuat dari kayu.
- PLA yang terbuat dari produk-produk pertanian seperti jagung memiliki kekurangan dikarenakan hubungannya dengan konsumsi energi di ladang-ladang pertanian dan/atau produksi bahan-bahan kimia yang digunakan.

- Botol PET yang berbahan dasar fosil memiliki kinerja yang lebih baik daripada botol PET *bio-based* dalam hal dampak terhadap lingkungan yang disebabkan oleh pengasaman, eutrofikasi terestrial, ekotoksitas, asap dan penipisan ozon, dengan atau tanpa dampak-dampak yang dapat dihindari. Oleh karena itu, penggunaan plastik *bio-based* dapat membawa pada pertukaran yaitu: potensi pemanasan global yang lebih rendah, namun dampak terhadap lingkungan yang menjadi lebih tinggi di sejumlah kategori.

Studi lain menemukan bahwa PLA *bio-based* (dari singkong) memiliki keunggulan dibandingkan PET berbahan dasar fosil dalam hal GWP, penggunaan energi fosil dan toksisitas bagi manusia, tetapi kerugian dalam pengasaman dan eutrofikasi (Papong et al. 2014). Schlecht et al. (2019) muncul dengan kompromi serupa, di mana peralihan dari PE berbasis fosil ke PE *bio-based* dalam sistem kemasan karton minuman multilayer menghasilkan GWP yang lebih rendah, tetapi dampak yang lebih tinggi dalam hal dampak lingkungan lainnya.

Studi oleh Papong et al. (2014) menyimpulkan bahwa kinerja lingkungan PLA sangat dipengaruhi oleh pengolahan limbah. Dalam skenario pengolahan limbah untuk TPA, botol PET memiliki kinerja 30% hingga 100% lebih baik daripada botol PLA dalam hal GWP. Hal ini terkait fakta bahwa botol PET tidak aktif di tempat pembuangan akhir dan botol PLA melepaskan metana di tempat pembuangan akhir. Jika metana ini tidak ditangkap, maka akan menimbulkan dampak iklim yang tinggi. Skenario pengolahan limbah terbaik untuk botol PLA adalah insinerasi dengan pemulihan energi, sedangkan untuk botol PET didaur ulang (Papong et al. 2014).

Alternatif lain untuk botol sekali pakai berbasis fosil, selain plastik *bio-based*, adalah sistem pengemasan karton minuman yang berlapis. Menurut Markwardt et al. (2017) dan Schlecht et al. (2019), sistem pengemasan karton minuman berlapis, dalam hal keramahannya terhadap lingkungan, harus dianggap lebih disukai daripada botol PET, botol HDPE, botol kaca, wadah PP dengan penutup aluminium dan kantong *standing pouch*/yang dapat berdiri di sebagian besar segmen minuman (kecuali air). Botol PET berbasis fosil hanya memiliki kinerja lebih baik untuk kategori dampak eutrofikasi akuatik. Menggunakan plastik *bio-based* sebagai penutup daripada plastik berbasis fosil untuk sistem pengemasan karton minuman berlapis menghasilkan GWP yang lebih rendah tetapi meningkatkan beban bagi lingkungan dalam kategori dampak lainnya (Markwardt et al. 2017; Schlecht et al. 2019).

Studi yang dilakukan oleh Amienyo et al. (2013) membandingkan penggunaan botol kaca sekali pakai, kaleng aluminium dan botol PET. Studi ini menyimpulkan bahwa:

- Botol PET ukuran 2 liter memiliki keuntungan dari dua objek lainnya dalam hampir seluruh kategori lingkungan.
- Kaleng aluminium memiliki kinerja terbaik dalam kategori-kategori lingkungan yakni eutrofikasi, ekotoksitas terestrial dan penipisan ozon.
- Botol kaca memiliki kinerja terburuk pada seluruh kategori lingkungan kecuali eutrofikasi dan ekotoksitas akuatik air tawar.
- Sebuah botol kaca perlu digunakan hingga tiga kali agar dapat dibandingkan secara lingkungan dengan botol PET ukuran 0,5 liter dan kaleng aluminium.
- Selain itu, ukuran wadah pun memainkan peran yang penting: botol PET ukuran 2 liter memiliki kinerja lebih baik secara ekologi dibandingkan dengan botol PET ukuran 0,5 liter.

Untuk mencapai ukuran fungsional yang sama dari volume minuman yang diberikan, botol yang lebih besar menghasilkan rasio botol-bahan-minuman yang lebih rendah dan, dengan demikian, menghasilkan kinerja lingkungan yang lebih baik. Markwardt et al. (2017) pun mencapai kesimpulan

serupa. Dalam studi mereka, ukuran fungsional adalah 1000 l minuman dan mereka menyimpulkan, bahwa semakin besar volume botol, semakin rendah dampak bagi lingkungan.

Terdapat pula perbandingan antara air keran dan air minum kemasan plastik sekali pakai. Air keran mengungguli botol plastik sekali pakai di semua kategori dampak bagi lingkungan (Garcia-Suarez et al. 2019; Dettore 2009), karena untuk air keran tidak diperlukan produksi, pengemasan dan fase akhir masa pakai/*end-of-life phase*.

2.2.3 Kemampuan daur ulang

Manfaat utama dari daur ulang adalah bahwa ia mengarah pada pengurangan penggunaan bahan-bahan murni, seringkali mengurangi dampak terhadap lingkungan. Daur ulang sangat penting bagi sumber daya tak terbarukan seperti botol plastik berbasis fosil. Oleh karena itu, daur ulang diyakini sebagai pengolahan limbah terbaik untuk botol PET berbasis fosil (Papong et al. 2014). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Amienyo et al. (2013), para penulis menyimpulkan bahwa meningkatkan daur ulang botol PET dari 24% (asumsi status rata-rata di Inggris pada tahun 2009) menjadi 60% akan mengurangi dampak iklim dari botol PET sebesar 50%. Benavides dkk. (2018) sampai pada kesimpulan serupa: Menggunakan bahan daur ulang alih-alih bahan baru mengarah pada pengurangan dampak terhadap lingkungan.

Penggunaan konten yang telah didaur ulang sangat bervariasi di antara bahan-bahan yang ada dan seringkali sangat berbeda dari tingkat daur ulang suatu negara. Misalnya, ada botol PET yang terbuat dari 100% bahan daur ulang di pasaran meskipun tidak ada negara dengan tingkat daur ulang 100%. Dalam penelitiannya, Amienyo et al. (2013) mengasumsikan bahwa badan kaleng aluminium terdiri dari 48% bahan daur ulang dan botol kaca mengandung 35% kandungan daur ulang. Botol PET diasumsikan diproduksi dari 100% bahan virgin. Karena penggunaan bahan daur ulang dalam botol PET telah meningkat di Uni Eropa sejak 2013, juga dengan latar belakang arahan plastik sekali pakai Uni Eropa yang mewajibkan minimal 25% plastik daur ulang untuk botol minuman dari PET pada tahun 2025, diharapkan manfaat lingkungan dari botol PET sekali pakai, bila dibandingkan dengan botol kaca sekali pakai dan kaleng aluminium, akan meningkat lebih jauh dalam beberapa kategori terkait lingkungan. Selanjutnya, perlu dinilai apakah kaleng aluminium dan botol kaca masih berkinerja lebih baik daripada botol PET dalam kategori lingkungan lain, seperti eutrofikasi.

Tingkat daur ulang bervariasi menurut wilayah dan negara. Di Malaysia, menurut (World Bank 2021a), tingkat daur ulang yang dikumpulkan untuk kemasan PET (termasuk botol PET, lembaran dan film) berkisar antara 28% hingga 45% dan tingkat daur ulang untuk botol minuman PET diperkirakan sebesar 55% pada tahun 2019. Namun, tidak ada botol PET yang dikumpulkan yang didaur ulang menjadi bahan *food grade*/aman dijadikan wadah makanan dan minuman karena ketidakpastian hukum sehubungan dengan perolehan sertifikasi halal untuk penggunaan rPET dalam aplikasi *food grade* (World Bank 2021a). Di Thailand, tingkat daur ulang yang dikumpulkan untuk kemasan PET berkisar antara 31% hingga 62% pada tahun 2019, sementara hanya 3% dari kemasan PET yang didaur ulang sebagai rPET *food grade*. Larangan penggunaan rPET pada aplikasi *food grade* di Thailand menjadi penyebab rendahnya tingkat produksi rPET (World Bank 2021b). Di Indonesia, tingkat daur ulang botol PET di Indonesia yang terkumpul adalah 22% (GA Circular 2019). Tingkat pengumpulan untuk daur ulang botol PET lebih rendah dari rata-rata internasional, yang diasumsikan sebesar 54% pada tahun 2020 (GA Circular 2019).

2.2.4 Kemampuan digunakan kembali

Botol kaca sekali pakai memiliki kinerja lebih buruk daripada botol plastik sekali pakai di semua kategori dampak terhadap lingkungan kecuali eutrofikasi, di mana mereka sebanding atau lebih baik (Amienyo et al. 2013; Schlecht et al. 2019). Botol kaca harus digunakan tiga kali agar secara ekologis sebanding dengan botol plastik sekali pakai (Amienyo et al. 2013). Hal yang sama berlaku untuk botol aluminium yang dapat digunakan kembali, yang juga harus digunakan tiga kali agar secara ekologis sebanding dengan botol plastik sekali pakai (PathWater 2019). Detzel et al. (2016) menyimpulkan bahwa di Jerman botol kaca yang dapat digunakan kembali memiliki kinerja ekologis yang lebih baik daripada botol plastik sekali pakai karena tingkat penggunaan kembali yang cukup baik. Ketika opsi dapat digunakan kembali/*reusable option* digunakan di luar titik impas, kinerja lingkungannya selalu lebih baik daripada opsi plastik sekali pakai.

Botol kaca yang digunakan kembali dalam *Deposit Return Scheme* (DRS) memiliki jejak lingkungan yang jauh lebih rendah (150 kg CO₂ -ekuivalen/m³) daripada botol kaca yang didaur ulang setelah sekali pakai (350 kg CO₂ -ekuivalen/m³) (DUH 2020). Hal yang sama berlaku untuk air mineral dalam botol PET DRS (69 kg CO₂ -ekuivalen/m³) versus botol air gelas DRS (84 kg CO₂ -ekuivalen/m³) dan botol PET sekali pakai (139 kg CO₂ -ekuivalen/m³) (DUH 2020). Ini berarti bahwa botol kaca yang dapat digunakan kembali harus lebih disukai daripada botol plastik sekali pakai. Penghematan akan lebih tinggi jika menggunakan botol PET yang dapat digunakan kembali daripada botol PET sekali pakai.

Krüger et al. (2010) mendapatkan hasil yang serupa. Mereka membandingkan bir yang disajikan dalam botol kaca yang dapat digunakan kembali (dengan tingkat 25 kali isi ulang) dengan botol PET sekali pakai, kaleng aluminium sekali pakai dan botol kaca sekali pakai. Mereka menyimpulkan bahwa botol kaca yang dapat digunakan kembali memiliki:

- kurang dari separuh GWP dari botol kaca sekali pakai,
- separuh dari GWP kaleng aluminium, dan
- 37.5 % kurang GWP dibandingkan dengan botol PET sekali pakai.

2.2.5 Kesimpulan

Penggunaan PET *biobased* dibandingkan dengan PET berbasis fosil dapat menyebabkan pengurangan GWP dan konsumsi bahan bakar fosil, namun dapat meningkatkan konsumsi air dan eutrofikasi. Mendaur ulang PET berbasis fosil dapat meningkatkan jejak lingkungan mereka, tetapi PET *biobased* mungkin masih lebih disukai dalam hal GWP. Di sisi lain, botol PET berbasis fosil lebih disukai daripada PLA karena emisi metana yang tinggi ketika pengolahan limbah dilakukan di tempat pembuangan akhir.

Selain bahan, ukuran wadah juga memegang peranan penting. Karena rasio yang lebih baik antara kemasan dan minuman, minuman dalam botol yang lebih besar mengonsumsi lebih sedikit bahan per liter minuman. Jika perbedaan antara dua bahan tidak terlalu besar, mengubah ukuran wadah dapat mengubah urutan kinerja bahan.

Konsep serupa untuk mengurangi rasio bahan per minuman adalah mempromosikan botol yang dapat digunakan kembali. Dengan menggunakan kembali botol, bahan yang dibutuhkan per minuman lebih sedikit. Tidak perlu memproduksi botol yang benar-benar baru untuk minuman baru. Botol hanya harus dibilas di antara penggunaan. Botol yang dapat digunakan kembali dengan siklus penggunaan kembali yang cukup memiliki kinerja lebih baik daripada opsi sekali pakai.

Botol kaca sekali pakai adalah pilihan terburuk untuk menjadi wadah minuman, tetapi jika digunakan kembali tiga kali, secara lingkungan sebanding dengan kaleng aluminium sekali pakai atau botol PET sekali pakai dengan bahan 100% murni. Berapa kali botol digunakan memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja lingkungannya. Hal yang sama berlaku juga untuk botol aluminium. Ketika digunakan seperti botol sekali pakai, mereka memiliki dampak lingkungan yang jauh lebih tinggi daripada botol plastik sekali pakai. Namun, ketika botol aluminium yang dapat digunakan kembali digunakan lebih dari tiga kali, itu memiliki dampak terhadap iklim yang lebih rendah daripada botol plastik sekali pakai. Setiap penggunaan tambahan mengurangi jejak lingkungan. Jika tingkat penggunaan kembali botol yang dapat digunakan kembali cukup tinggi, botol yang dapat digunakan kembali lebih disukai daripada varian sekali pakai dari sudut pandang lingkungan. Opsi wadah yang dapat digunakan kembali dapat mengurangi jumlah limbah.

Untuk botol sekali pakai, daur ulang adalah pengolahan limbah yang lebih disukai. Namun, seperti yang ditunjukkan oleh tingkat daur ulang di Malaysia dan Indonesia, tidak semua botol PET didaur ulang. Bahkan sebaliknya, botol PET berakhir di tempat pembuangan akhir atau bocor ke lingkungan. Oleh karena itu, opsi pengurangan limbah seperti botol yang dapat digunakan kembali akan lebih disukai.

Alternatif terbaik adalah konsumsi yang tidak menggunakan wadah/*non-container* seperti air keran. Namun, air keran dan air minum kemasan sekali pakai tidak memiliki fungsi yang sama. Misalnya, air keran saja tidak portabel. Agar portabel, air keran membutuhkan botol seperti botol yang dapat digunakan kembali. Selain itu, apakah air keran dapat diminum atau tidak bervariasi dari satu wilayah ke wilayah lainnya

2.3 Gelas minuman

Gelas minuman sekali pakai adalah sistem pengemasan yang banyak digunakan untuk minuman yang dibawa pulang. Namun, semudah dan secepat mereka digunakan, mereka juga dibuang dan berakhir sebagai potensi sampah di laut. Lebih dari 500 miliar gelas sekali pakai dikonsumsi di seluruh dunia setiap tahun dan tidak semuanya berakhir di sistem pengelolaan sampah kita, melainkan sebagai sampah di seluruh dunia. Bab ini adalah tentang jejak lingkungan dari berbagai bahan gelas sekali pakai dan alternatifnya yang dapat digunakan kembali

2.3.1 Bahan-bahan yang paling umum digunakan

Bahan-bahan yang paling lazim digunakan untuk gelas minuman adalah:

Gelas minuman plastik sekali pakai berbahan dasar fosil dapat dibuat dari berbagai jenis plastik. Bahan yang paling umum digunakan adalah **polystyrene (PS)**, **expanded polystyrene (EPS)**, **high impact polystyrene (HI-PS)**, **Polycarbonate**, **PE**, **PET** dan **rPET**. Selain itu, gelas minuman plastik sekali pakai juga dapat dibuat dari **biobased**, seperti **PLA**, **bahan limbah organik** atau **tanaman seperti tebu dan jagung**.

Gelas kertas sekali pakai biasanya dilengkapi dengan lapisan plastik atau lilin. Lapisan plastik dapat didasarkan pada bahan berbasis fosil atau **biobased**. Lapisan plastik atau lilin mencegah kertas menjadi basah.

Gelas plastik yang dapat digunakan kembali lebih tahan lama dan dibuat untuk berbagai kegunaan. Mereka juga dapat dibuat dari berbagai bahan. Yang paling umum adalah **PP**, **HDPE**, dan **LDPE**.

Gelas nonplastik yang dapat digunakan kembali biasanya dibuat menggunakan **keramik** dan **kaca** untuk tujuan yang tidak dapat dibawa pulang, dan gelas **baja tahan karat** atau **bambu** untuk keperluan dibawa pulang.

2.3.2 Kinerja lingkungan

Studi oleh van der Harst und Potting (2013) membandingkan studi LCA yang berbeda-beda untuk gelas sekali pakai dan menyimpulkan bahwa tidak ada bahan gelas sekali pakai yang memiliki manfaat lingkungan yang konsisten dibandingkan dengan pilihan bahan lainnya. Mereka membandingkan gelas PLA, gelas berbasis fosil seperti HI-PS, EPS, PP, PET dan rPET dan gelas kertas karton dengan PE, PLA, dan pelapis lilin. Perbedaan GWP disebabkan oleh berbagai faktor seperti berat gelas, proses produksi, opsi alokasi, dan pengolahan limbah.

