



Mengapa plastik *biobased* dan *biodegradable* bukan bagian dari solusi untuk mengurangi sampah plastik?

Periksa fakta!



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



Oko-Institut e.V.
Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology



Publikasi oleh:

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Projek Global

“Support of 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:

Clara Löw
Siddharth Prakash
Kevin Stuber-Rousselle

Tata letak:

kippconcept gmbh, Bonn

Kepemilikan foto:

Title: MoirAM / AdobeStock

URL links:

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, November 2021

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 Gambar	4
Daftar Tabel	4
Daftar Singkatan	5
Ringkasan tujuh fakta terpenting dan penjelasan terkait! (Ringkasan Eksekutif)	7
1 Latar Belakang	9
2 Memahami berbagai jenis bioplastik	10
2.1 Bahan <i>biobased</i>	11
2.2 Plastik <i>biodegradable</i>	13
3 Standar & Sertifikasi	16
4 Evaluasi nilai tambah dari plastik <i>biobased</i> dan <i>biodegradable</i>	20
4.1 Perspektif lingkungan	20
4.1.1 Dampak lingkungan dari bahan <i>biobased</i>	20
4.1.2 Dampak lingkungan dari akhir masa pakai bahan yang dapat terurai	27
4.2 Perspektif konsumen dan kesehatan	28
4.3 Perspektif pengelolaan akhir masa pakai	28
5 Situasi dan perkembangan spesifik negara	32
5.1 Malaysia	32
5.2 Thailand	34
5.3 Uni Eropa	35
6 Kesimpulan dan aspek implementasi utama	38
Daftar Referensi	40
Lampiran 44	

Daftar Gambar

Gambar 2-1:	Berbagai kategori plastik <i>biodegradable</i> dan <i>biobased</i> .	10
Gambar 2-2:	Gambaran Umum: Dari tumbuhan menjadi polimer	11
Gambar 2-3:	Proses biodegradasi polimer	14
Gambar 3-1:	Skema sertifikasi untuk produk plastik <i>biobased</i>	17
Gambar 3-2:	Sertifikasi Biodegradabilitas	19
Gambar 4-1:	Perbandingan plastik menurut Potensi Pemanasan Global (A), Tata Guna Lahan (B), dan Penggunaan Air (C) untuk produksinya	24
Gambar 4-2:	Bagan akhir masa pakai berbagai jenis bahan (kemungkinan lebih tinggi untuk panah yang lebih tebal)	31
Gambar 5-1:	Volume dan Porsi Penggunaan Polimer Plastik di Uni Eropa	35
Gambar 6-1:	Lima Hal yang Perlu Dilakukan terkait plastik <i>biobased</i> dan <i>biodegradable</i>	39
Gambar A-2:	Daftar Periksa Klaim ECOS untuk penilaian Klaim Hijau pada Produk untuk kategori produk yang relevan	46

Daftar Tabel

Tabel 2.1:	Membedakan plastik <i>biodegradable</i> dan <i>non-biodegradable</i> berdasarkan asal bahan baku	13
Tabel 2.2:	Waktu degradasi polimer <i>biodegradable</i>	15
Tabel 3.1:	Perbandingan persyaratan standar untuk berbagai jenis degradasi	18
Tabel 4.1:	<i>Hotspot</i> dampak lingkungan dan perbandingan polimer <i>biobased</i> dan polimer berbasis bahan bakar fosil untuk enam studi kasus	25
Tabel 5.1:	<i>Status quo</i> untuk plastik <i>biobased</i> di Malaysia	32
Tabel 5.2:	Persyaratan hukum untuk produk plastik <i>biodegradable</i> di berbagai Negara Anggota EU	36