Di studi yang dilakukan selanjutnya, van der Harst et al. (2014) menyimpulkan bahwa:

- gelas sekali pakai yang terbuat dari PLA dan gelas kertas sekali pakai dengan lapisan PLA memiliki keunggulan dibandingkan gelas sekali pakai yang terbuat dari PS untuk kategori dampak GWP dan *abiotic depletion*/penipisan abiotik.
- Namun, gelas PS ditemukan memiliki kinerja lebih baik daripada dua gelas lainnya dalam kategori dampak permintaan energi kumulatif, pengasaman, eutrofikasi, oksidasi fotokimia, toksisitas manusia, toksisitas lingkungan air tawar dan air laut, ekotoksikisitas terestrial, dan penipisan lapisan ozon.

Pilihan gelas kertas atau plastik organik daripada gelas PS pasti mengarah pada kompromi: GWP yang lebih rendah dan penipisan abiotik untuk dampak lingkungan yang lebih tinggi di sejumlah besar kategori lainnya

Kinerja lingkungan gelas kertas juga tergantung pada usia studi ini. Dalam studi yang lebih tua, gelas kertas memiliki kinerja lebih buruk daripada dalam studi yang lebih baru. UNEP (2021) menyarankan bahwa sebagian besar varian gelas kertas akan memiliki dampak lingkungan yang jauh lebih rendah dalam fase produksi jika dijadikan model dengan kumpulan data terbaru yang tersedia. Ini karena konsumsi energi yang lebih rendah dalam kumpulan data model terbaru untuk produksi kertas.

Foteinis (2020) melakukan perbandingan terhadap gelas-gelas kertas sekali pakai, yang memiliki lapisan PE dan berakhir di TPA atau didaur ulang, dengan gelas PP yang digunakan kembali. Kesimpulannya:

- Gelas kertas berlapis PE yang didaur ulang memiliki manfaat lingkungan bila dibandingkan dengan yang berakhir di TPA.
- Jejak lingkungan dari gelas kertas yang dikirim untuk didaur ulang adalah 40% lebih sedikit dibandingkan dengan gelas kertas yang dikirim ke tempat pembuangan akhir. Selama proses penimbunan, gelas kertas terurai dan melepaskan CO₂ dan metana. Emisi gas rumah kaca ini dapat dikurangi dengan mendaur ulang kertas. Jelas bahwa daur ulang juga menghindari produksi bahan baru dan dengan demikian mengarah pada dampak lingkungan yang lebih rendah.
- Lebih lanjut, ditemukan bahwa beralih ke gelas PP yang digunakan kembali mengurangi emisi sebesar 69% bila dibandingkan dengan gelas kertas sekali pakai dengan limbah TPA.
- Gelas kertas yang didaur ulang lebih buruk dari gelas PP yang digunakan kembali dalam seluruh kategori dampak terhadap lingkungan, kecuali kesehatan manusia. Diasumsikan

bahwa gelas tersebut digunakan kembali sebanyak 500 kali dan bahwa >90% dari emisinya terjadi selama proses pencucian.

- Disimpulkan bahwa melakukan daur ulang menciptakan suatu keuntungan lingkungan dibandingkan dengan membuang ke TPA. Namun, beralih ke sistem penggunaan kembali menghasilkan manfaat lingkungan yang bahkan lebih banyak lagi.

Dalam studi lain, ditemukan bahwa gelas yang digunakan kembali yang terbuat dari PP, kaca ataupun bambu memiliki GWP lebih rendah 88% dibandingkan dengan gelas kertas dengan lapisan PLA (Almeida et al. 2018).

CupClub (2018) membandingkan profil lingkungan CupClup – layanan pengemasan minuman yang dapat digunakan kembali di Inggris, termasuk transportasi ke stasiun pencucian pusat, lalu pencucian dan pengeringan – dengan gelas kertas berlapis PE sekali pakai, gelas kertas berlapis PLA sekali pakai, gelas EPS sekali pakai, dan gelas yang dapat digunakan kembali cangkir keramik. Gelas CupClup terbuat dari PP, dan pengelolaan limbahnya diasumsikan sebagai 90% daur ulang, 5% TPA, dan 5% insinerasi. Para penulis menyimpulkan bahwa:

- Gelas CupClub memiliki GWP yang lebih rendah dibandingkan dengan gelas kertas sekali pakai, gelas EPS, dan gelas keramik. Untuk gelas CupClub, konsumsi listrik pada fase pencucian berkontribusi pada setidaknya 80% dari seluruh kategori dampak kecuali konsumsi air.
- Ambang profitabilitas gelas CupClup adalah 72 penggunaan dibandingkan dengan gelas kertas sekali pakai dan 100 penggunaan untuk gelas dari styrofoam
- Jika gelas kertas sekali pakai memiliki tingkat daur ulang sebesar 80%, maka gelas CupClub harus digunakan 132 kali agar dapat dilakukan perbandingan terkait lingkungan. Masa hidup gelas CupClub yang diharapkan diasumsikan adalah sebanyak 132 kali penggunaan.
- Sebuah gelas keramik harus digunakan 2000 kali agar dapat mencapai titik impas dengan gelas CupClub.

Sebagai tambahan, penulis di CupClub (2018) melakukan analisis sensitivitas guna menguji dampak jaringan penyalur/*backhauling*. Meningkatkan jarak pengangkutan sebesar sepersepuluh dapat meningkatkan hasil dari sebagian besar kategori dampak hingga kurang dari 0,5% (kecuali untuk ekotoksitas terestrial). Oleh karena itu, jarak yang diberikan jika gelas yang dapat digunakan kembali harus diangkut ke stasiun pencucian tidak memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja lingkungan. Beralih ke sistem yang dapat digunakan kembali memiliki dampak yang lebih besar pada kinerja lingkungan dari gelas minuman daripada jarak yang harus ditempuh untuk mengangkutnya ke stasiun pencucian.

Martin et al. (2018) membandingkan minuman panas yang disajikan dalam cangkir keramik yang dicuci dengan tangan atau di mesin pencuci piring dengan cangkir kertas dengan pelapis PE dan tutup PS. Wilayah geografis penelitian ini adalah di Jerman. Mereka menyelidiki pengaruh metode pembilasan gelas yang dapat digunakan kembali pada kinerja lingkungan dari gelas yang dapat digunakan kembali dan menganalisis apakah minuman panas harus disajikan dalam cangkir keramik yang dapat digunakan kembali atau gelas kertas sekali pakai. Pembuangan limbah dilakukan dengan menggunakan pembakaran. Mereka menyimpulkan bahwa:

- minuman panas sebaiknya disajikan dalam cangkir keramik, dan metode pencuciannya berikut suhu airnya berpengaruh bagi jejak lingkungan secara signifikan,

- cangkir keramik dengan atau tanpa tutup yang dicuci menggunakan mesin pencuci piring memiliki dampak lingkungan yang terendah, sementara cangkir keramik dengan tutup yang dicuci dengan tangan dan dengan air panas memiliki dampak lingkungan yang tertinggi,
- gelas keramik yang dicuci menggunakan mesin pencuci piring memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan gelas keramik yang dicuci dengan tangan dalam keseluruhan 14 kategori dampak yang diteliti,
- sebuah cangkir keramik tanpa tutup, dicuci dengan tangan tanpa air panas, memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan yang dicuci menggunakan mesin pencuci piring. Dengan demikian, dampak lingkungan dari pencucian dengan tangan sangat bergantung pada panas tidaknya air yang digunakan,
- gelas kertas berada di antara dua titik ekstrem gelas keramik
- titik impas terhadap lingkungan bagi cangkir keramik yang dicuci dengan mesin pencuci piring yang setara dengan sebuah gelas kertas adalah pada penggunaan ke 11 kali tanpa tutup dan 13 kali dengan tutup, dan
- Gelas keramik tanpa tutup yang dicuci dengan tangan dan air panas harus digunakan 89 kali dan dengan tutup sebanyak 750 kali agar dapat dilakukan perbandingan lingkungan dengan gelas kertas sekali pakai.

Studi oleh Woods dan Bakshi (2014) meletakkan fokus pada konsumsi energi listrik mesin pencuci piring di AS, membandingkan opsi yang dapat digunakan kembali (gelas keramik) dengan opsi sekali pakai (EPS). Gelas keramik mewakili opsi "kasus terburuk" di antara gelas yang dapat digunakan kembali dengan masa pakai yang sama (gelas kaca yang dapat digunakan kembali dan gelas PP yang dapat digunakan kembali). Namun, kedua penulis menyimpulkan bahwa gelas yang dapat digunakan kembali memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah daripada pilihan sekali pakai di sebagian besar rumah tangga AS, bahkan dengan model mesin pencuci piring tertua yang digunakan di AS (dari 2004). Dengan konsumsi listrik model pencuci piring yang lebih baru dan hemat energi (2016), dampak lingkungan dari gelas yang dapat digunakan kembali pun menyusut. Para penulis memproyeksikan bahwa dampak lingkungan dari opsi yang dapat digunakan kembali akan menurun lebih jauh di masa depan karena pangsa gas dan energi terbarukan dalam campuran penggunaan listrik AS meningkat dan sebagian besar dampak lingkungan dari sistem yang dapat digunakan kembali adalah dalam proses pencucian yang intensif listrik.

Studi yang dilakukan oleh Changwichan und Gheewala (2020) membandingkan berbagai gelas plastik sekali pakai menggunakan tutup (PLA, PP, dan PET) dengan gelas besi antikorosi/*stainless steel* yang dapat digunakan kembali dengan tutup plastik. Gelas baja antikorosi yang dapat digunakan kembali (dicuci dengan tangan atau di mesin pencuci piring) memiliki GWP dan konsumsi bahan bakar fosil yang lebih rendah daripada pilihan sekali pakai jika digunakan setidaknya 140 kali. Selain itu, gelas dari besi antikorosi memiliki dampak terendah terhadap pengasaman tanah dan toksisitas manusia saat dicuci dengan tangan. Kedua penulis menyimpulkan bahwa mencuci pilihan yang dapat digunakan kembali dengan tangan menghasilkan GWP yang lebih rendah daripada menggunakan mesin pencuci piring. Gelas PLA memiliki GWP terendah di antara pilihan-pilihan sekali pakai, diikuti oleh PP dan PET. Wilayah geografis penelitian ini adalah di Thailand. Perilaku konsumen memiliki pengaruh yang kuat terhadap frekuensi penggunaan gelas yang dapat digunakan kembali. Konsumen mungkin tidak ingin menggunakan gelas yang sama sesering yang diperlukan untuk mencapai titik impas. Ini adalah alasan lain mengapa titik impas yang rendah itu penting.

Kinerja lingkungan dari gelas yang dapat digunakan kembali dapat secara signifikan menjadi lebih tinggi jika tingkat penggunaan kembalinya diasumsikan rendah. Vercalsteren et al. (2010) membandingkan opsi PC yang dapat digunakan kembali dengan berbagai opsi sekali pakai lainnya (PP, kertas dengan pelapis PE, dan PLA) untuk penyajian di suatu acara. Mereka berasumsi bahwa tingkat kerugian dari gelas yang dapat digunakan kembali adalah 12,5% untuk acara besar dan 5,5% untuk acara kecil di Belgia. Mereka juga menyimpulkan bahwa untuk acara besar, gelas yang dapat digunakan kembali adalah pilihan terburuk dalam hal GWP dan sebagian besar kategori dampak karena tingkat penggantian yang tinggi dan konsumsi energi dalam fase pembersihan, dan gelas kertas sekali pakai adalah pilihan terbaik. Untuk acara kecil, gelas yang dapat digunakan kembali adalah pilihan terbaik dan gelas kertas sekali pakai adalah pilihan terburuk terkait dengan GWP dan mayoritas kategori dampak.

2.3.3 Kemampuan daur ulang

Mendaur ulang gelas kertas sekali pakai dan bukan mengirimnya ke TPA dapat mengurangi dampak lingkungan hingga 36% (Foteinis 2020). Para penulis memperkirakan bahwa 1 dari 400 gelas kertas saat ini didaur ulang di Inggris. Ini bertentangan dengan hierarki limbah dari Rencana Aksi untuk Ekonomi Sirkular yang dikeluarkan oleh Komisi Eropa. Sisa gelas kertas berlapis plastik berakhir di tempat pembuangan akhir atau lebih buruk lagi, sebagai sampah di lingkungan, yang selanjutnya berkontribusi terhadap polusi mikroplastik dan masalah lingkungan lainnya.

Gelas kertas yang dilapisi dengan PE nabati memiliki GWP lebih rendah daripada gelas kertas yang dilapisi dengan PE berbasis fosil, serta lebih rendah dari gelas kertas yang dilapisi PLA karena manfaat dari kemampuan didaur ulang (VTT 2019). Serat gelas kertas yang dilapisi dengan PE nabati dapat didaur ulang hingga tujuh kali dan, dengan demikian, lebih sering daripada dua lainnya (VTT 2019). Namun, hanya karena dapat didaur ulang bukan berarti saat ini memang itu yang dilakukan. Almeida et al. (2018) memperkirakan tingkat daur ulang untuk gelas kertas berlapis PE sebesar 21% di Eropa dan 10% di Australia dan Amerika Serikat.

Daur ulang gelas PLA menghasilkan dampak lingkungan yang lebih rendah daripada melalui pencernaan anaerobik dan insinerasi (van der Harst et al. 2014). Penulis juga menyimpulkan bahwa daur ulang gelas kertas karton berlapis PLA menghasilkan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan pembakaran, dan pengomposan adalah pengolahan limbah yang paling tidak disukai untuk gelas PLA dan kertas karton berlapis PLA karena emisi metana dan fakta bahwa tidak ada kredit yang terkait dengan kegiatan ini. Jika gelas dibakar dengan pemulihan energi, mereka dapat menerima kredit untuk pembangkit listrik.

Penggunaan dari kandungan daur ulang dapat mengurangi kinerja lingkungan selain dari tingkat daur ulang. Meningkatkan penggunaan bahan daur ulang sebesar 25% dapat menurunkan kinerja lingkungan dari gelas minuman sebesar 35-56%, seperti yang ditunjukkan oleh studi yang diselenggarakan oleh Changwichan und Gheewala (2020).

Fase akhir masa pakai adalah fase penting bagi gelas sekali pakai. Secara umum, dapat dikatakan bahwa semakin tinggi tingkat daur ulang, semakin rendah dampak iklimnya. Meskipun daur ulang adalah pilihan pembuangan terbaik untuk sebagian besar bahan dan tingkat daur ulang yang tinggi direkomendasikan, pada kenyataannya, tingkat daur ulang relatif rendah di banyak negara, bahkan untuk gelas kertas (kertas adalah bahan yang didaur ulang secara meluas) (Foteinis 2020). Faktanya, gelas kertas sering tidak berakhir di aliran limbah daur ulang. Karena penggunaannya sebagai gelas minuman portabel, sering berakhir di tong sampah, yang isinya selanjutnya dibuang atau dibakar. Meski secara teknis bahannya bisa didaur ulang, bukan berarti dapat didaur ulang. Misalnya, PS untuk gelas dan tutup sekali pakai banyak digunakan dan secara teknis dapat didaur ulang, tetapi tingkat daur ulangnya rendah dan hanya sedikit negara yang memasukkan PS ke dalam

aliran daur ulang mereka (UNEP 2021). Daur ulang PS dikaitkan dengan biaya tinggi dan seringkali dianggap tidak cukup menguntungkan. Kondisi barang juga dapat menyebabkan pengolahan limbah yang berbeda. Misalnya, jika gelas masih mengandung sisa-sisa bahan organik, kemungkinan besar akan dibakar atau dikirim ke tempat pembuangan akhir alih-alih didaur ulang.

2.3.4 Kemampuan untuk digunakan kembali

Apakah gelas yang dapat digunakan kembali berkinerja lebih baik daripada gelas sekali pakai atau tidak sangat tergantung pada frekuensi penggunaan gelas yang dapat digunakan kembali. Berapa kali gelas yang dapat digunakan kembali harus digunakan demi mencapai titik impas dari alternatif sekali pakai tergantung pada bahannya dan bahan pilihan sekali pakai. Gelas PP yang dapat digunakan kembali harus digunakan 21 kali agar sebanding dengan gelas kertas sekali pakai yang ditimbun dalam hal terkait lingkungan dan 41 kali digunakan untuk gelas kertas sekali pakai yang didaur ulang (Foteinis 2020). Dalam studinya, Foteinis (2020) mengasumsikan tingkat penggunaan kembali gelas plastik PP sebanyak 500 kali penggunaan untuk Inggris.

Dalam sebuah studi yang dilakukan oleh VTT (2019), penulis menyimpulkan bahwa gelas keramik yang dapat digunakan kembali harus digunakan 350 kali agar dapat mencapai titik impas dengan gelas kertas sekali pakai dalam hal dampak karbon yang ditimbulkan. Fase pembilasannya menyumbang 90% dari emisi yang terjadi. Selain itu, penulis juga mencatat bahwa gelas keramik tidak pernah bisa mencapai titik impas, meskipun gelas keramik dicuci secara tidak efisien atau jika lebih dari 80% gelas kertas sekali pakai didaur ulang setelah digunakan. Penulis menggunakan rumus jejak sirkular/*circular footprint formula* yang memberikan kredit secara parsial dalam proses daur ulang untuk penghematan bahan baru yang tidak harus diproduksi. Untuk gelas plastik yang dapat digunakan kembali, penulis memperkirakan tingkat penggunaan kembali yang diperlukan adalah 20 kali untuk mencapai titik impas. Jika gelas kertas sekali pakai didaur ulang, titik impas bergeser ke 32 penggunaan untuk gelas plastik yang dapat digunakan kembali. Gelas besi antikarat yang dapat digunakan kembali harus digunakan kembali setidaknya 130 kali untuk mencapai titik impas dengan gelas kertas sekali pakai.