Daftar Singkatan

1,4-BDO	1,4-butanediol
ASEAN	Association of South East Asian Nations (Perhimpunan Bangsa-Bangsa Asia Tenggara)
ASTM	Standar Australia
Bio-PE	Polietilena <i>biobased</i>
CAP SEA	Collaborative Actions for Single-Use Plastic Prevention in Southeast Asia (Aksi Kolaborasi untuk Pencegahan Plastik Sekali Pakai di Asia Tenggara)
EN	European Norm (Norma Eropa)
EPS	Expanded Polyesterene
EPU	Economic Planning Unit (Malaysia) (Unit Perencanaan Ekonomi Malaysia)
HDPE	Polietilena densitas tinggi
ID	Indonesia
ISCC	International Sustainability and Carbon Certification (Sertifikasi Karbon dan Keberlanjutan Internasional)
ISO	International Organisation for Standardisation (Organisasi Internasional untuk Standardisasi)
LCA	Life Cycle Assessment (Penilaian Siklus Hidup)
LDPE	Polietilena densitas rendah
LUC	Land Use Change (Pengalihan Fungsi Lahan)
KLHK	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Indonesia)
MY	Malaysia
PA	Poliamida
PBAT	Polibutilena adipat tereftalat
PBS	Polibutilen suksinat
PCD	Pollution Control Department (Thailand) (Departemen Pengendalian Polusi Thailand)
PCL	Polikaprolakton
PE	Polietilena
PET / rPET	Polietilena tereftalat (daur ulang)
PFAS	Zat alkil polifluorinas
PHA	Polihidroksi alkanoat
PLA	Asam polilaktat
PP	Polipropilena
PPWD	Packaging and Packaging Waste Directive (Petunjuk Kemasan dan Sampah Kemasan) (Directive 94/62/EC 1994)
PS	Polistirena
PUR	Poliuretana
PVA	Polivinil alkohol
PVC	Polivinil klorida
PVDC	Polivinilidena klorida
RSB	Roundtable on Sustainable Biomaterials (Meja Bundar tentang Biomaterial Berkelaanjutan)
SA	Asam suksinat
SAN	Sustainable Agriculture Network of the Rainforest Alliance Certification System (Jaringan Pertanian Berkelaanjutan dari Sistem Sertifikasi Rainforest Alliance)
SIRIM	Standard and Industrial Research Institute of Malaysia (Institut Penelitian Standar dan Industri Malaysia di bawah Kementerian Perdagangan dan Industri Internasional/ MITI)
SUP	Plastik sekali pakai
SUPD	Petunjuk Plastik Sekali Pakai (Directive (EU) 2019/904 2019)

TH	Thailand
TPS	Pati termoplastik
TISI	Thai Industrial Standards Institute (Institut Standar Industri Thailand)
WFD	Waste Framework Directive (Petunjuk Kerangka Kerja Sampah) (Directive 2008/98/EC 2008)

Ringkasan tujuh fakta terpenting dan penjelasan terkait! (Ringkasan Eksekutif)