Dalam studi oleh Almeida et al. (2018), mereka menyimpulkan bahwa sebuah gelas atau gelas PP perlu digunakan sebanyak 24 kali agar lebih ramah lingkungan daripada gelas kertas berlapis PE dan 10 kali lebih baik daripada gelas kertas berlapis PLA.

Namun, metode pencucian juga dapat berdampak pada kinerja lingkungan dari gelas minuman yang dapat digunakan kembali. Gelas berbahan besi antikarat yang dicuci dengan tangan harus digunakan 20, 40, dan 70 kali untuk memiliki GWP yang lebih rendah daripada gelas-gelas PET, PP, atau PLA sekali pakai (Changwichean und Gheewala 2020). Gelas besi antikarat yang dibersihkan dengan mesin pencuci piring perlu digunakan sekitar 100 kali agar menghasilkan GWP yang lebih rendah daripada gelas sekali pakai yang terbuat dari PET, PP, atau PLA, dan perlu digunakan 140 kali agar semua dampak lingkungan lebih rendah daripada pilihan gelas sekali pakai (Changwichean und Gheewala 2020).

Kinerja lingkungan dari gelas yang dapat digunakan kembali dapat ditingkatkan lebih jauh dengan cara menggunakannya beberapa kali di antara siklus pencucian (Martin et al. 2018; Woods und Bakshi 2014).

2.3.5 Kesimpulan

Dengan membandingkan opsi-opsi gelas sekali pakai, kita dapat mengatakan bahwa gelas kertas secara ekologis sebanding dengan gelas PET daur ulang dan memiliki dampak yang lebih rendah daripada gelas PS, sementara gelas kertas berlapis lilin memiliki dampak yang lebih rendah

daripada gelas kertas berlapis plastik. Gelas PLA dan gelas kertas berlapis PLA tidak selalu berkinerja lebih baik dalam hal lingkungan daripada opsi plastik berbasis fosil.

Daur ulang adalah perawatan fase akhir hidup yang disukai dalam banyak kasus. Meskipun daur ulang sering kali memungkinkan, namun hal itu tidak dilakukan karena alasan biaya, sistem pengelolaan sampah secara umum di wilayah tersebut, dan perilaku konsumen.

Konteks geografis studi-studi yang telah dilakukan memainkan peran penting, karena teknologi dan penggunaan energi bersifat spesifik wilayah dan negara. Sementara insinerasi dengan pemulihan energi adalah pengolahan limbah yang banyak digunakan di Eropa, penimbunan sampah merupakan pilihan pengelolaan limbah yang dominan dilakukan di wilayah-wilayah lain, seperti Asia. Secara khusus, terdapat kekurangan dalam kegiatan pengelolaan sampah di negara-negara berkembang, dengan sampah sekali pakai berakhir sebagai sampah dalam sistem pengelolaan sampah informal. Tingkat daur ulang, yang memiliki dampak signifikan pada hasil, juga bervariasi di seluruh dunia. Apakah gelas sering didaur ulang atau tidak tergantung pada penggunaannya dan kondisi yang berlaku di pembuangan limbah juga. Misalnya, jika gelas kertas terkontaminasi dengan bahan organik, kemungkinan besar akan berakhir di insinerator atau tempat pembuangan akhir daripada didaur ulang.

Untuk gelas yang dapat digunakan kembali, fase pencucian adalah fase siklus hidup dengan dampak lingkungan tertinggi, sedangkan untuk gelas sekali pakai adalah pada fase produksi. Menggunakan bahan daur ulang untuk memproduksi gelas mengurangi dampak lingkungan dari setiap gelas, terutama untuk gelas sekali pakai atau untuk gelas yang membutuhkan produksi intensif energi seperti gelas antikarat yang dapat digunakan kembali.

Secara umum, gelas yang dapat digunakan kembali memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah daripada gelas sekali pakai, meskipun hal ini sangat tergantung pada jumlah penggunaan gelas yang dapat digunakan kembali yang hendaknya lebih baik daripada gelas sekali pakai. Kerugian dari gelas yang dapat digunakan kembali mungkin lebih tinggi jika konsumen bukan pemilik gelas tersebut. Sebagian besar gelas yang dapat digunakan kembali perlu digunakan sebanyak 10 hingga 140 kali agar memiliki jejak lingkungan yang lebih baik dibandingkan dengan gelas sekali pakai. Di sisi lain, potensi sampah dari gelas yang dapat digunakan kembali lebih rendah daripada gelas sekali pakai karena bobotnya yang lebih berat. Di antara gelas yang dapat digunakan kembali, gelas PP memiliki keunggulan lingkungan dibandingkan gelas keramik dan, oleh karena itu, perlu digunakan kembali lebih jarang agar sebanding dengan gelas sekali pakai.

Dalam studi siklus hidup yang diteliti, tidak ada preferensi yang jelas apakah mencuci tangan atau membilas dengan mesin pencuci piring yang lebih disukai terkait lingkungan untuk gelas-gelas yang dapat digunakan kembali. Secara umum, dapat dikatakan bahwa model mesin pencuci piring yang lebih baru memiliki konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan model lama dan, oleh karena itu, menjadi lebih ramah lingkungan daripada mencuci dengan tangan. Namun, jika mencuci dengan tangan dilakukan dengan menggunakan air dingin, mungkin memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah daripada mencuci dengan mesin pencuci piring dari generasi yang lebih tua.

2.4 Kemasan makanan yang dibawa pulang

Sistem pengemasan makanan yang dibawa pulang digunakan untuk membawa makanan dari restoran ke berbagai lokasi konsumsi, seperti rumah konsumen. Mereka juga banyak digunakan di sektor pengiriman makanan. Kemasan untuk dibawa pulang dapat memiliki bentuk yang berbeda dan terbuat dari bahan yang berbeda tergantung pada makanan yang dibawa. Sebagian besar sistem pengemasan makanan yang dibawa pulang adalah sekali pakai, tetapi terdapat semakin

banyak pilihan yang dapat digunakan kembali. Bab ini membandingkan berbagai bahan kemasan sekali pakai yang dibawa pulang dan alternatifnya yang dapat digunakan kembali.

2.4.1 Bahan-bahan yang paling banyak ditemukan

Kemasan plastik sekali pakai untuk makanan yang dibawa pulang dapat dibuat dari berbagai plastik berbasis fosil seperti **PS, polistiren ekstrusi (XPS), PP, dan PET**. Mereka juga dapat diproduksi dari plastik *biobased* seperti **PLA**, atau **bahan mentah biobased** seperti **bahan limbah organik** atau **tanaman seperti tebu atau jagung**, dan **kayu**. Sistem pengemasan sekali pakai yang dapat dibawa pulang juga dapat berbasis bahan lain selain plastik seperti **kertas atau bambu**.

Sistem pengemasan berlapis untuk makanan yang dibawa pulang/take-away adalah sistem pengemasan yang diproduksi dari berbagai lapisan bahan. Lapisan yang berbeda-beda dapat berupa **plastik berbasis fosil, plastik biobased**, atau **bahan non-plastik**, memberikan berbagai sifat pada sistem pengemasan.

2.4.2 Kinerja lingkungan

Produksi PLA dapat menjadi proses produksi yang menggunakan energi secara intensif tergantung pada bahan baku yang digunakan. PLA yang dihasilkan dari *biobased* atau isobutanol lebih disukai daripada PLA yang diproduksi langsung dari gula yang difermentasi. Produk PLA sekali pakai tidak memiliki keunggulan yang jelas dibandingkan dengan alternatif bahan bakar fosil lainnya, yang menjadi jelas terlihat saat memperhatikan lebih dekat jenis produk lainnya. Studi oleh Suwanmanee et al. (2013) menyimpulkan bahwa kotak PLA memiliki dampak lingkungan yang lebih tinggi daripada kotak PS ketika listrik dijadikan model menggunakan campuran jaringan listrik Thailand, campuran jaringan batubara Thailand, atau gas Thailand (Suwanmanee et al. 2013). Selain GWP, para penulis mempertimbangkan pula pengasaman dan pembentukan ozon fotokimia. Kotak PS memiliki kinerja lebih baik daripada kotak PLA pada ketiga kategori dampak. Para penulis mengecualikan pengelolaan sampah. Jika pengelolaan sampah dimasukkan, ini akan menyebabkan hasil yang lebih buruk bagi kotak PLA, karena pengelolaan sampah di Thailand didominasi oleh pembuangan ke tempat pembuangan akhir. Pembuangan PLA di tempat pembuangan akhir menimbulkan emisi metana dan CO₂. Emisi dari perubahan penggunaan lahan dari jagung dan singkong merupakan penyumbang terbesar GWP PLA (Suwanmanee et al. 2013).

Madival et al. (2009) membandingkan sistem pengemasan buah stroberi yang berbeda-beda yang terbuat dari PLA, PET dan PS. Mereka menyimpulkan bahwa fase transportasi bahan kemasan merupakan penyumbang besar terhadap dampak lingkungan dari bahan tersebut. Hasil penelitian ini sangat bergantung pada jarak yang diasumsikan. Kesimpulan bahwa fase transportasi merupakan kontributor penting terhadap jejak lingkungan berbeda dengan hasil Edwards und Fry (2011) and Khoo et al. (2010). Dalam studi oleh Madival et al. (2009), kemasan PET memiliki dampak iklim tertinggi karena bobotnya yang lebih berat dan dampak terkait yang lebih tinggi pada fase produksi dan transportasi. Sistem pengemasan PS berkinerja terbaik di 7 dari 9 kategori dampak yang dipertimbangkan. PLA berkinerja lebih baik hanya dalam kategori dampak ekotoksitas akuatik dan energi.

Johansson et al. (2019) melakukan perbandingan terhadap tiga jenis nampan makanan/*food tray* berlapis sekali pakai:

- FibreForm, yang mengandung kertas *biobased* berlapis, dilaminasi dengan lapisan film yang terdiri dari PE, PA, resin polimer ethylene vinyl alkohol (EVOH) dan bahan perekat/*adhesive*

Lapisan yang terdiri dari PET, PE, EVOH amorf, polybutelene dan perekat

- EPS

Nampan FibreForm adalah 85% *biobased* dan kertas adalah bahan utamanya. Dua nampan lainnya berbasis fosil. Semua nampan memiliki penutup yang terbuat dari bahan berbasis fosil. Nampan FibreForm mengungguli dua bahan lainnya di seluruh 4 kategori lingkungan yang dipelajari. Dampak lingkungan yang lebih rendah mengikuti dari dampak yang lebih rendah dari produksi nampan FibreForm dibandingkan dengan yang lain. Nampan FibreForm juga memiliki GWP yang jauh lebih rendah di fase akhir masa pakai dibandingkan dengan dua lainnya. Keuntungan dalam fase akhir masa pakai nampan FibreForm dihasilkan dari daur ulang. Menurut penulis penelitian, nampan FibreForm dapat didaur ulang dalam sistem daur ulang kemasan kertas yang ada. Oleh karena itu 89,4% nampan FibreForm memasuki aliran daur ulang, sedangkan dua nampan jenis lainnya dibakar. Tidak ada pernyataan dalam studi tentang bagaimana film berlapis yang terbuat dari PE dan PA mempengaruhi proses daur ulang nampan FibreForm ini.

Bukti-bukti menunjukkan bahwa kemasan makanan sekali pakai berbasis kertas memiliki kinerja lingkungan yang lebih baik daripada beberapa alternatif yang berbasis fosil. Misalnya, ia memiliki jejak karbon yang lebih baik dibandingkan dengan PS dan PLA, ketika pengolahan limbah di TPA dan kertas tidak menunjukkan dekomposisi karena lapisannya. Namun, jika dekomposisi kertas selama pengolahan limbah diperhitungkan, maka alternatif kertas memiliki jejak karbon yang lebih tinggi daripada PS walaupun masih lebih rendah dari kemasan PLA (Franklin Associates 2011). Keuntungan utama dari kemasan kertas adalah bahwa daur ulangnya adalah praktik umum di banyak negara, tidak seperti daur ulang PLA atau PS.

Penelitian yang dilakukan oleh Belley (2011) melakukan perbandingan terhadap enam kotak plastik yang berbeda dan satu kotak yang terbuat dari bubur kertas yang didaur ulang (MP). Mereka menarik kesimpulan bahwa:

- nampan yang terbuat XPS dan MP memiliki kinerja lingkungan yang terbaik dan kotak yang terbuat dari PLA memiliki yang terburuk,
- bahan mentah dan fase produksi adalah yang paling berkontribusi terhadap dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh nampan,
- kotak plastik yang terbuat dari 100% PET daur ulang memiliki hasil-hasil yang dapat dibandingkan dengan XPS dan MP dalam kategori-kategori dampak pada kesehatan manusia dan eutofikasi akuatik,
- XPS bukan dibuat dari bahan daur ulang, namun massa rendahnya berkontribusi pada kinerja lingkungan yang baik.

Wilayah geografis studi yang dilakukan oleh Belley (2011) adalah Quebec, dengan bauran listrik terutama didasarkan pada pembangkit listrik tenaga air. Penulis menyatakan bahwa hasilnya sensitif terhadap jenis bauran listrik yang digunakan dalam tahap produksi. Namun, mengubah bauran listrik tidak mengubah kesimpulan bahwa XPS dan MP adalah pilihan-pilihan sekali pakai yang paling ramah lingkungan.

Studi yang dilakukan oleh Gallego-Schmid et al. (2019) melakukan perbandingan terhadap tiga kemasan sekali pakai untuk dibawa pulang yang terbuat dari XPS, PP, dan aluminium dengan Tupperware yang dapat digunakan kembali yang terbuat dari PP. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa:

- XPS memiliki kinerja lingkungan yang terbaik di antara pilihan-pilihan sekali pakai,

- Tupperware harus digunakan antara 16 hingga 39 kali agar dapat menghasilkan skor yang lebih baik dari wadah XPS sekali pakai di hampir seluruh kategori dampak
- hanya pada kategori dampak potensi penipisan abiotik, Tupperware harus digunakan sebanyak 208 kali,
- aluminium sekali pakai dan Tupperware sekali pakai berbahan PP merupakan pilihan yang terburuk,
- PP untuk penggunaan sekali pakai memiliki GWP tertinggi dan terbesar dalam hal permintaan energi utama,
- meskipun XPS memiliki dampak lingkungan yang terendah di antara pilihan-pilihan sekali pakai, namun ia memiliki potensi tertinggi menjadi sampah yang dibuang sembarangan dikarenakan oleh bobotnya yang ringan, dan
- mendaur ulang XPS bukan merupakan sebuah prioritas di kebanyakan negara karena tinggi biayanya, yang mana hal ini berkontribusi pada potensi XPS terbuang sebagai sampah.

Wadah untuk makanan yang dibawa pulang (*take-away*) dari PP yang dapat digunakan kembali perlu digunakan kembali sebanyak 18 kali agar lebih baik dalam hal GWP daripada wadah *take-away* sekali pakai yang terbuat dari XPS (Gallego-Schmid et al. 2019). Baumann et al. (2018) mencapai kesimpulan serupa: wadah plastik yang dapat digunakan kembali lebih ramah lingkungan daripada wadah sekali pakai PS. Wadah plastik yang dapat digunakan kembali untuk membawa buah dan sayuran secara ekologis lebih baik daripada wadah sekali pakai yang terbuat dari kayu, plastik, atau karton (Accorsi et al. 2014).

Faktor penting yang tidak dipertimbangkan di sebagian besar Kajian Daur Hidup/LCA untuk sistem dibawa pulang adalah seberapa baik sistem pengemasan melindungi makanan (UNEP 2020b). Hal ini penting karena makanan yang dilindungi dalam sistem pengemasan seringkali memiliki dampak lingkungan yang lebih tinggi daripada sistem pengemasan lainnya yang ada (Notarnicola et al. 2017). Oleh karena itu, perlindungan makanan harus menjadi prioritas utama untuk sistem pengemasan makanan.

2.4.3 Kemampuan didaur ulang

Kemampuan suatu objek untuk didaur ulang memainkan peran penting terkait dengan pilihan-pilihan sekali pakai. Namun, meskipun secara teori dimungkinkan, ini tidak berarti bahwa daur ulang akan dilakukan dalam praktiknya. Misalnya, mendaur ulang XPS secara teori dimungkinkan tetapi tidak dilakukan dalam praktiknya karena tingginya biaya yang dilibatkan. Sebaliknya, dalam banyak kasus, XPS dibakar atau ditimbun di TPA (Gallego-Schmid et al. 2019; Belley 2011). Hambatan lain untuk mendaur ulang kemasan yang dapat dibawa pulang adalah bahwa kontaminasi dengan limbah makanan mengakibatkannya berakhir pada limbah sisa dan bukan didaur ulang karena konsumen lebih cenderung membuang wadah ke tempat sampah sisa.

Dalam studi yang dilakukan untuk wilayah Kanada, Belley (2011) mengasumsikan bahwa kotak PET terbuat dari 100% bahan daur ulang, sedangkan tingkat daur ulang hanya 38%. Demikian pula, MP diasumsikan dibuat dari 100% bahan daur ulang, tetapi hanya 41% yang didaur ulang pada fase akhir masa pakai. Kotak PLA diasumsikan mengandung 10% bahan daur ulang, tetapi 100% berakhir di TPA. Hal ini menunjukkan bahwa asumsi dalam studi Kajian Daur Hidup tidak selalu koheren dengan praktik daur ulang yang sebenarnya. Namun, asumsi tersebut masih dibenarkan

untuk menjadi panduan dalam pengambilan keputusan untuk memfasilitasi tingkat daur ulang yang lebih tinggi.

Untuk dapat didaur ulang, tidak hanya bahannya saja yang penting tetapi juga apakah bahan tersebut merupakan material tunggal atau material berlapis. Lebih mudah bagi pabrik daur ulang untuk mendaur ulang bahan murni. Untuk pabrik daur ulang, seringkali sulit untuk memisahkan bahan yang berbeda-beda dari sebuah bahan berlapis. Oleh karena itu, dalam banyak kasus, kemasan berlapis jadi dibakar atau ditimbun alih-alih didaur ulang.

Contoh lain dari hambatan terkait upaya daur ulang adalah ketika kemasan berbasis PLA ditemukan di aliran limbah. PLA memiliki dampak negatif pada daur ulang PET. Kebanyakan pabrik pemilahan konvensional memiliki masalah dalam membedakan antara PET dan PLA. Ini berujung pada tingkat pemurnian daur ulang PET yang lebih rendah. Oleh karena itu, PLA lebih cenderung berakhir di tempat pembuangan akhir atau insinerator daripada dikirim ke daur ulang sampah yang diinginkan (Benetto et al. 2015).

2.4.4 Kemampuan untuk digunakan kembali

Tingkat penggunaan kembali memainkan peran penting terkait kemasan yang dapat digunakan kembali dan dapat dibawa pulang. Tupperware yang terbuat dari PP perlu digunakan sebanyak 16 hingga 208 kali agar bisa lebih baik daripada XPS, tergantung pada kategori dampak dan manajemen akhir masa pakai (Gallego-Schmid et al. 2019). Untuk kategori dampak GWP, wadah PP yang dapat digunakan kembali harus digunakan hanya 18 kali untuk memiliki GWP lebih rendah dari XPS (Gallego-Schmid et al. 2019). Tupperware yang dapat digunakan kembali yang terbuat dari PP perlu digunakan 208 kali agar menjadi lebih baik daripada XPS hanya untuk kategori dampak *Abiotic Degradation Potential of Elements*. Untuk 10 kategori dampak lainnya, tingkat penggunaan kembali sebanyak maksimum 39 sudah cukup.

Tupperware dari PP yang dapat digunakan kembali memiliki keunggulan lingkungan dibandingkan dengan Tupperware dari kaca. Studi Gallego-Schmidt et al. (2019) menyimpulkan bahwa wadah penyimpanan makanan dari kaca yang dapat digunakan kembali harus digunakan kembali 3,5 kali lebih sering daripada wadah makanan dari PP yang dapat digunakan kembali agar sebanding secara lingkungan. Di sini penting untuk disebutkan, bahwa daur ulang kaca adalah praktik umum di banyak negara dan sejumlah Kajian Daur Hidup yang dilakukan tidak termasuk risiko membuang sampah sembarangan atau mikroplastik, yang mana diperkirakan lebih tinggi untuk PP Tupperware.

2.4.5 Kesimpulan

Secara umum dapat dikatakan bahwa wadah makanan untuk dibawa pulang dari plastik yang dapat digunakan kembali, seperti wadah PP yang dapat digunakan kembali, memiliki kinerja lingkungan yang lebih baik daripada pilihan-pilihan sekali pakai. Namun, perlu dipastikan bahwa mereka cukup sering digunakan kembali. Ada berbagai pilihan bahan untuk wadah dibawa pulang yang dapat digunakan kembali. Wadah dari PP memiliki keunggulan dibandingkan wadah kaca karena emisi yang lebih rendah selama produksi dan karena bobotnya yang lebih ringan. Wadah kaca harus digunakan 3,5 kali lebih sering daripada wadah PP agar dapat dibandingkan secara ekologis.

Pengelolaan limbah juga terkait erat dengan wilayah geografis dan mempengaruhi kinerja lingkungan dari kemasan. Misalnya, kemasan makanan sekali pakai dari kertas yang dapat dibawa pulang memiliki jejak karbon yang lebih baik dibandingkan dengan kemasan PS dan PLA, ketika pengolahan limbah di TPA dan kertas tidak menunjukkan dekomposisi karena lapisannya. Namun, jika dekomposisi kertas selama pengolahan limbah dipertimbangkan, maka alternatif kertas memiliki jejak karbon yang lebih tinggi daripada PS tetapi masih lebih rendah dari kemasan PLA.

Meskipun wadah berbahan dasar PS/XPS tampaknya memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah daripada pilihan material sekali pakai lainnya, XPS umumnya tidak didaur ulang karena biayanya yang tinggi. Jadi, mereka akan dibakar atau ditimbun. Insinerasi dengan pemulihan energi lebih umum di Eropa daripada di Amerika Serikat, sedangkan TPA lebih umum di Amerika Serikat dan sebagian besar negara Asia. Selain itu, kemasan berbahan dasar XPS yang ringan juga meningkatkan risiko terbawa angin dan berujung menjadi sampah.

Biasanya, makanan yang ada di dalam kemasan memiliki jejak lingkungan yang lebih besar daripada kemasannya itu sendiri. Oleh karena itu, tujuan utama dari sistem pengemasan untuk dibawa pulang/*take-away* adalah untuk melindungi makanan. Jika bahan dengan jejak lingkungan yang lebih tinggi daripada bahan lain dapat melindungi makanan, itu masih lebih disukai dalam banyak kasus. Kemasan makanan *take-away* berlapis-lapis dapat menambahkan lebih banyak variasi properti ke dalam sistem pengemasan, yang mengarah pada perlindungan makanan yang lebih baik. Namun, penggunaan beberapa lapisan membuatnya sulit dalam mendaur ulang bahan.

Kemasan PLA untuk makanan yang dibawa pulang memiliki kinerja lebih baik daripada kemasan PET untuk makanan yang dibawa pulang terhadap sebagian besar dampak lingkungan. Namun, PLA sulit dibedakan dari PET oleh sebagian besar fasilitas pemilahan konvensional, sehingga sulit untuk memanfaatkan daur ulang dan pengomposan pengolahan limbah yang disukai. Sebaliknya, PLA lebih cenderung berakhir di tempat pembuangan akhir atau insinerator.

Wilayah geografis memainkan peran utama dalam hal dampak lingkungan dari sistem pengemasan untuk makanan yang dibawa pulang. Untuk pilihan-pilihan sekali pakai, fase produksi memiliki dampak lingkungan terbesar. Kinerja lingkungan dari fase produksi secara langsung terkait dengan bauran energi yang digunakan di wilayah tersebut. Hal yang sama berlaku untuk sistem yang dapat digunakan kembali dalam fase penggunaan pencucian wadah.

2.5 Kemasan daging

Berbeda dari sistem-sistem pengemasan dan minuman lainnya dalam penelitian ini, pengemasan daging memiliki tugas lain selain yang bertujuan untuk menjadi wadah membawa daging. Tujuan utama pengemasan daging adalah untuk melindungi daging dari patogen. Daging sering dikemas secara vakum untuk memperpanjang durasi penyimpanan daging. Sementara sistem pengemasan lain seperti sistem pengemasan yang dapat dibawa pulang atau kantong belanja sering digunakan untuk waktu yang singkat, pengemasan daging dirancang agar daging bertahan selama periode tertentu, mulai dari hitungan hari hingga bulan. Kemasannya didesain untuk melindungi daging agar lebih tahan lama dan tidak dibuang. Sebagian besar kemasan daging terbuat dari plastik sekali pakai berbasis fosil. Bab ini membandingkan berbagai bahan plastik dan alternatifnya.

2.5.1 Bahan-bahan yang paling umum digunakan

Sebagian besar sistem pengemasan daging adalah **plastik sekali pakai** seperti **XPS, PET, PP, PE**, dan **poliamida (PA)**. Mereka juga dapat dibuat dari **plastik *biobased*** seperti **PLA** atau menggunakan sistem **pengemasan daging film berlapis** dan ***thermoformed***. Kemasan daging film *thermoformed* umumnya diproduksi menggunakan berbagai kombinasi bahan, seperti **PA/PE** dan **PE/EVOH**.

2.5.2 Kinerja lingkungan

Dalam studi yang dilakukan oleh Pauer et al. (2020), terdapat enam jenis kemasan berbeda yang digunakan untuk mewadahi sepotong sepek/*bacon* yang diperbandingkan dalam hal dampak lingkungan yang ditimbulkannya:

- dua kemasan lapis *thermoformed* (PA/PE dan PE/EVOH),
- dua kemasan vakum (PA dan PE) dan
- dua kantong susut/*shrink bag* (PE/polyvinylidene dichloride (PVdC) dan PA/EVOH/PE).

Pauer et al. (2020) menyimpulkan bahwa dampak bagi iklim yang timbul dari bahan terutama tergantung pada berat bahan kemasan dan kandungan PA. Dari enam bahan yang diteliti, kantong susut yang mengandung PVdC memiliki jejak karbon terendah dan film *thermoforming* yang mengandung PA/PE memiliki yang tertinggi. Meskipun film PE/EVOH dapat didaur ulang dengan lebih baik, hasil dampak pada perubahan iklimnya ternyata jauh lebih tinggi daripada dampak iklim dari kantong susut yang mengandung PVdC. Dengan demikian, dalam hal ini, pertukaran antara kemampuan daur ulang yang lebih baik dan manfaat iklim sebagai akibat dari pengurangan berat, yang mengakibatkan biaya daur ulang, menjadi jelas terlihat. Studi lain oleh Barlow und Morgan (2013) juga menekankan bahwa pengurangan bahan-bahan kemasan tanpa mengurangi kapasitas pelindungnya harus diprioritaskan daripada memprioritaskan peningkatan kemampuan daur ulang. Namun, perlu dicatat bahwa tidak semua negara dilengkapi dengan fasilitas pembakaran sampah modern yang mampu menyaring dioksin beracun. Dengan demikian, pembakaran PVdC dengan teknologi suboptimal dapat menghasilkan emisi yang berbahaya, sehingga mengurangi manfaat lingkungan. Dalam kasus seperti itu, menggunakan kemasan yang lebih berat, tetapi dapat didaur ulang dengan lebih baik, dapat menjadi alternatif yang lebih baik.

Di sisi lain, penggunaan bahan daur ulang secara signifikan dapat mengurangi dampak lingkungan dari kemasan sebagaimana ditunjukkan dalam studi yang dilakukan oleh Maga et al. (2019). Namun, bahan daur ulang yang digunakan harus mematuhi peraturan penggunaan terkait kontak dengan makanan dan terutama daging.

Sebuah studi yang dilakukan oleh Maga et al. (2019) melakukan perbandingan terhadap sembilan solusi pengemasan daging sekali pakai atas dampak lingkungan yang ditimbulkan dan kesimpulan yang dicapai adalah bahwa:

- kemasan daging berbasis XPS berbobot ringan memiliki dampak lingkungan yang terendah dan PLA adalah yang tertinggi,
- wadah PP adalah bahan nomor dua terbaik setelah XPS,
- solusi pengemasan berlapis memiliki dampak lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan dengan solusi-solusi lain yang terbuat dari bahan monomaterial, yang juga dikarenakan oleh kekurangan mereka dalam kemampuan daur ulangnya,
- jejak karbon kotak PET yang dibuat dari 100% bahan daur ulang adalah 75% lebih rendah dari jejak karbon kotak PET yang terbuat dari 100% bahan virgin, dan
- Kotak PLA memiliki skor terburuk dalam 10 dari 13 kategori dampak. Dalam ketiga kategori lainnya tersebut (penipisan sumber daya, perubahan iklim, dan perubahan iklim saat karbon biogenik tidak disertakan), hasil-hasil dari PLA ditemukan berada di antara dampak dari bahan-bahan lainnya.

Sebuah studi oleh Wikström et al. (2016) membandingkan dua jenis kemasan daging plastik sekali pakai: tabung dan nampan. Nampan terbuat dari PET dan memiliki film plastik dari LDPE dan PET. Tabung terbuat dari PA. Berat tabung sekitar 80% lebih kecil dari nampan dan karena itu menggunakan lebih sedikit bahan. Hasilnya menunjukkan bahwa tabung memiliki kinerja lingkungan yang lebih baik, tanpa mempertimbangkan perilaku pelanggan. Namun, ternyata sifat nampan yang mudah dikosongkan berdampak signifikan pada hasil temuan. Pelanggan tidak dapat mengosongkan kemasan tabung sepenuhnya. Desain tabung kemasan menyebabkan limbah makanan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, nampan memiliki kinerja lingkungan yang lebih baik daripada kemasan tabung jika perilaku konsumen disertakan. Dalam hal ini, dampak lingkungan yang tinggi dari daging kemasan menjadi faktor penentu. Di sisi lain, tabung lebih mampu mengawetkan makanan untuk jangka waktu yang lebih lama. Ini bisa menggeser hasil yang menjadi mendukung kemasan tabung lagi.

Dalam studi oleh Dilkes-Hoffman et al. (2018), para penulis membandingkan sistem pengemasan makanan *biodegradable* (bahan berlapis pati termoplastik (TPS) dan polihidroksialkanoat (PHA)) dengan sistem pengemasan makanan berbasis fosil dari PP. Sistem pengemasan yang dapat terurai secara hayati dan sistem pengemasan PP memiliki jejak karbon yang serupa dalam fase produksinya. Jejak karbon total dari sistem pengemasan *biodegradable* sangat bergantung pada pembuangan limbah. Jika pembuangan limbah adalah tempat pembuangan akhir tanpa pemulihan metana, maka kemasan *biodegradable* memiliki jejak karbon dua kali lipat dari kemasan PP. Jejak karbon kemasan *biodegradable* bisa separuh dari sistem kemasan PP, jika tingkat pemulihan metana di TPA adalah 97%. Namun, menurut penulis, tingkat pemulihan metana rata-rata di Australia adalah 30% dan, oleh karena itu, menyebabkan kerugian dari sistem pengemasan yang dapat terurai secara hayati.

Kinerja lingkungan dari pengemasan daging memainkan peran yang kurang relevan ketika dibandingkan dengan dampak lingkungan keseluruhan dari produk daging (Heller et al. 2019). Perlindungan produk yang optimal harus menjadi prioritas bagi desainer kemasan. Mencegah terbuangnya makanan melalui pengemasan dengan memperpanjang umur penyimpanan memiliki dampak lingkungan yang lebih besar daripada mengurangi dampak lingkungan dari pengemasan (Pilz 2017). Tidak semua daging dijual dalam keadaan terbungkus plastik. Misalnya, banyak daging dijual di toko deli. Daging, sosis, atau ham yang baru diiris jauh lebih rentan terhadap kerusakan mikroba daripada daging yang dikemas dalam kemasan plastik sekali pakai. Oleh karena itu, bahan dari toko deli memiliki tingkat kerugian yang relatif tinggi (Pilz 2017).

Karena tahap produksi memiliki dampak terbesar pada jejak lingkungan dari sistem pengemasan sekali pakai (tidak termasuk daging yang dikemas), jejak lingkungan dari nampan PS dengan busa untuk daging segar dapat dikurangi sebesar 14%, dengan menggunakan energi terbarukan dalam proses pembuatannya (Ingrao et al. 2015).

2.5.3 Kemampuan didaur ulang

Untuk kemasan makanan, terutama daging, ada kekhawatiran tentang kontaminan dari plastik daur ulang yang masuk ke dalam makanan. Bahan daur ulang harus mematuhi peraturan untuk digunakan terkait kontak dengan makanan dan terutama daging.

Dalam studi oleh Maga et al. (2019), tingkat daur ulang sekitar 40% diasumsikan untuk cangkang PP daur ulang dalam konteks Eropa. Tidak ada daur ulang yang diasumsikan untuk cangkang yang terbuat dari bahan berlapis, PET daur ulang, XPS atau PLA. Alih-alih mendaur ulang, bahan-bahan tersebut dibakar atau ditimbun. Nampan PET daur ulang diasumsikan adalah 100% bahan daur ulang dan karena penggunaan bahan daur ulang tersebut, jejak karbonnya 75% lebih kecil dari jejak karbon nampan bahan 100% virgin.

Kemasan film *thermoformed* (PA/PE dan PE/EVOH) menurut temuan dari studi oleh Pauer et al. (2020) dapat didaur ulang. Namun, terlepas dari keunggulannya yang dapat didaur ulang, ia memiliki jejak karbon yang lebih tinggi daripada kantong susut PE/PVdC.

2.5.4 Kemampuan digunakan kembali

Tidak ada kemasan daging yang dapat digunakan kembali yang dievaluasi dalam studi-studi Kajian Daur Hidup yang dikaji.