Fakta	Penjelasan singkat
1 Pada plastik, " <i>biobased</i> " berarti "terbuat dari sumber alami" atau "terbuat dari bahan baku alami". Bahan-bahan tersebut adalah hasil pertanian seperti jagung, tapioka, bambu, tebu, kentang, atau daun palem; atau limbah pertanian. Akan tetapi, ini tidak selalu berarti bahwa 100% bahan baku dapat diperbarui.	<p>Sebaliknya, plastik konvensional berbasis bahan baku fosil yang terbuat dari minyak mentah. Kombinasi bahan baku hidup dan bahan baku fosil lazim digunakan dan kombinasi tersebut juga disebut "<i>biobased</i>", yang mungkin tidak dapat dikomposkan atau didaur ulang.</p> <p>Berbagai jenis plastik <i>biobased</i> cocok untuk membuat produk konsumen yang berbeda, misalnya wadah makanan atau kantong sampah organik.</p> <p>Baca selengkapnya di bab 2.1</p>
2 Berdasarkan penilaian siklus hidup, substitusi plastik berbasis fosil dengan plastik <i>biobased</i> tidak menghasilkan perbaikan yang signifikan bagi lingkungan, tetapi hanya menggeser dampaknya. Plastik <i>biobased</i> memiliki dampak yang lebih rendah terhadap perubahan iklim tetapi potensi eutrofikasi yang lebih tinggi. Selain itu, plastik <i>biobased</i> mengonsumsi lahan yang lebih luas. Plastik <i>biobased</i> hanya direkomendasikan jika dibuat dari limbah pertanian.	<p>Metodologi penilaian LCA secara sistematis kurang memperhitungkan dan mengesampingkan dampak pada keanekaragaman hayati (pengalihan fungsi lahan, monokultur) serta masalah terkait pelindian zat berbahaya, sampah yang dibuang sembarangan, dan mikroplastik yang tidak dapat dinilai melalui LCA.</p> <p>Rekomendasi untuk memilih sumber daya terbarukan berbasis limbah pertanian didasarkan pada pemahaman bahwa produk pertanian yang dapat dimakan harus berfungsi sebagai sumber nutrisi terlebih dahulu.</p> <p>Baca selengkapnya di bab 4.1.1</p>
3 Plastik <i>biodegradable</i> dibagi menjadi dua jenis menurut daya urainya: plastik yang dapat dikomposkan dalam skala industri dan skala rumah tangga/ lingkungan sekitar. Pengomposan skala lingkungan tidak dapat sepenuhnya menguraikan produk konsumen dan kemasan <i>biodegradable</i> , dan prosesnya pun tidak secepat dalam pengomposan skala industri.	<p>Kondisi pengomposan dalam instalasi pengolahan sampah organik dapat diatur secara teknis (pasokan udara, jumlah dan jenis populasi mikrobiotik, pH, dll). Kondisi di alam tidak stabil di instalasi pengolahan dan berbeda tergantung pada jenis tanah, sistem air tawar atau air laut. Jumlah plastik <i>biodegradable</i> yang terurai dalam kondisi lingkungan alam yang berbeda sangat terbatas. Misalnya, film PHA terurai ~70% dalam 660 hari di tanah, sedangkan PCL terurai lebih dari 90% dalam 30 hari di air tawar. Sementara itu, penguraian mekanis juga terjadi, misalnya di pasir atau oleh garam (di air laut), yang menyebabkan fragmentasi sehingga terbentuklah mikroplastik.</p> <p>Baca selengkapnya di bab 2.2</p>
4 Penggunaan bahan baku biomassa tidak berarti bahwa produk jadi akan <i>biodegradable</i> (dapat terurai oleh mikroorganisme), bahkan jika bahan bakunya <i>biodegradable</i> .	<p>Biodegradabilitas atau daya urai ini tidak tergantung pada bahan baku, tetapi murni ditentukan oleh struktur kimia polimer. Hanya beberapa ikatan kimia yang dapat dipecah secara biologis, baik secara enzimatis maupun mikrobiologis. Ada contoh plastik <i>biobased</i> yang <i>non-biodegradable</i>, dan plastik <i>biodegradable</i> berbasis fosil.</p> <p>Baca selengkapnya di bab 2.2</p>
5 Ada standar yang tersedia untuk biodegradabilitas plastik skala industri serta sertifikasi pihak ketiga untuk degradasi di beberapa jenis lingkungan sekitar. Ada juga standar	<p>Standar adalah instrumen yang penting, tetapi jangan dianggap sebagai satu-satunya jawaban atas masalah terkait bioplastik: Misalnya, sulit untuk membedakan sertifikasi</p>