2.5.5 Kesimpulan

Tidak ada pilihan dalam kategori yang dapat digunakan kembali yang dievaluasi terkait sistem pengemasan daging. Ketebalan dan bobot kemasan dapat dikurangi untuk menurunkan jejak lingkungan kemasan selama perlindungan makanan yang diperlukan memang dipenuhi. Penggunaan bahan daur ulang dapat secara signifikan mengurangi jejak lingkungan dari bahan kemasan. Selanjutnya, daur ulang kemasan pascapenggunaan oleh konsumen dapat mengurangi GWP bahan kemasan.

Pengurangan bobot pada kemasan dalam konteks sistem pengemasan berlapis, menghasilkan kemampuan daur ulang yang buruk, tetapi dampak lingkungan secara keseluruhan lebih rendah. Namun, pilihan pengelolaan limbah dan teknologi pilihan pengolahan limbah memiliki pengaruh yang signifikan terhadap dampak lingkungan. Misalnya, di negara-negara di mana pabrik pembakaran sampah yang tidak dilengkapi untuk menyaring dioksin, menggunakan kemasan yang lebih berat tetapi dapat didaur ulang mungkin merupakan pilihan yang lebih baik.

Di negara-negara yang mayoritas menggunakan pilihan pengolahan TPA, ada atau tidak adanya sistem pemulihan metana mempengaruhi dampak lingkungan dari bahan kemasan yang berbeda-beda.

Lebih lanjut lagi, sejumlah bahan kemasan, seperti XPS, menunjukkan dampak lingkungan yang rendah, tetapi tidak didaur ulang karena biayanya yang tinggi, dan juga lebih rentan terhadap kemungkinan dibuang sebagai sampah karena bobotnya yang ringan.

Karena daya atau kemampuan daur ulang yang rendah, sistem pengemasan berlapis memiliki kinerja lingkungan yang lebih tinggi daripada solusi-solusi yang terbuat dari bahan monomaterial. Namun, jika desain kemasan berlapis menyebabkan umur penyimpanan daging lebih lama, maka lingkungan lebih disukai daripada bahan tunggal dengan umur penyimpanan daging yang lebih pendek.

Perbaikan lingkungan terbaik dari pengemasan daging adalah dengan memperpanjang umur penyimpanan daging. Misalnya, rata-rata, daging sepek kemasan memiliki jejak karbon 54 kali lipat dari kemasan Pauer et al. (2020). Oleh karena itu, perlindungan pangan harus menjadi tujuan utama dari desain kemasan. Desain tabung untuk daging dapat mengakibatkan makanan dalam kemasan menjadi tersisa. Sisa makanan dalam kemasan tersebut dapat menyebabkan kemasan berujung pada pembakaran dan TPA, alih-alih mendaur ulang bahan kemasan.

3 Aspek-aspek yang tidak tercakup sepenuhnya oleh Kajian-kajian Daur Hidup/LCA Studies

Studi Daur Hidup/LCA mencoba untuk mewakili keseluruhan jejak lingkungan dari suatu barang. Untuk melakukannya, realitas yang ada perlu disederhanakan menjadi sebuah model. Model yang disederhanakan ini tidak mewakili kompleksitas sistem dunia nyata. Misalnya, Kajian Daur Hidup biasanya tidak memperhitungkan konsentrasi zat berbahaya dan juga tidak mewakili dampak terhadap keanekaragaman hayati (UNEP 2020a).

Plastik dapat terdegradasi menjadi mikroplastik jika tidak dikirim ke sistem pembuangan limbah yang benar. Dampak mikroplastik pada ekosistem benar-benar diabaikan di sebagian besar Kajian Daur Hidup. Beberapa mencoba untuk mengukur potensi sampah yang didapat dari bahan-bahan, tetapi metode ini tidak banyak digunakan dan bukan merupakan kategori dampak resmi dari Kajian Daur Hidup.

Meskipun plastik *biodegradable* terurai dalam kondisi tertentu, kondisi ini seringkali tidak terpenuhi dalam kenyataannya. Namun, Kajian Daur Hidup sering menyederhanakan bahwa plastik *biodegradable* dapat terurai sepenuhnya atau terurai seperti kertas (Civancik-Uslu et al. 2019). Mereka biasanya tidak mempertimbangkan apakah kondisi untuk penguraian secara penuh terpenuhi atau tidak.

Bab ini berkonsentrasi pada beberapa kategori dampak yang tidak tercakup di sebagian besar Kajian Daur Hidup/LCA.

3.1 Bahan-bahan berbahaya

Kantong belanja, wadah atau gelas minuman, kemasan makanan untuk dibawa pulang, dan kemasan daging adalah barang plastik berdasarkan bahan paling umum yang telah dijabarkan di setiap bagian di atas. Namun, selain granula polimer atau foil, pembuatannya memerlukan zat tambahan, yaitu aditif, perekat atau pelapis, instrumen pembantu⁴, dan zat lain yang ditambahkan secara tidak sengaja.

Secara keseluruhan, Groh et al. (2019) menyebutkan terdapat sekitar 900 hingga 3000 bahan kimia yang mungkin memiliki kaitan dengan kemasan plastik. Bahan kimia berbahaya yang diidentifikasi ini digunakan dalam plastik sebagai monomer, *intermediate*, pelarut, surfaktan, *plasticizer*, stabilisator, biosida, penghambat api, akselerator, dan pewarna, di antara fungsi lainnya. Para penulis menyajikan pangkalan data bahan kimia yang terkait dengan kemasan plastik, yang mencakup bahan kimia yang digunakan selama pembuatan dan/atau ada dalam artikel kemasan akhir.

Mengenai bahaya dari zat-zat ini, Groh et al. (2019) menemukan bahwa dari 906 bahan kimia yang mungkin terkait dengan kemasan plastik, 63 masuk peringkat tertinggi dalam hal bahaya bagi kesehatan manusia dan 68 dalam hal bahaya bagi lingkungan⁵. Lebih lanjut, 7 dari 906 zat tersebut masuk klasifikasi di Uni Eropa sebagai bahan-bahan kimia yang bersifat persisten, bioakumulasi, dan toksik (PBT) atau sangat persisten dan sangat bioakumulatif, serta 35 di antaranya sebagai bahan kimia pengganggu endokrin. Perlu dicatat bahwa beberapa zat dapat dikaitkan dengan lebih dari satu kelompok kategori bahaya.

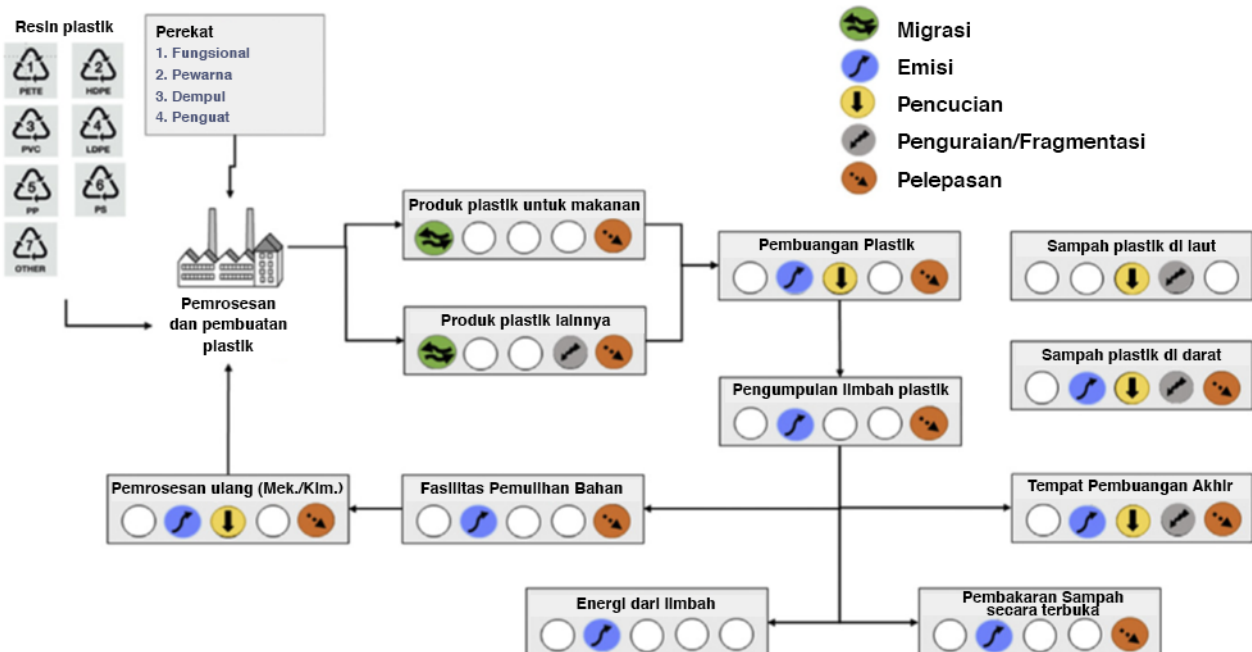
⁴ Zat-zat yang dibutuhkan selama proses manufaktur, mis. pelarut

⁵ Menurut klasifikasi zat berbahaya yang telah diselaraskan berdasarkan Nations' Globally Harmonized System (GHS)

Kemasan plastik mengandung zat-zat tersebut, terlepas dari bahan apa yang digunakan, yaitu bahan virgin, daur ulang atau *biobased* (Geueke et al. 2018; Zimmermann et al. 2020). Studi yang dilakukan oleh Zimmermann et al (2020) menyelidiki kemasan makanan *biobased*, misalnya nampan, cangkir kopi, pembungkus kantong teh. Terbukti bahwa produk *biobased* ini mengandung jumlah bahan kimia yang sama dengan plastik berbasis fosil, termasuk beberapa dengan zat beracun. Ditunjukkan bahwa dari 43 produk, 29 di antaranya mengandung bahan kimia yang menginduksi toksisitas awal, 18 yang menginduksi stres oksidatif, dan 11 efek endokrin⁶.

Untuk mengevaluasi risiko yang dikaitkan dengan zat-zat berbahaya, selain karakteristik kebayaannya (seperti yang dinilai oleh Groh et al. (2019)), skenario-skenario paparan harus dipertimbangkan. Gambar 3-1 menyajikan skenario paparan dan emisi zat berbahaya dari plastik selama siklus hidupnya. Lima jenis emisi ke lingkungan dapat dibedakan: Migrasi ke dalam bahan yang dikemas, emisi ke udara, peluruhan ke dalam tanah dan lingkungan berair, degradasi, yaitu pembentukan mikroplastik, dan pelepasannya.

Gambar 3-1: Skenario terpapar untuk perekat plastik di dalam daur hidup plastik



Sumber: (Hahladakis et al. 2018)

Sejumlah contoh-contoh yang cukup dikenal terkait dengan zat-zat berbahaya yang dikaitkan dengan pengemasan dijelaskan di bawah ini:

- Kelompok zat alkil polifluorinasi (PFAS) digunakan dalam kemasan foil dan pelapis plastik (sekali pakai) serta peralatan makan dari karton, gelas dan peralatan makan seperti pisau. PFAS terakumulasi dalam tubuh manusia karena sifatnya yang persisten. Zat-zat ini juga terakumulasi di lingkungan tanpa terjadi penguraian. Otoritas Keamanan Makanan Eropa (European Food Safety Authority-EFSA) mencurigai bahwa terdapat hubungan antara PFAS individu dan efek vaksinasi yang berkurang, berat badan lahir yang lebih rendah, peningkatan kadar kolesterol dan

⁶ Mereka menemukan perekat plastik, termasuk *butanediylidihexadecanamide*, *ethyleneglycol* (palmitamida), erukamida dan Irganox 1076, dan juga zat-zat yang tidak sengar ditambahkan, termasuk, *tetraoxacyclotetrasiloxane-tetrasiloxane*, peralihan dari kemasan PE dan tris(2-nonylphenyl) fosfat (PE-Biomassa), yang merupakan produk uraian dari antioksidan tris (nonylphenyl) fosfit (TNPP).

infeksi seperti peradangan usus. Namun, banyak dari 4.700 zat-zat yang ada yang masih belum dipelajari.

- Bisfenol, dengan Bisfenol A sebagai bahan paling dikenal dari kelompok bisfenol, digunakan sebagai monomer dalam pembuatan plastik polikarbonat bening, misalnya, untuk gelas atau tabung air minum dan pembuatan bahan lain yang berhubungan dengan plastik, termasuk pelapis di dalam kaleng makanan dan minuman. Kelompok bahan kimia ini memiliki sifat mengganggu endokrin, dan dengan demikian, memiliki efek pada sistem hormon manusia. Molekul BPA dapat bermigrasi ke dalam minuman selama fase penggunaan.
- Kelompok zat lain adalah ftalat, yang memberikan efek plastisisasi pada bahan. Beberapa kemasan daging dan segel penutup ulir mengandung ftalat. Namun, ftalat juga dapat masuk ke makanan pada fase produksi, misalnya, ketika minyak sayur dipompa melalui pipa plastik fleksibel yang mengandung PVC. Beberapa ftalat memiliki efek samping, namun, dalam praktiknya, ambang batas efek samping tersebut tidak terlampaui saat paparan ftalat terkait dengan makanan.
- Polivinil klorida (PVC) digunakan dalam beberapa aplikasi kemasan sekali pakai seperti label botol plastik, kotak kemasan transparan, dan nampan⁷. PVC terutama digunakan karena harganya yang murah, tahan lama, dan tahan gores. PVC seperti itu tidak memiliki efek merugikan, namun, dalam setiap opsi pengelolaan akhir masa pakai yang melibatkan perlakuan termal dalam kondisi yang tidak terkendali (limbah menjadi energi, pembakaran terbuka, dan pemrosesan ulang), PVC membentuk asap yang sangat beracun (mengandung hidrogen klorida, dioksin dan furan). Oleh karena itu, limbah PVC menjadi perhatian khusus di daerah di mana pengelolaan limbah plastik yang tepat tidak dapat dijamin.

3.2 Mikroplastik & Perilaku membuang sampah sembarangan

Produk sekali pakai hanya digunakan satu kali sebelum dibuang. Akibatnya, ada risiko lebih tinggi bahwa mereka akan berakhir sebagai sampah di lingkungan dibandingkan dengan produk yang dapat digunakan kembali. Perilaku konsumen berbeda untuk produk sekali pakai daripada produk yang dapat digunakan kembali. Penggunaan tambahan suatu produk membuat pilihan yang dapat digunakan kembali tampak lebih berharga, yang mengarah pada pembuangan yang tidak terlalu sembrono setelah penggunaannya

Pilihan-pilihan yang dapat digunakan kembali seringkali lebih tahan lama daripada pilihan sekali pakai dan oleh karenanya lebih berat. Semakin ringan suatu bahan, semakin mudah terbawa angin sehingga lebih mudah terbang ke lingkungan sebagai sampah (Civancik-Uslu et al. 2019). Plastik sekali pakai sangatlah ringan. Misalnya, PS dan XPS memiliki dampak lingkungan yang rendah dalam produksinya karena konstruksinya yang ringan, tetapi mereka sangat erat terkait dengan potensi terbang sebagai sampah yang sangat tinggi (Civancik-Uslu et al. 2019)

Bahan-bahan terurai pada tingkat yang berbeda saat mereka berakhir sebagai sampah lingkungan. Sementara itu, bahan nonplastik, seperti kertas dan bambu, terurai setelah waktu tertentu, plastik berbasis fosil dan beberapa plastik berbasis biomassa biasanya tidak pernah sepenuhnya terurai. Ketika plastik masuk ke dalam lingkungan, mereka tetap berada di sana untuk waktu yang lama karena stabilitas dan daya tahannya. Angin dan arus air menyebarkan penyebaran plastik secara

⁷ Sulit untuk membedakan antara PVC transparan dengan PET transparan, yang juga digunakan pada banyak wadah sekali pakai. Sebagian upaya identifikasi ini didukung oleh kode daur ulang cetak, di mana 1 adalah untuk PET dan 3 adalah untuk PVC.

meluas. Seiring berjalannya waktu, abrasi dan erosi menciptakan fragmen-fragmen yang lebih kecil dari potongan plastik yang lebih besar. Potongan-potongan kecil ini disebut mikroplastik.

Menelan sampah dan plastik dapat menyebabkan kerusakan jasmani dan kematian pada hewan. Menelan mikroplastik berarti memasukkan bahan kimia berbahaya ke dalam rantai makanan. Mikroplastik telah ditemukan pada semua jenis hewan laut, mulai dari ikan hingga burung dan mamalia laut (UBA 2013). Pengaruh akumulasi mikroplastik dalam rantai makanan terhadap kesehatan manusia masih belum cukup diteliti.

3.3 Keanekaragaman hayati dan Tata guna lahan

Plastik *biobased* tidaklah lebih berkelanjutan jika dibandingkan dengan plastik konvensional: Penggantian plastik berbasis fosil dengan plastik *biobased* tidak menghasilkan perbaikan lingkungan yang signifikan; sebaliknya, dampak-dampak yang ditimbulkannya bergeser. Dalam studi yang dilaksanakan oleh Ita-Nagy et al. (2020) para penulis menganalisis sejumlah Kajian Daur Hidup/LCA yang membandingkan plastik *biobased* dan berbasis fosil. Mereka menyimpulkan bahwa “bioplastik umumnya menunjukkan dampak perubahan iklim yang lebih rendah daripada plastik berbasis fosil [...]. Namun, bahan-bahan ini juga menunjukkan beban yang lebih tinggi dalam kategori lingkungan yang terkait dengan pemanenan dan budidaya biomaterial mentah, termasuk kategori LCA yang terkait dengan air, seperti eutrofikasi, dan dengan udara, seperti penipisan ozon stratosfer atau pembentukan ozon fotokimia. Kompromi serupa juga ditemukan dalam berbagai penelitian lain (van der Harst et al. 2014; European Commission 2019; Papong et al. 2014).