Fakta	Penjelasan singkat
untuk porsi, asal, dan pengembangan biomassa yang berkelanjutan dalam biopolimer.	pihak ketiga dari klaim atau pernyataan oleh perusahaan tertentu tentang biodegradabilitas. Baca selengkapnya di bab 3
6 EU telah mengakui pentingnya peraturan wajib tentang plastik <i>biobased</i> dan <i>biodegradable</i> dan sedang menyusun undang-undang terkait.	Komisi Eropa mengumumkan kerangka kebijakan khusus tentang pengadaan, pelabelan, dan penggunaan plastik <i>biobased</i> , serta penggunaan plastik <i>biodegradable</i> dan plastik yang dapat dikomposkan. Proposal ini diperkirakan akan diterbitkan pada tahun 2021. Baca selengkapnya di bab 5.3.
7 Plastik <i>biobased</i> dan <i>biodegradable</i> sering dipromosikan sebagai solusi untuk masalah terkait jumlah sampah plastik, termasuk di Asia Tenggara. Akan tetapi saat ini, solusi tersebut tidak mengurangi volume sampah yang ada maupun masalah terkait pengelolaan sampah.	Secara teori, daya urai lebih baik daripada daur ulang, dan daur ulang lebih baik daripada pembuangan. Dalam praktiknya, diperlukan pemilahan dan pengumpulan plastik <i>biodegradable</i> dan plastik yang tidak dapat terurai secara terpisah. Kerumitan proses pemilahan akan bertambah mengingat bahwa beberapa plastik <i>biobased</i> sulit diolah di fasilitas daur ulang untuk plastik konvensional. Selain itu, beberapa plastik <i>biobased</i> dan plastik konvensional tertentu yang memiliki struktur kimia yang sama dapat didaur ulang bersama. Selanjutnya, bahan <i>biodegradable</i> harus diangkut ke fasilitas pengomposan skala industri, yang kemudian perlu menyesuaikan proses pengomposannya karena plastik <i>biodegradable</i> membutuhkan waktu pengomposan yang lebih lama daripada sampah organik. Prasyarat lainnya adalah bahan tersebut harus memenuhi persyaratan pengomposan skala industri sesuai dengan salah satu standar biodegradabilitas. Secara umum, Malaysia kekurangan pabrik pengomposan skala industri. Di Thailand, satu-satunya pabrik pengomposan skala industri terletak di Bangkok. Sebagian besar negara di dunia tidak memiliki skema pemisahan yang memadai untuk sampah rumah tangga basah (organik) dan kering. Baca selengkapnya di bab 4.1.2 dan bab 5.

Lima hal paling penting yang harus dilakukan:

1. Dalam proyek pengelolaan sampah, prioritaskan pencegahan sampah daripada promosi plastik *biodegradable* dan *biobased*, misalnya dengan penggunaan kembali. Plastik *biodegradable* dan *biobased* tidak boleh dianggap sebagai solusi untuk masalah polusi plastik.
2. Gunakan kantong sampah makanan *biodegradable* bersertifikat untuk memisahkan sampah basah dan kering. Misalnya, kantong sampah makanan dengan ekolabel Tipe-I atau skema pihak ketiga lain yang andal dan independen. Tidak direkomendasikan untuk menggunakan plastik *biodegradable* untuk tujuan lain. Jadi, jangan memberikan insentif untuk penggunaan plastik *biobased* dan *biodegradable*.
3. Hanya gunakan limbah pertanian dan produk sampingan sebagai bahan baku plastik *biobased*.
4. Pastikan keterbukaan informasi yang diperlukan dan komunikasikan dengan jelas kepada publik melalui standar, label, dan pengujian apakah bahan yang terkait dirancang *biodegradable* dan dapat diuraikan di fasilitas pengomposan skala industri, rumah tangga, atau lingkungan alami.
5. Berinvestasi dalam pemilahan di sumber, teknologi pemilahan, dan fasilitas pengelolaan sampah organik.

1 Latar Belakang

Kemasan sekali pakai memang nyaman digunakan bagi konsumen, misalnya untuk kemasan makanan yang dibawa pulang. Akan tetapi, tingginya jumlah konsumsi plastik membawa berbagai dampak negatif. Plastik *biobased* dan *biodegradable* telah cukup lama dibahas sebagai alternatif plastik berbasis fosil untuk menjawab dilema antara perspektif ekologis dari plastik sekali pakai dan kemudahan yang ditawarkan oleh jenis kemasan plastik ini. Manfaat lingkungan sering kali dikaitkan dengan plastik *biobased* dan *biodegradable* karena kata "bio" dianggap berarti "ramah lingkungan". Jenis plastik ini dianggap cocok menggantikan plastik konvensional yang dampak lingkungannya telah diteliti secara luas, tetapi solusi yang diharapkan ini menimbulkan berbagai konsekuensi dan masalah. Substitusi langsung dari plastik konvensional ke plastik *biodegradable* atau *biobased* terlalu sempit dan tidak mengubah volume sampah atau mengurangi dampak lingkungan dalam jangka panjang. Latar belakang dan pemikiran di balik penilaian dan analisis ini adalah bagian dari laporan berikut.