Tiga permasalahan tambahan terkait dengan bahan-bahan dasar adalah:

- Karena tantangan-tantangan yang dihadapi dalam melakukan pemodelan, Kajian Daur Hidup kurang melakukan penilaian terhadap **perubahan tata guna lahan** (LUC)⁸ sebagai sebuah kategori. Piemonte and Gironi (2011), namun, 'menyoroti pengaruh kuat emisi LUC pada penghematan GRK yang dapat dicapai dengan mengganti plastik sekali pakai berbasis minyak bumi dengan bioplastik.' Penulis yang sama menunjukkan 'pentingnya menggunakan limbah biomassa atau biomassa yang dikembangkan di lahan pertanian yang terdegradasi dan terbengkalai untuk memproduksi bioplastik yang, dengan cara ini, dapat menawarkan keuntungan GRK secara langsung dan berkelanjutan.' Dalam studi oleh Suwanmanee et al. (2013) para penulis mendeteksi perubahan tata guna lahan sebagai penyumbang tertinggi GWP plastik *biobased*.
- Sudah dikenal sebagai perdebatan tentang pangan-versus-bahan bakar, terdapat sebuah diskusi yang terjadi dalam hal **konflik tata guna lahan**, yaitu apakah lahan digunakan untuk menanam makanan atau biomassa, dan apakah makanan yang ditanam, mis. tapioka, digunakan untuk produksi plastik sebagai pengganti nutrisi
- Para penulis studi penilaian dampak untuk *biobased* (European Commission 2018) mengakui bahwa 'hasil panen yang tinggi di Brasil dan AS adalah hasil dari **monokultur** skala besar yang

⁸ EU Renewable Energy Directive (RED) mendefinisikan perubahan tata guna lahan langsung sebagai “terjadi ketika produksi bahan baku telah menyebabkan perubahan dari salah satu tutupan lahan berikut, lahan hutan, padang rumput, lahan basah, pemukiman, atau lahan lain, menjadi lahan pertanian atau lahan pertanian abadi”. Perubahan tata guna lahan tidak langsung didefinisikan sebagai berikut: “Di mana padang rumput atau lahan pertanian yang sebelumnya ditujukan untuk pasar makanan dan pakan dialihkan menjadi produksi biofuel, permintaan nonbahan bakar masih perlu dipenuhi baik melalui intensifikasi produksi saat ini atau dengan membuat lahan nonpertanian menjadi produksi di tempat lain. Kasus terakhir merupakan perubahan tata guna lahan tidak langsung [...]”. dikutip dalam European Commission (2018).

bergantung pada jenis-jenis organisme hasil rekayasa genetika (GMO) dengan organisme lain yang memiliki dampak merugikan, yang tidak termasuk dalam Kajian Daur Hidup karena alasan-alasan metodologis dan ketersediaan data.' Singkatnya, dapat disimpulkan bahwa budidaya monokultur termasuk penggunaan beragam jenis organisme yang direkayasa secara genetika, pupuk dan pestisida mengakibatkan **hilangnya keanekaragaman hayati**, yang umumnya sulit untuk dinilai secara kuantitatif.

Dalam hal ini, seperti yang disimpulkan oleh Piemonte and Gironi (2011), plastik dari limbah pertanian, mis. ampas tebu, daun palem, limbah pertanian campuran, hendaknya lebih disukai daripada bahan *biobased* yang dapat digunakan sebagai makanan.

3.4 Skenario nyata fase akhir masa pakai plastik-plastik *biodegradable*

Emisi selama fase akhir masa pakai dari suatu Kajian Daur Hidup sangat bergantung pada bahan dan jenis pembuangan limbah yang bersangkutan. Untuk sebagian besar plastik sekali pakai, daur ulang adalah solusi terbaik. Namun, polimer *biodegradable* tidak kompatibel dengan banyak polimer lain (misalnya poliolefin dan PET). Hal ini menyebabkan masalah bagi operator pabrik daur ulang, karena keberadaan polimer *biodegradable* dalam bahan baku daur ulang bertindak sebagai polutan dan mengurangi kualitas polimer daur ulang.

Oleh karena itu, solusi paling jelas untuk plastik *biodegradable* adalah penguraiannya melalui pengomposan. Dalam penilaian siklus hidup, daya urai plastik *biodegradable* sering disederhanakan dan dianggap mirip dengan kertas (Civancik-Uslu et al. 2019; Mattila et al. 2011). Jumlah plastik *biodegradable* yang terurai karena kondisi sekitarnya di lingkungan yang berbeda-beda, misalnya, komposter rumah, air laut, dll., sangatlah terbatas. **Plastik *biodegradable* yang digunakan secara komersial memerlukan perlakuan khusus** agar dapat terurai dalam jangka waktu yang wajar yaitu dalam enam bulan (pengomposan pada industri). Selain itu, butuh waktu lebih lama untuk terurai dibandingkan dengan sampah organik lainnya. Hal ini mengakibatkan masalah manajemen bagi operator pabrik pengomposan (Kunitzsch 2018). Selain itu, penguraian mereka tidak cocok untuk membuat humus.

Baik plastik *biodegradable* maupun plastik *biobased* dapat dibakar dengan pemulihan energi. Namun, pembakaran sampah tergantung pada pengelolaan sampah di negara yang bersangkutan. Di Thailand dan Malaysia, pengelolaan sampah didominasi oleh pemanfaatan tempat pembuangan akhir (Lacovidou and Siew 2020).

Di tempat pembuangan akhir, plastik *biodegradable* dapat menyebabkan emisi metana (European Commission 2019). Tempat pembuangan akhir tanpa pemberdayaan metana menyebabkan dampak lingkungan yang jauh lebih tinggi bagi plastik *biodegradable* (Dilkes-Hoffman et al. 2018; Civancik-Uslu et al. 2019). Dalam penelitian oleh Papong et al. (2014), para penulis menyimpulkan bahwa jejak karbon dari botol sekali pakai yang terbuat dari plastik *biobased* dapat menjadi berlipat ganda jika ditimbun tanpa pemulihan metana. Jika tidak ada pemulihan metana, pembakaran sampah adalah solusi yang lebih baik untuk plastik *biobased* (Mattila et al. 2011). Perlu dicatat bahwa tempat pembuangan akhir di negara berkembang seringkali hanya menjadi tempat pembuangan sampah dan tidak dikelola secara terkendali.

Plastik *biodegradable* memiliki beberapa kelemahan yang nyata (Brizga et al. 2020; Oakes 5 Nov 2019; EEA 2020; Burgstaller et al. 2018; DUH 2018b). Plastik *biodegradable* sering dipromosikan sebagai solusi untuk masalah yang terkait dengan jumlah sampah plastik. Namun demikian, saat ini, inipun tidak mengurangi volume sampah atau masalah yang terkait dengan pengelolaan sampah.

Bagi publik, istilah "*biodegradable*" memberikan kesan bahwa plastik dapat terurai sepenuhnya – yang adalah tidak benar. Dengan demikian, risiko konsumen membuang plastik ke lingkungan yaitu membuang sampah sembarangan dan risiko terbentuknya mikroplastik semakin meningkat.

3.5 Membandingkan beberapa skenario akhir masa pakai

Pengolahan limbah terbaik adalah yang tidak menghasilkan limbah. Hierarki limbah dapat membantu guna menentukan jenis pengolahan limbah yang akan diterapkan. Lima tahap hierarki limbah menggambarkan jenis pengolahan limbah apa yang lebih disukai daripada yang lain (European Commission 2020).

1. Pencegahan
2. Persiapan untuk penggunaan kembali
3. Daur ulang
4. Pemulihan
5. Pembuangan

Dua tingkat pertama dari hierarki limbah dapat dicapai melalui produk-produk yang dapat digunakan kembali, terlepas dari apakah produk tersebut digunakan kembali secara langsung, seperti kantong belanja, atau jika disiapkan untuk digunakan kembali, seperti gelas yang dapat digunakan kembali yang dicuci sebelum digunakan kembali. Tak satu pun dari solusi sekali pakai yang memenuhi prioritas tertinggi dari hierarki limbah, terlepas dari bahan yang digunakan. Alternatif untuk plastik berbasis fosil, seperti plastik atau kertas *biobased*, tidak mengubah fakta ini, selama itu adalah produk sekali pakai. Tingkatan tertinggi untuk pilihan sekali pakai adalah tingkat/*tier* ketiga.

Dalam sebagian besar Kajian Daur Hidup, daur ulang dianggap sebagai pilihan pengelolaan limbah terbaik yang tersedia untuk produk sekali pakai (European Commission 2019; Papong et al. 2014). Namun, tingkat daur ulang di negara-negara seringkali tidak cukup tinggi untuk mendaur ulang semua produk sekali pakai. Di Thailand, data tingkat daur ulang untuk kemasan PET berkisar antara 31% hingga 62% pada tahun 2019, sementara hanya 3% dari kemasan PET yang didaur ulang sebagai rPET yang aman untuk makanan/*food grade* (World Bank 2021b). Di sisi lain, plastik *biobased* dan plastik *biodegradable* menyebabkan masalah dalam alur daur ulang, seperti yang disebutkan dalam bab 3.4. Untuk plastik *biodegradable* dan plastik *biobased*, dua tingkat terakhir dari hierarki limbah adalah satu-satunya opsi pengolahan limbah yang dimungkinkan.

4 Kesimpulan dan aspek-aspek kunci dalam implementasi

Berikut ini adalah kesimpulan-kesimpulan utama dari studi yang dilakukan untuk mendukung para pengambil keputusan di Asia Tenggara agar mempertimbangkan aspek-aspek implementasi yang berarti dan berkelanjutan terkait dengan pengemasan:

Mengganti produk-produk sekali pakai dengan produk sekali pakai lainnya yang terbuat dari bahan yang berbeda bukan merupakan sebuah pilihan yang ramah lingkungan

Tidak ada satu produk sekali pakai yang lebih baik dari produk yang lainnya di seluruh kategori dampak lingkungan. Yang ada hanyalah perpindahan beban. Misalnya, botol kaca sekali pakai memiliki kinerja lebih buruk daripada botol plastik sekali pakai di semua kategori dampak lingkungan, kecuali eutrofikasi. Bahkan kantong kertas sekali pakai, yang sering dianggap sebagai sebuah alternatif yang ramah lingkungan, memiliki kinerja lebih buruk dalam beberapa kategori dampak lingkungan dibandingkan dengan kantong plastik sekali pakai. Di sisi lain, kantong kertas menunjukkan potensi dibuang sembarangan sebagai sampah lebih rendah daripada kantong plastik sekali pakai. Penggunaan PET *biobased*, dibandingkan dengan PET berbasis fosil, dapat menyebabkan berkurangnya potensi pemanasan global dan konsumsi bahan bakar fosil yang ditimbulkan oleh botol minuman tetapi dapat meningkatkan konsumsi air dan eutrofikasi. Jadi, meskipun satu produk sekali pakai mungkin terlihat lebih ramah lingkungan daripada yang lain dalam perbandingan satu-lawan-satu, semua produk sekali pakai memiliki beban yang tinggi terkait konsumsi sumber daya.

Produk-produk yang dapat digunakan kembali memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan produk-produk sekali pakai

Menaikkan tingkat penggunaan kembali produk kemasan memiliki potensi yang paling tinggi dalam upaya mengurangi dampak lingkungan. Semakin tinggi tingkat penggunaan kembali, semakin rendah dampak lingkungan yang timbul. Misalnya, karena popularitas kantong belanja yang dapat digunakan kembali dari PP, PE, dan PET meningkat, oleh karena kantong-kantong tersebut terbukti hemat biaya dan, dalam beberapa kasus, hanya perlu digunakan kembali beberapa kali saja untuk bisa mengurangi dampak perubahan iklim dibandingkan dengan kantong plastik sekali pakai. Contoh lain menunjukkan bahwa beralih ke gelas PP yang dapat digunakan kembali mengurangi emisi gas rumah kaca secara signifikan ketika dibandingkan dengan gelas kertas sekali pakai dengan limbah TPA. Gelas PP yang dapat digunakan kembali juga memiliki keunggulan lingkungan dibandingkan dengan gelas keramik dan, oleh karena itu, perlu digunakan kembali lebih jarang agar sebanding dengan gelas sekali pakai. Namun, jika tingkat penggunaan kembali kemasan yang tahan lama dan dapat digunakan kembali rendah, maka kinerjanya tidak lebih baik daripada produk sekali pakai. Tingkat penggunaan kembali dari berbagai negara menunjukkan bahwa saat ini jauh di bawah titik impas yang harus dicapai agar secara ekologis sebanding dengan produk kemasan sekali pakai. Oleh karena itu, tingkat penggunaan kembali yang tinggi perlu dipastikan pencapaiannya dan kerugian pengumpulan dalam proses *reverse logistics* dari kemasan yang dapat digunakan kembali sedapat mungkin diminimalkan. Selain itu, potensi sampah dari gelas yang dapat digunakan kembali lebih rendah daripada gelas sekali pakai karena bobotnya yang lebih tinggi.

Beban lingkungan dari logistik tambahan, transportasi dan siklus pencucian pada produk-produk kemasan yang dapat digunakan kembali tidak memutarbalikkan keunggulan mereka dibandingkan dengan produk-produk sekali pakai

Beralih kepada sistem yang dapat digunakan kembali memiliki dampak yang lebih besar pada kinerja lingkungan wadah minuman dibandingkan dengan jarak yang harus ditempuh ke stasiun pencucian. Ditemukan bahwa wadah yang dapat digunakan kembali memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah daripada wadah sekali pakai, bahkan setelah mencucinya dengan model mesin

pencuci piring lama. Dengan meningkatnya efisiensi energi mesin pencuci piring dan meningkatnya pangsa energi terbarukan dalam bauran listrik, jejak lingkungan dari wadah yang dapat digunakan kembali akan semakin menyusut. Dalam studi-studi siklus hidup yang diteliti, tidak ada preferensi yang jelas apakah mencuci tangan atau membilas mesin pencuci piring lebih disukai secara lingkungan untuk gelas yang dapat digunakan kembali. Secara umum, dapat dikatakan bahwa model mesin pencuci piring yang lebih baru memiliki konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan model lama dan karenanya lebih ramah lingkungan daripada mencuci dengan tangan. Namun, jika mencuci dengan tangan dilakukan dengan menggunakan air dingin, ini bisa jadi memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah daripada mencuci dengan mesin pencuci piring dari generasi yang lebih tua. Namun, beberapa pilihan yang dapat digunakan kembali, seperti cangkir keramik dengan penutup, yang dicuci dengan tangan dan dengan air panas memiliki dampak lingkungan yang lebih tinggi daripada gelas kertas sekali pakai dengan pelapis PE dan penutup PS. Patut dicatat bahwa sebagian besar dampak lingkungan dari sistem yang dapat digunakan kembali adalah pada proses pencucian yang menggunakan listrik.

Mempertimbangkan tantangan dan keterbatasan teknis dalam daur ulang, lebih penting bagi kita untuk mempromosikan penggunaan kembali daripada mendaur ulang

Meningkatkan tingkat penggunaan kembali kemasan memiliki potensi pengurangan dampak lingkungan yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan daur ulang. Misalnya, tingkat penggunaan kembali kantong yang lebih tinggi memiliki pengaruh yang lebih besar pada jejak karbonnya daripada tingkat daur ulangnya. Jika produk kemasan yang dapat digunakan kembali dibuat dari bahan daur ulang pascapenggunaan oleh konsumen, potensi pengurangan dampak lingkungan bahkan menjadi lebih tinggi. Namun, diketahui bahwa tingkat pengumpulan dan daur ulang relatif rendah di banyak negara. Meskipun secara teknis bahan tersebut dapat didaur ulang, tidak berarti bahan tersebut benar-benar dapat didaur ulang dalam praktiknya. Misalnya, gelas kertas seringkali tidak berakhir di aliran limbah daur ulang, melainkan di tong sampah, dan karenanya, kemudian menjadi ditimbun atau dibakar. Contoh lain adalah PS untuk gelas dan tutup sekali pakai. Meskipun PS/XPS secara teknis dapat didaur ulang, PS/XPS terkait dengan biaya tinggi serta potensi dibuang sembarangan sebagai sampah, yang menyebabkan PS/XPS lolos dari alur daur ulang. Selain itu, banyak bahan kantong belanja seperti PP, HDPE, LDPE, atau kertas dapat didaur ulang. Namun, dalam praktiknya, kantong-kantong ini seringkali tidak didaur ulang.

Sejumlah studi Kajian Daur Hidup/LCA tentang plastik dan kemasan sekali pakai tidak tepat dalam mempertimbangkan dampak-dampak komponen yang berbahaya, produksi mikroplastik, perilaku membuang sampah sembarangan, kehilangan keanekaragaman hayati dan perubahan tata guna lahan. Apabila aspek-aspek ini diinternalisasi, maka manfaat produk-produk yang dapat digunakan kembali akan lebih jelas terlihat dibandingkan dengan produk sekali pakai.