Laporan ini disiapkan oleh Oeko-Institut, Jerman. Target pembaca laporan ini adalah para pengambil keputusan politik dan perusahaan di Thailand, Malaysia, dan Indonesia. Saat ini, target pembaca di negara-negara tersebut didukung oleh proyek GIZ modul CAP SEA (*Collaborative Actions for Single-Use Plastic Prevention in Southeast Asia* atau Aksi Kolaborasi untuk Pencegahan Plastik Sekali Pakai di Asia Tenggara). Proyek CAP SEA bertujuan untuk mengurangi sampah plastik dan mempromosikan sistem kemasan yang dapat digunakan kembali di Thailand, Malaysia, dan Indonesia, dengan fokus pada pendekatan hulu dan memasukkannya dalam konteks ekonomi sirkular yang lebih luas, serta memberikan saran strategis kepada pemerintah.

CAP SEA didanai oleh Kementerian Federal Jerman untuk Lingkungan Hidup, Pelestarian Lingkungan, dan Keamanan Nuklir (BMU) sebagai bagian dari proyek global untuk mendukung "Inisiatif Ekspor untuk Teknologi Hijau". GIZ merupakan pelaksana utama dengan periode pelaksanaan dari Agustus 2019 hingga Maret 2023.

Laporan ini disusun untuk membantu organisasi mitra CAP SEA dalam pekerjaan mereka. Pengetahuan latar belakang ilmiah tentang plastik *biobased* dan *biodegradable* akan membantu mitra untuk menghindari substitusi alternatif sekali pakai yang disesalkan, misalnya mengganti barang dan kemasan plastik konvensional sekali pakai dengan variasi plastik *biobased* atau *biodegradable*. Laporan ini bertujuan untuk meningkatkan kesadaran akan perlunya mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan dalam konteks ini, serta mengantisipasi konsekuensi dari keputusan penggunaan bahan dalam hal dampak lingkungan dan pengolahan akhir masa pakai.

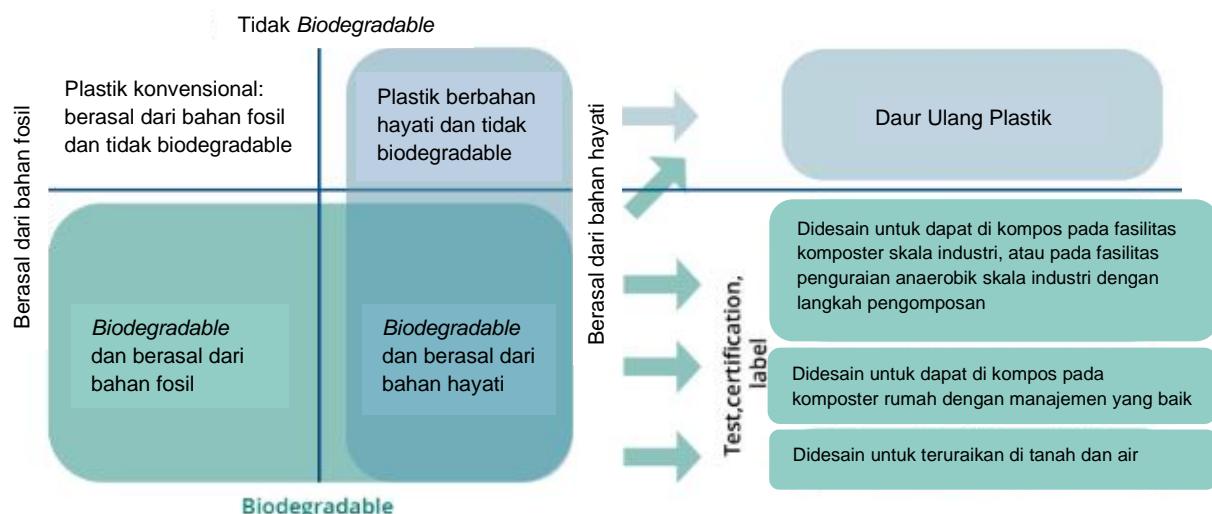
2 Memahami berbagai jenis bioplastik

Istilah “bioplastik” mencakup dua karakteristik yang berbeda dari bahan plastik: Salah satunya adalah asal dari *input* ke dalam produksi plastik, dalam hal ini “bio” mengacu pada sumber alami; Yang lainnya berkaitan dengan karakteristik daya urai plastik pada tahap akhir masa pakai, dalam hal ini, “bio” mengacu pada biodegradabilitas atau daya urai oleh mikroorganisme. Istilah “bioplastik” sering digunakan secara tidak konsisten, kadang-kadang sekaligus menggambarkan kedua karakteristik suatu bahan (sumber alami dan biodegradabilitas), tetapi dalam konteks lain, bioplastik hanya mengacu pada salah satu karakteristik tersebut.

“Kompostabilitas” dan “biodegradabilitas”, atau “dapat dikomposkan” dan “*biodegradable*”, juga digunakan secara tidak konsisten. Dalam kebanyakan kasus dan juga dalam laporan ini, jika tidak dinyatakan lain, biodegradabilitas plastik mengacu pada plastik yang dapat dikomposkan dalam skala industri.

Jadi, kami menyediakan glosarium dan gambar penjelasan (Gambar 2-1) dari European Environment Agency (2020). Gambar 2-1 menjelaskan empat kemungkinan kombinasi dari dua karakteristik (asal bahan dan daya urai) dalam matriks di sisi kiri. Sisi kanan gambar menunjukkan rute akhir masa pakai bahan tergantung pada karakteristiknya.

Gambar 2-1: Berbagai kategori plastik *biodegradable* dan *biobased*.



Sumber: (EEA 2020)

- “**Plastik biobased** seluruhnya atau sebagian terbuat dari bahan baku biologis, bukan bahan baku fosil (minyak) yang digunakan dalam plastik konvensional” (plastik berbasis fosil).
- **Plastik biodegradable** dapat diproduksi dari bahan baku biologis atau fosil. Plastik *biodegradable* “dirancang untuk terurai dalam media tertentu di bawah kondisi tertentu (air, tanah, kompos, dll)”. Biodegradabilitas dapat dibedakan menjadi dua jenis:
 - “*Plastik yang dapat dikomposkan dalam skala industri* dirancang untuk terurai secara hidup di pabrik pengolahan industri atau pabrik penguraian anaerobik industri dengan langkah pengolahan.”
 - “*Plastik yang dapat dikomposkan dalam skala rumah tangga/ lingkungan sekitar* dirancang untuk terurai secara hidup dalam pembuatan kompos rumah tangga atau lingkungan terbuka” (pada suhu yang lebih rendah daripada di pabrik pengolahan industri).

- Ada juga kelompok kecil yang disebut **plastik oxo-degradable**. Jenis plastik ini “mengandung aditif yang, melalui oksidasi, menyebabkan fragmentasi bahan menjadi mikroplastik atau degradasi kimia.”

Sub-bab berikut akan menjelaskan kedua aspek bioplastik.