Penting untuk mengakui keterbatasan-keterbatasan metodologis studi Kajian Daur Hidup/LCA. Meskipun kajian dapat memberikan gambaran yang baik tentang beberapa dampak lingkungan yang penting, tetapi tidak menunjukkan gambaran yang lengkap. Misalnya, pemodelan bahan ringan untuk produk plastik sekali pakai dapat menghasilkan dampak iklim yang lebih rendah daripada produk yang dapat digunakan kembali yang terbuat dari bahan yang lebih tahan lama (termasuk plastik tahan lama). Tetapi, produk sekali pakai yang ringan lebih rentan menjadi sampah yang dibuang sembarangan. Dikombinasikan dengan zat berbahaya dan generasi mikroplastik, mereka menyebabkan ancaman parah bagi kesehatan manusia, lingkungan laut & darat, serta terhadap keanekaragaman hayati. Produk yang dapat digunakan kembali menyebabkan berkurangnya kebutuhan material dan konsumsi sumber daya secara keseluruhan. Oleh karena itu, mereka mengakibatkan permintaan yang lebih rendah untuk penggunaan lahan dan kegiatan ekstraktif, sehingga menghindari konflik penggunaan lahan dan perkebunan monokultur yang memicu

hilangnya keanekaragaman hayati. Misalnya, meningkatkan tingkat penggunaan kembali untuk botol kaca atau botol PET mengarah pada manfaat lingkungan yang signifikan jika dibandingkan dengan botol kaca sekali pakai atau botol PET

Produk kemasan sekali pakai yang terbuat dari plastik *biobased* tidak menawarkan keunggulan dibandingkan dengan produk kemasan plastik sekali pakai lainnya

Produk kemasan sekali pakai yang terbuat dari plastik *biodegradable* atau *biobased* sama-sama berumur pendek dan menghasilkan jumlah limbah yang sama dengan opsi yang berbasis fosil. Seperti telah disebutkan di atas, yang terjadi hanyalah pergeseran beban ketika kemasan plastik berbasis fosil digantikan oleh kemasan plastik *biobased*. Sementara plastik berbasis fosil konvensional memiliki dampak iklim yang lebih tinggi, plastik *biobased* menunjukkan potensi pengasaman dan eutrofikasi yang lebih tinggi. Selain itu, mereka terkait pula dengan kebutuhan akan lahan, misalnya, karena produksi pertanian bahan baku. Efek ini mengakibatkan terjadinya persaingan lahan dengan produksi pangan dan juga hilangnya kawasan hutan yang menimbulkan risiko terhadap keanekaragaman hayati. Secara umum, plastik dari limbah pertanian, mis. ampas tebu, daun palem, limbah pertanian campuran, hendaknya lebih dipilih dibandingkan dengan bahan *biobased* yang dapat digunakan sebagai makanan

Keunggulan kemasan *biodegradable* dinilai sangat berlebihan dan sangat bergantung pada konteks

Di lingkungan sekitar, mis. komposter rumah, air laut dll, waktu yang dibutuhkan untuk penguraian sangat lama. Dengan demikian, kemasan *biodegradable* tidak menyelesaikan masalah pembuangan sampah secara sembarangan. Dalam kondisi ideal di mana tingkat pengumpulan kemasan *biodegradable* sangat tinggi, mereka masih memerlukan perawatan khusus di pabrik pengomposan industri agar dapat terurai dalam rentang waktu yang masuk akal. Umumnya, mereka membutuhkan lebih banyak waktu untuk terurai daripada sampah organik lainnya, yang mengakibatkan masalah manajemen bagi operator pabrik pengomposan. Selain itu, dekomposisi mereka tidak cocok untuk membuat humus, dan dengan demikian, bertentangan dengan seluruh tujuan pembuatan pupuk organik. Di sisi lain, plastik *biodegradable* menyebabkan masalah pemilahan dalam proses daur ulang plastik berbasis fosil. Sebagian besar pendaur ulang tidak dapat membedakan antara plastik *biobased* dan berbasis fosil, yang berujung pada penurunan kualitas bahan daur ulang. Misalnya, PLA memiliki dampak negatif pada daur ulang PET, yang berujung ke tingkat pemurnian daur ulang PET yang lebih rendah. Terakhir, plastik *biodegradable* mempengaruhi Potensi Pemanasan Global/GWP di tempat pembuangan akhir lebih dari plastik berbasis fosil yang bersifat lembam karena pelepasan metana dalam proses pengomposan. Dalam hal ini, perlu disebutkan bahwa tempat pembuangan akhir di sebagian besar negara berkembang tidak terkendali dan tidak memiliki sistem pemulihan metana.

Pengelolaan fase akhir masa pakai dalam suatu konteks tertentu memiliki suatu pengaruh yang signifikan pada kinerja lingkungan dari sebuah bahan yang digunakan dalam kemasan

Tidak ada satu solusi yang sesuai untuk semua opsi pengelolaan limbah yang paling tepat bagi semua bahan kemasan. Jika pengelolaan limbah suatu negara sebagian besar adalah di tempat pembuangan akhir, dan tingkat penggunaan kembali kemasan yang dapat digunakan kembali rendah, maka kemasan plastik daur ulang dapat menjadi pilihan yang lebih baik bagi iklim. Di negara-negara di mana pengelolaan limbah didominasi oleh insinerasi – dengan atau tanpa pemulihan energi – plastik berbahan dasar kapas, kertas, dan pati dapat menjadi pilihan yang lebih baik untuk iklim. Kemasan makanan sekali pakai berbasis kertas untuk dibawa pulang memiliki jejak karbon yang lebih baik dibandingkan dengan PS dan PLA, ketika pengolahan limbah di TPA dan kertas tidak menunjukkan dekomposisi karena lapisannya. Namun, jika dekomposisi kertas selama

pengolahan limbah adalah yang menjadi faktor pertimbangan, maka alternatif kertas memiliki jejak karbon yang lebih tinggi daripada PS, tetapi masih lebih rendah daripada kemasan PLA. Di sisi lain, skenario pengolahan limbah terbaik untuk botol PLA *biodegradable* adalah pembakaran dengan pemulihan energi, sedangkan untuk botol PET adalah daur ulang. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa daur ulang memiliki keunggulan lingkungan dibandingkan dengan penimbunan. Namun, setelah melihat pilihan-pilihan bahan spesifik yang kompleks, yang perlu dipertimbangkan saat memilih opsi pengelolaan limbah terbaik, maka beralih ke sistem yang dapat digunakan kembali tidak hanya akan lebih praktis, tetapi juga akan menghasilkan manfaat lingkungan yang lebih besar.

Dampak lingkungan dari suatu kemasan bergantung pada sejumlah faktor, seperti berat, ukuran, penggunaan monomaterial, daur ulang, campuran energi dari proses produksi dan pilihan pengolahan limbah. Faktor-faktor ini perlu dianalisis secara kasus per kasus untuk mengevaluasi kinerja lingkungan dari jenis pengemasan dan alternatifnya

Dari sudut pandang ekologi, ada preferensi yang jelas pada pilihan kemasan yang dapat didaur ulang yang terbuat dari monomaterial. Selain itu, sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa mengurangi berat kemasan memiliki pengaruh positif terhadap dampak lingkungannya. Dalam hal pengemasan berdasarkan bahan tunggal/monomaterial, komponen yang mudah didaur ulang dan ketersediaan infrastruktur pengumpulan dan daur ulang yang mendukung di dalam negeri, pengurangan massa dan volume pengemasan yang berlebihan dan sebenarnya tidak diperlukan memiliki potensi tinggi untuk mengurangi dampak lingkungan. Bahkan dalam kasus kemasan berlapis yang terdiri dari berbagai bahan, misalnya, untuk memastikan kebersihan dan keamanan makanan, sistem pengumpulan dan pengolahan yang baik di pabrik insinerasi modern, akan mengurangi dampak iklim. Namun, dalam kasus seperti itu, kompromi antara kemampuan daur ulang bahan yang lebih buruk dan manfaat iklim yang dapat segera dirasakan perlu ditangani. Diketahui bahwa tingkat daur ulang objek yang lebih tinggi akan meningkatkan jumlah plastik daur ulang di pasar, dan jika hal ini diterapkan dalam produk, maka ia dapat mengarah pada manfaat bagi iklim, jika dibandingkan dengan plastik dengan bahan virgin. Perlu juga dicatat pula bahwa pabrik insinerasi modern jarang ditemukan di negara berkembang. Oleh karena itu, kemasan yang bersifat kompleks dan tidak dapat didaur ulang yang memiliki potensi dampak iklim yang rendah, juga dapat menyebabkan emisi berbahaya, misalnya dioksin, jika diolah di pabrik pembakaran sampah yang kurang optimal. Dalam kasus seperti itu, menggunakan kemasan daur ulang yang lebih berat namun lebih baik bisa menjadi alternatif yang lebih baik. Bobot kemasan yang lebih berat, misalnya untuk pilihan-pilihan yang dapat digunakan kembali, mungkin juga memiliki potensi pembuangan sampah dan mikroplastik yang lebih kecil

Selain berat dan bahan, ukuran wadah juga memegang peranan penting. Misalnya, karena rasio yang lebih baik antara kemasan dan minuman, minuman dalam botol yang lebih besar mengonsumsi lebih sedikit bahan per liter minuman. Dengan demikian, botol yang lebih besar menunjukkan kinerja lingkungan yang lebih baik daripada pilihan yang lebih kecil. Jika perbedaan antara dua bahan tidak terlalu besar, mengubah ukuran wadah dapat mengubah urutan kinerja bahan. Konsep serupa untuk mengurangi rasio bahan per minuman adalah mempromosikan botol yang dapat digunakan kembali

Untuk pilihan-pilihan sekali pakai, fase produksi menimbulkan dampak lingkungan terbesar. Kinerja lingkungan dari fase produksi secara langsung terkait dengan campuran energi yang digunakan di wilayah tersebut. Hal yang sama berlaku untuk sistem yang dapat digunakan kembali dalam fase penggunaan saat mencuci wadah. Misalnya, kotak PLA memiliki dampak lingkungan yang lebih tinggi daripada kotak PS ketika listrik dimodelkan menggunakan bauran jaringan listrik Thailand, bauran jaringan batubara Thailand, atau gas Thailand. Dengan bauran listrik yang utamanya adalah dari pembangkit listrik tenaga air, kemasan untuk makanan dibawa pulang berbasis XPS memiliki kinerja lingkungan yang terbaik dibandingkan dengan alternatif sekali pakai lainnya, seperti PP dan aluminium. Dalam kasus demikian, wadah PP yang dapat digunakan kembali perlu digunakan antara

16 dan 39 kali untuk mendapatkan skor yang lebih baik daripada wadah XPS sekali pakai di dalam sebagian besar kategori dampak. Namun, XPS terkait dengan potensi dibuang sebagai sampah secara sembarangan karena bobotnya yang ringan, dan daur ulang XPS bukan merupakan prioritas di sebagian besar negara karena biayanya yang tinggi.

Kemasan untuk makanan hendaknya diberikan perhatian khusus dalam perdebatan terkait solusi-solusi kemasan yang berkelanjutan

Faktor penting yang tidak dipertimbangkan di sebagian besar Kajian Daur Hidup/LCA adalah seberapa baiknya sistem pengemasan melindungi makanan. Hal ini penting karena makanan yang dilindungi dalam sistem pengemasan seringkali memiliki dampak lingkungan yang lebih tinggi daripada sistem pengemasan yang ada di sekitarnya. Oleh karena itu, perlindungan makanan harus menjadi prioritas utama dalam sistem pengemasan pangan. Mencegah timbulnya limbah makanan melalui pengemasan dengan memperpanjang umur penyimpanan memiliki dampak lingkungan yang lebih besar dibandingkan dengan mengurangi dampak lingkungan dari pengemasan. Karena daya daur ulang yang rendah, sistem pengemasan berlapis memiliki kinerja lingkungan yang lebih tinggi daripada solusi yang terbuat dari monomaterial. Namun, jika dilihat dari sudut pandang yang lebih sempit, jika desain kemasan berlapis menyebabkan umur penyimpanan produk makanan lebih lama, maka demi menjaga lingkungan, ini lebih disukai daripada monomaterial dengan umur penyimpanan daging yang lebih pendek. Dengan menggunakan perspektif yang lebih luas dan sistemik pada topik ini, penting untuk mempertanyakan seberapa pentingnya transportasi produk makanan segar jarak jauh dan menyimpannya untuk umur penyimpanan yang sangat lama. Sebaliknya, pendekatan yang bertujuan untuk mengembangkan rantai nilai makanan musiman dan regional untuk produk segar yang sebagian besar berbasis sayuran dengan jarak yang kecil, persyaratan penyimpanan yang lebih sedikit, dan konsumsi segera akan menjadi sesuatu yang penting. Beberapa studi Kajian Daur Hidup/LCA telah dengan jelas menunjukkan manfaat lingkungan dari rantai makanan musiman dan regional dengan porsi pangsa sayuran yang besar.

Daftar Referensi

- Accorsi, R.; Cascini, A.; Cholette, S.; Manzini, R.; Mora, C. (2014): Economic and environmental assessment of reusable plastic containers: A food catering supply chain case study. In: *International Journal of Production Economics* 152, pp. 88–101. DOI: 10.1016/j.ijpe.2013.12.014.
- Almeida, J.; Pellec, M. L.; Bengtsson, J. (2018): Reusable coffee cups life cycle assessment and benchmark.
- Amienyo, D.; Gujba, H.; Stichnothe, H.; Azapagic, A. (2013): Life cycle environmental impacts of carbonated soft drinks. In: *Int J Life Cycle Assess* 18 (1), pp. 77–92. DOI: 10.1007/s11367-012-0459-y.
- Barlow, C. Y.; Morgan, D. C. (2013): Polymer film packaging for food: An environmental assessment. In: *Resources, Conservation and Recycling* 78, pp. 74–80. DOI: 10.1016/j.resconrec.2013.07.003.
- Baumann, C.; Behrisch, J.; Brennan, T.; Downes, J.; Giurco, D.; Moy, C. (2018): Feasibility of reusable food containers for takeaway food in the Sydney CBD, [Revised], University of Technology. Sydney, Australia., 2018. Online available at https://www.uts.edu.au/sites/default/files/2019-09/ISF_Food%20container%20final%20report%202018.pdf, last accessed on 24 Aug 2021.
- Belley, C. (2011): Comparative Life Cycle Assessment report of Food Packaging products. Québec. Online available at http://epspackaging.org/images/stories/comparative_lca_report_assessment_report_of_food_packaging.pdf, last accessed on 24 Aug 2021.
- Benavides; Dunn; Han; Biddy; Markham (2018): Exploring Comparative Energy and Environmental Benefits of Virgin, Recycled, and Bio-Derived PET Bottles. In: *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. DOI: 10.1021/acssuschemeng.8b00750.
- Benetto, E.; Jury, C.; Igos, E.; Carton, J.; Hild, P.; Vergne, C.; Di Martino, J. (2015): Using atmospheric plasma to design multilayer film from polylactic acid and thermoplastic starch: a screening Life Cycle Assessment. In: *Journal of Cleaner Production* 87, pp. 953–960. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.056.
- Brizga, J.; Hubacek, K.; Feng K. (2020): The Unintended Side Effects of Bioplastics: Carbon, Land, and Water Footprints. In: *One Earth* 3 (1), pp. 45–53. DOI: 10.1016/j.oneear.2020.06.016.
- BSDA (2021): Packaging. British Soft Drinks Association (ed.). Online available at <https://www.britishsoftdrinks.com/Soft-Drinks/Packaging>, last updated on 18 Aug 2021, last accessed on 18 Aug 2021.
- Burgstaller, M.; Potrykus, A.; Weißenbacher, J.; Kabasci, S.; Merrettig-Bruns, U.; Sayder, B. (2018): Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe. Umweltbundesamt (ed.), 2018. Online available at www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer, last accessed on 3 Aug 2021.
- Changwichan, K.; Gheewala, S. H. (2020): Choice of materials for takeaway beverage cups towards a circular economy. In: *Sustainable Production and Consumption* 22, pp. 34–44. DOI: 10.1016/j.spc.2020.02.004.
- Chen, L.; Pelton, R. E.; Smith, T. M. (2016): Comparative life cycle assessment of fossil and bio-based polyethylene terephthalate (PET) bottles. In: *Journal of Cleaner Production* 137, pp. 667–676. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.094.