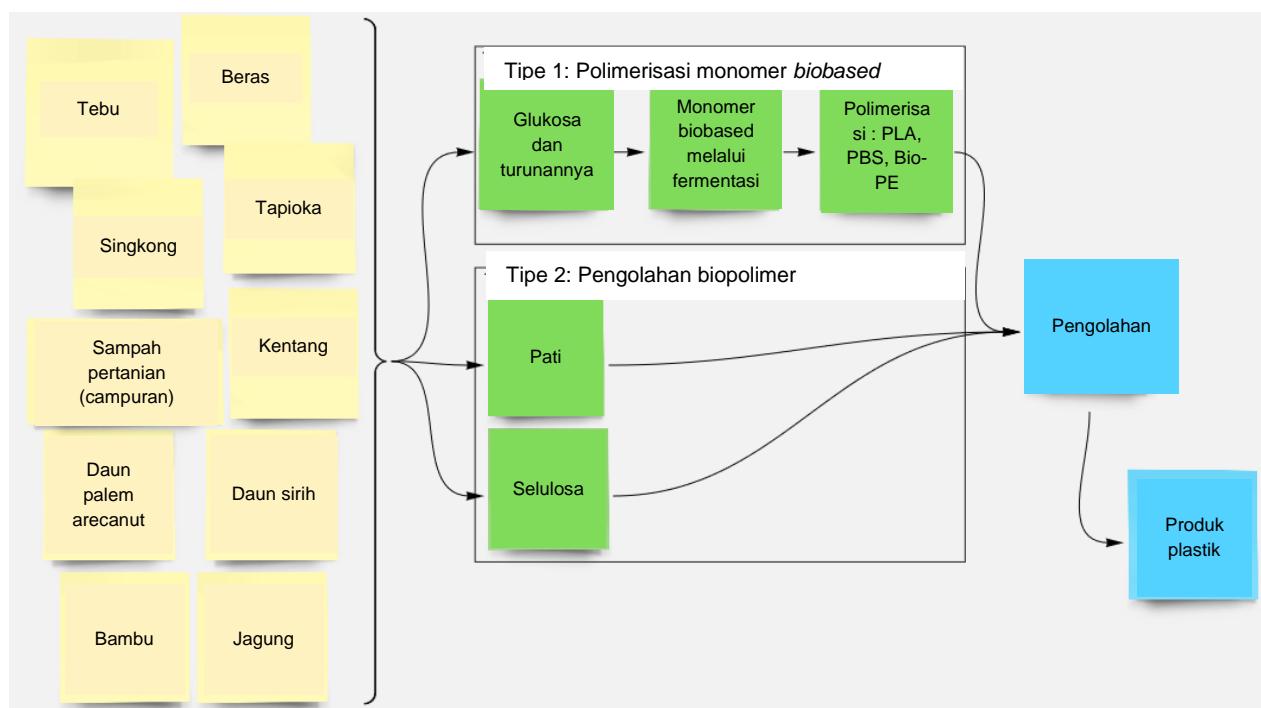
2.1 Bahan *biobased*

Plastik *biobased* sebagian atau seluruhnya berasal dari bahan baku alami. Oleh karena itu, istilah “dari bahan baku terbarukan” artinya sama dengan “*biobased*”. Dalam konteks Eropa, istilah *biobased* digunakan sesuai dengan definisi produk *biobased* yang ditetapkan dalam EN 16575:2014. Bahan bakunya adalah tanaman yang kaya akan pati atau selulosa seperti jagung, tebu, miskantus (rumput manis), dan terkadang kayu. Berbeda dengan plastik *biobased*, plastik konvensional berbasis bahan baku fosil yang diekstraksi dari minyak mentah. *Biobased* tidak selalu berarti bahwa 100% bahan bakunya dapat diperbarui. Plastik *biobased* juga dapat digunakan dalam komposit yang juga mengandung plastik berbasis minyak bumi. Persentasenya mungkin tidak selalu dikomunikasikan dengan jelas kepada konsumen (lihat juga bab 3).

Di Eropa, plastik *biobased* paling sering digunakan dalam kemasan makanan (52% atau 1,26 Mt dari total pasar plastik *biobased* pada 2019). Plastik *biobased* juga digunakan di sektor lain, termasuk tekstil (10%), barang konsumsi (10%), otomotif (7%), pertanian (7%), pelapis dan perekat (7%), konstruksi (4%), dan lain-lain (3%) (Brizga et al. 2020).

Berbagai jenis polimer *biobased* dibuat dengan cara yang berbeda sesuai dengan struktur (bio-) kimia bahan baku.