- Civancik-Uslu, D.; Puig, R.; Hauschild, M.; Fullana-i-Palmer, P. (2019): Life cycle assessment of carrier bags and development of a littering indicator. In: *Science of The Total Environment* 685, pp. 621–630. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.372.
- CupClub (2018): CupClub Sustainability Report 2018 A comparative Life Cycle Assessment (LCA) of 12oz CupClub cup and lid., 2018. Online available at <https://drive.google.com/file/d/1C5Qzx31HQnVPg-EyglzR3PRDteQH5SfK/view>.
- Dettore, C. (2009): Comparative Life-Cycle Assessment of Bottled Versus Tap Water Systems, Comparative Life-Cycle Assessment of Bottled Versus Tap Water Systems, supervised by Keoleian, Gregory and Bulkley, Jonathan, 2009. Online available at <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/64482>.
- Detzel, A.; Kauertz, B.; Grahl, B.; Heinisch, J. (2016): Prüfung und Aktualisierung der Ökobilanzen für Getränkeverpackungen, commissioned by German EPA.
- Diana Ita-Nagy; Ian Vázquez-Rowe; Ramzy Kahhat; Gary Chinga-Carrasco; Isabel Quispe (2020): Reviewing environmental life cycle impacts of biobased polymers: current trends and methodological challenges. In: *Int J Life Cycle Assess* 25 (11), pp. 2169–2189. DOI: 10.1007/s11367-020-01829-2.
- Dilkes-Hoffman, L. S.; Lane, J. L.; Grant, T.; Pratt, S.; Lant, P. A.; Laycock, B. (2018): Environmental impact of biodegradable food packaging when considering food waste. In: *Journal of Cleaner Production* 180, pp. 325–334. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.01.169.
- DUH (2018a): Bioplastik - Mythen und Fakten, Bioplastics - Myths and facts. DUH (ed.), 2018. Online available at https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Kreislaufwirtschaft/Verpackungen/180220_DUH_Infopapier_Bioplastik_de_eng.pdf, last accessed on 23.09.21.
- DUH (2020): Mehrweg-und Einweggetränkeverpackungen, Fakten zu Ökobilanzergebnissen. Deutsche Umwelthilfe (ed.), 2020. Online available at https://www.duh.de/fileadmin/user_upload/download/Projektinformation/Mehrwegschutz/Mehrweg_ist_Klimaschutz/Faktencheck_%C3%96kobilanzen_von_Getr%C3%A4nkeverpackungen.pdf, last accessed on 3 Aug 2021.
- DUH (2021): Deutsche Umwelthilfe e.V.: Die wichtigsten Tüten-Typen auf einen Blick. Online available at <https://www.duh.de/kommtrichtindietuete/tueten-typen/>, last updated on 17 Aug 2021, last accessed on 17 Aug 2021.
- DUH (ed.) (2018b): Bioplastics, Myths and facts, 2018.
- Edwards, C.; Fry, J. (2011): Life cycle assessment of supermarket carrier bags, Environment Agency. Bristol. Online available at <http://mistergui.com/downloads/life%20cycle%20assessment%20of%20supermarket%20carrier%20bags.doc>.
- EEA (ed.) (2020): Biodegradable and compostable plastics — challenges and opportunities, 2020. Online available at <https://www.eea.europa.eu/publications/biodegradable-and-compostable-plastics/download>, last accessed on 13 Jan 2021.
- European Commission (2019): Environmental impact assessments of innovative bio-based product. Task 1 of “Study on Support to R&I Policy in the Area of Bio-based Products and Services “ - Publications Office of the EU. Online available at <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/15bb40e3-3979-11e9-8d04-01aa75ed71a1>, last updated on 11 Aug 2021, last accessed on 11 Aug 2021.
- European Commission (2020): Waste prevention and management - Environment - European Commission. Online available at https://ec.europa.eu/environment/green-growth/waste-prevention-and-management/index_en.htm, last updated on 14 Sep 2020, last accessed on 25 Aug 2021.

- European Commission (ed.) (2018): Environmental impact assessments of innovative bio-based products – Summary of methodology and conclusions, Task 1 of “Study on Support to R&I Policy in the Area of Bio-based Products and Services”, 2018, last accessed on 13 Jul 2021.
- Foteinis, S. (2020): How small daily choices play a huge role in climate change: The disposable paper cup environmental bane. In: *Journal of Cleaner Production* 255, p. 120294. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120294.
- Franklin Associates (2011): Life cycle inventory of foam polystyrene, Paper-based, and PLA foodservice products. Online available at https://www.plasticfoodservicefacts.com/wp-content/uploads/2017/12/Peer_Reviewed_Foodservice_LCA_Study-2011.pdf, last accessed on 24 Aug 2021.
- GA Circular (2019): Full Circle - Final Report.pdf, Accelerating the Circular Economy for Post-Consumer PET Bottles in Southeast Asia. GA Circular (ed.). Online available at <https://drive.google.com/file/d/1Lwe136tvAdad7ph6b4hHnL3C2nJ9rgmm/view>, last updated on 23 Sep 2021, last accessed on 23 Sep 2021.
- Gallego-Schmid, A.; Mendoza, J. M. F.; Azapagic, A. (2018): Improving the environmental sustainability of reusable food containers in Europe. In: *Science of The Total Environment* 628-629, pp. 979–989. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.128.
- Gallego-Schmid, A.; Mendoza, J. M. F.; Azapagic, A. (2019): Environmental impacts of takeaway food containers. In: *Journal of Cleaner Production* 211, pp. 417–427. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.220.
- Garcia-Suarez, T.; Kulak, M.; King, H.; Chatterton, J.; Gupta, A.; Saksena, S. (2019): Life Cycle Assessment of Three Safe Drinking-Water Options in India: Boiled Water, Bottled Water, and Water Purified with a Domestic Reverse-Osmosis Device. In: *Sustainability* 11 (22), p. 6233. DOI: 10.3390/su11226233.
- Geueke, B.; Groh, K.; Muncke, J. (2018): Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. *Journal of Cleaner Production*, 193, 491–505. DOI: 10.1016/J.JCLEPRO.2018.05.005.
- Groh, K. J.; Backhaus, T.; Carney-Almroth, B.; Geueke, B.; Inostroza, P. A.; Lennquist, A.; Leslie, H. A.; Maffini, M.; Slunge, D.; Trasande, L.; Warhurst, A. M.; Muncke, J. (2019): Overview of known plastic packaging-associated chemicals and their hazards. In: *Science of the Total Environment* 651, pp. 3253–3268. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.015.
- Hahladakis, J. N.; Velis, C. A.; Weber, R.; Iacovidou, E.; Purnell, P. (2018): An overview of chemical additives present in plastics: Migration, release, fate and environmental impact during their use, disposal and recycling. In: *Journal of Hazardous Materials* 344, pp. 179–199. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2017.10.014.
- Heller, M. C.; Selke, S.; Keoleian, G. A. (2019): Mapping the influence of food waste in food packaging environmental performance assessments, 2019.
- Ingrao, C.; Lo Giudice, A.; Bacenetti, J.; Mousavi Khaneghah, A.; Sant'Ana, A. S.; Rana, R.; Siracusa, V. (2015): Foamy polystyrene trays for fresh-meat packaging: Life-cycle inventory data collection and environmental impact assessment. In: *Food research international (Ottawa, Ont.)* 76 (Pt 3), pp. 418–426. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.07.028.
- Johansson, M.; Löfgrenand, C.; Sturges, M. (2019): Comparing the environmental profile of innovative FibreForm® food trays against existing plastic packaging solutions, RISE Bioeconomy ReportNo: C20, 2019. Online available at <https://www.billerudkorsnas.com/globalassets/billerudkorsnas/sustainability/lca-and-epd/lca-tray-draft-report-final---24-09-2019.pdf>, last accessed on 24 Aug 2021.
- Kaiser, K.; Schmid, M.; Schlummer, M. (2018): Recycling of Polymer-Based Multilayer Packaging: A Review. In: *Recycling* 3 (1), p. 1. DOI: 10.3390/recycling3010001.

- Khoo, H. H.; Tan, R. B. H.; Chng, K. W. L. (2010): Environmental impacts of conventional plastic and bio-based carrier bags. In: *Int J Life Cycle Assess* 15 (3), pp. 284–293. DOI: 10.1007/s11367-010-0162-9.
- Kimmel, R. (2014): Life cycle assessment of grocery bags in common use in the United States, *Environmental Studies*. 6. Online available at http://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1006&context=cudp_environment.
- Krüger; Theis; Detzel; Kunze (2010): Ökobilanzielle Untersuchung verschiedener Verpackungssysteme für Bier, 2010. Online available at <https://docplayer.org/53789233-Oekobilanzielle-untersuchung-verschiedener-verpackungssysteme-fuer-bier-endbericht-ifeu-institut-fuer-energieund-umweltforschung-heidelberg-gmbh.html>, last accessed on 23 Sep 2021.
- Kunitzsch, C. (2018): Bioplastik in der Kompostierung, Erbebnisbericht - Umfrage. DUH (ed.), 2018.
- Lacovidou, E.; Siew, K. (2020): Malaysia Versus Waste, Brunel University London. Online available at <https://www.brunel.ac.uk/news-and-events/news/articles/Malaysia-Versus-Waste>, last updated on 25 Aug 2021, last accessed on 25 Aug 2021.
- Li Yi; Subramanian Senthilkannan Muthu; Hu Junyan; Pik-Yin Mok; Chen Weibang (2010): Eco-Impact of Shopping Bags: Consumer Attitude and Governmental Policies. In: *Journal of Sustainable Development* 3 (2). DOI: 10.5539/jsd.v3n2p71.
- Madival, S.; Auras, R.; Singh, S. P.; Narayan, R. (2009): Assessment of the environmental profile of PLA, PET and PS clamshell containers using LCA methodology. In: *Journal of Cleaner Production* 17 (13), pp. 1183–1194. DOI: 10.1016/j.jclepro.2009.03.015.
- Maga, D.; Hiebel, M.; Aryan, V. (2019): A Comparative Life Cycle Assessment of Meat Trays Made of Various Packaging Materials. In: *Sustainability* 11 (19), p. 5324. DOI: 10.3390/su11195324.
- Markwardt, S.; Wellenreuther, F.; Drescher, A.; Harth, J.; Busch, M. (2017): Comparative Life Cycle Assessment of Tetra Pak® carton packages and alternative packaging systems for liquid food on the Nordic market. ifeu (ed.), 2017.
- Martin, S.; Bunsen, J.; Ciroth, A. (2018): Case Study Ceramic cup vs. Paper cup, 2018. Online available at https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2018/09/comparative_assessment_openLCA_coffee_mugs.pdf, last accessed on 23 Aug 2021.
- Mattila, T.; Kujanpää, M.; Dahlbo, H.; Risto Soukka; Tuuli Myllymaa (2011): Uncertainty and Sensitivity in the Carbon Footprint of Shopping Bags. In: *Journal of Industrial Ecology* 15 (2), pp. 217–227. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2010.00326.x.
- Muthu, S. S.; Li, Y.; Hu, J. Y.; Mok, P. Y. (2011): Carbon footprint of shopping (grocery) bags in China, Hong Kong and India. In: *Atmospheric Environment* 45 (2), pp. 469–475. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2010.09.054.
- Notarnicola, B.; Tassielli, G.; Renzulli, P. A.; Castellani, V.; Sala, S. (2017): Environmental impacts of food consumption in Europe. In: *Journal of Cleaner Production* 140, pp. 753–765. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.06.080.
- Oakes, K. (5 Nov 2019): Why biodegradables won't solve the plastic crisis. In: *BBC*, 5 Nov 2019. Online available at <https://www.bbc.com/future/article/20191030-why-biodegradables-wont-solve-the-plastic-crisis>, last accessed on 5 Jul 2021.
- Papong, S.; Malakul, P.; Trungkavashirakun, R.; Wenunun, P.; Chom-in, T.; Nithitanakul, M.; Sarobol, E. (2014): Comparative assessment of the environmental profile of PLA and PET drinking water bottles from a life cycle perspective. In: *Journal of Cleaner Production* 65, pp. 539–550. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.09.030.

- PathWater (2019): Sustainable Bottled Water, the PATHWATER Life Cycle Assessment. In: *PathWater*. 2019, 2019. Online available at <https://drinkpathwater.com/blogs/news/sustainable-bottled-water-the-pathwater-life-cycle-assessment>, last accessed on 23 Aug 2021.
- Pauer, E.; Tacker, M.; Gabriel, V.; Krauter, V. (2020): Sustainability of flexible multilayer packaging: Environmental impacts and recyclability of packaging for bacon in block. In: *Cleaner Environmental Systems* 1. DOI: 10.1016/j.cesys.2020.100001.
- Piemonte, V.; Gironi, F. (2011): Land-use change emissions: How green are the bioplastics? In: *Environmental Progress & Sustainable Energy* 30, pp. 685–691. DOI: 10.1002/ep.10518.
- Pilz, H. (2017): Vermeidung von Lebensmittelabfällen durch Verpackung: Update 2017. denkstatt (ed.). Online available at <https://denkstatt.eu/publications/?lang=>, last updated on 2017, last accessed on 15 Jul 2021.
- Plastic Oceans (2021): The Facts. Online available at <https://plasticoceans.org/the-facts/>, last updated on 21 Jul 2021, last accessed on 11 Aug 2021.
- Schlecht, S.; Wellenreuther, F.; Busch, M.; Markwardt, S. (2019): Comparative Life Cycle Assessment of Tetra Pak® carton packages and alternative packaging systems for beverages and liquid dairy products on the Swiss and Austrian market. ifeu (ed.). Heidelberg, 2019.
- Suwanmanee, U.; Varabuntoonvit, V.; Chaiwutthinan, P.; Tajan, M.; Mungcharoen, T.; Leejarkpai, T. (2013): Life cycle assessment of single use thermoform boxes made from polystyrene (PS), polylactic acid, (PLA), and PLA/starch: cradle to consumer gate. In: *Int J Life Cycle Assess* 18 (2), pp. 401–417. DOI: 10.1007/s11367-012-0479-7.
- UBA (2013): Auswirkungen von Meeresmüll. Umweltbundesamt (ed.). Online available at https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/auswirkungen_von_meeresmuell.pdf, last accessed on 24 Aug 2021.
- Umweltbundesamt (2021): Biobasierte und biologisch abbaubare Einwegverpackungen? Keine Lösung für Verpackungsmüll! Online available at <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/biobasierte-biologisch-abbaubare-einwegverpackungen>, last updated on 17 Aug 2021, last accessed on 17 Aug 2021.
- UNEP (2020a): Single-use plastic bags and their alternatives, Recommendations from Life Cycle Assessments. In collaboration with United Nations Environment Programme, 2020.
- UNEP (2020b): Single-use plastic take-away food packaging and its alternatives. In collaboration with United Nations Environment Programme, UNEP. Online available at <https://www.lifecycleinitiative.org/library/single-use-plastic-take-away-food-packaging-and-its-alternatives/>, last updated on 24 Aug 2021, last accessed on 24 Aug 2021.
- UNEP (2021): Single-use beverage cups and their alternatives. In collaboration with United Nations Environment Programme, 2021.
- van der Harst, E.; Potting, J. (2013): A critical comparison of ten disposable cup LCAs. In: *Environmental Impact Assessment Review* 43, pp. 86–96. DOI: 10.1016/j.eiar.2013.06.006.
- van der Harst, E.; Potting, J.; Kroeze, C. (2014): Multiple data sets and modelling choices in a comparative LCA of disposable beverage cups. In: *Science of The Total Environment* 494-495, pp. 129–143. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.06.084.
- Vercalsteren; Spirinckx, C.; Geerken, T. (2010): Life cycle assessment and eco-efficiency analysis of drinking cups used at public events. In: *Int J Life Cycle Assess* 15 (2), pp. 221–230. DOI: 10.1007/s11367-009-0143-z.
- VTT (2019): Taking a closer look at the carbon footprint of paper cups for coffee. Online available at <https://www.huhtamaki.com/globalassets/global/highlights/responsibility/taking-a-closer-look-at-paper-cups-for-coffee.pdf>, last updated on 23 Aug 2021, last accessed on 23 Aug 2021.

- Wikström, F.; Williams, H.; Venkatesh, G. (2016): The influence of packaging attributes on recycling and food waste behaviour – An environmental comparison of two packaging alternatives. In: *Journal of Cleaner Production* 137, pp. 895–902. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.07.097.
- Woods, L.; Bakshi, B. R. (2014): Reusable vs. disposable cups revisited: guidance in life cycle comparisons addressing scenario, model, and parameter uncertainties for the US consumer. In: *Int J Life Cycle Assess* 19 (4), pp. 931–940. DOI: 10.1007/s11367-013-0697-7.
- World Bank (2021a): Market Study for Malaysia, Plastics Circularity Opportunities and Barriers. Marine Plastics Series, East Asia and Pacific Regio. Online available at <https://www.worldbank.org/en/country/malaysia/publication/market-study-for-malaysia-plastics-circularity-opportunities-and-barriers>, last updated on 3 Aug 2021, last accessed on 3 Aug 2021.
- World Bank (2021b): Market Study for Thailand: Plastics Circularity Opportunities and Barriers, Marine Plastics Series, East Asia and Pacific Regio. Online available at <https://www.worldbank.org/en/country/thailand/publication/market-study-for-thailand-plastics-circularity-opportunities-and-barriers>, last updated on 2 Aug 2021, last accessed on 3 Aug 2021.
- Zimmermann, L.; Dombrowski, A.; Völker, C.; Wagner, M. (2020): Are bioplastics and plant-based materials safer than conventional plastics? In vitro toxicity and chemical composition. In: *Environment international* 145, p. 106066. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106066.



Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Registered offices
Bonn and Eschborn

Friedrich-Ebert-Allee 32 + 36
53113 Bonn, Germany
T +49 228 44 60-0
F +49 228 44 60-17 66

Dag-Hammarskjöld-Weg 1 – 5
65760 Eschborn, Germany
T +49 61 96 79-0
F +49 61 96 79-11 15

I www.giz.de