Gambar 2-2: Gambaran Umum: Dari tumbuhan menjadi polimer



Sumber: Ilustrasi sendiri.

Menurut Letcher (2020), ada dua jenis proses manufaktur untuk bahan *biobased*:

- **Polimerisasi monomer *biobased*** (misalnya asam polilaktat (PLA), polibutilen suksinat (PBS), Bio-polietilena (Bio-PE); tipe 1 pada Gambar 2-2)
- **Pengolahan biopolimer** (misalnya lignin, protein, karet, selulosa, dan pati; tipe 2 pada Gambar 2-2).

Istilah "polimer" terkait dengan fakta bahwa plastik terdiri dari rantai panjang ("poli" = banyak) monomer yang secara kimia saling terikat. Beberapa zat dapat digunakan sebagai monomer, misalnya asam laktat, etilena, atau glukosa (dan banyak lagi), asalkan struktur kimianya memungkinkan setidaknya dua jenis reaksi kimia yang berbeda dengan molekul lain dari zat yang sama untuk membentuk rantai.

Mengenai dua jenis manufaktur plastik *biobased* dan perwakilan terpenting di setiap kategori, Letcher (2020) lebih lanjut menjelaskan:

Polimer terpenting yang diperoleh melalui **polimerisasi monomer *biobased*** adalah PLA, PBS, dan Bio-PE (*drop-in-plastics*, lihat penjelasan di bawah). Setelah diperoleh, polimer diolah menjadi barang plastik menggunakan teknik yang sama dengan termoplastik berbasis fosil seperti PET, PE, dll. Akan tetapi, mereka tidak memiliki struktur kimia yang sama dengan monomer termoplastik berbasis fosil yang berbeda satu sama lain.

- **PLA** diperoleh dengan polimerisasi asam laktat yang dihasilkan melalui fermentasi karbohidrat, terutama pati, misalnya dari jagung, singkong, atau limbah pertanian. Secara teori, asam laktat juga dapat dihasilkan dari sumber daya fosil, tetapi ini tidak lazim dilakukan.
- **PBS** adalah kopolimer berbasis monomer asam suksinat (SA) dan 1,4-butanediol (1,4-BDO) yang diperoleh dari fermentasi sumber karbohidrat, sebagian besar gula (BASF 2021). Akan tetapi, kedua monomer (asam suksinat dan 1,4-butanediol) juga dapat berbasis fosil. Keuntungan dari PBS adalah mudah diolah menggunakan peralatan konvensional, misalnya dengan pencetakan injeksi, ekstrusi, dan peniupan film, serta memiliki sifat mekanik yang baik (ketahanan, kekerasan/kekuatan, atau elastisitas).
- **Drop-in-plastics** adalah jenis polimer tradisional, seperti polietilena (PE), polietilena tereftalat (PET), poliamida (PA), yang berbasis monomer dari sumber alami. Misalnya, polietilena diproduksi dengan mempolimerisasi gas etilena. Gas ini dapat dihasilkan dari minyak mentah atau, dalam kasus biodiesel, dari bioetanol. Dengan demikian, Bio-PE adalah polietilena yang 100% berbahan dasar bioetanol. Saat laporan ini diterbitkan, hanya ada satu pabrik Bio-PE di dunia (di Brasil) yang memproduksi bioetanol dari tebu.

Dari kategori **biopolimer**, selulosa dan pati adalah bahan yang paling penting (dan paling umum) untuk memproduksi plastik *biobased*.

- **Selulosa**, misalnya dari bambu, tidak dapat diolah sebagai termoplastik tanpa modifikasi melalui metode larutan tertentu atau setelah derivatisasi – reaksi antara gugus hidroksil dalam struktur selulosa dengan molekul pereaksi tertentu yang mengubah karakteristik molekul, sehingga molekul dapat menghadapi suhu yang lebih tinggi selama proses termal. Tanpa derivatisasi, selulosa akan mudah terdegradasi pada suhu tinggi. Plastik berbasis selulosa bersifat *biodegradable* asalkan reaktannya dapat terurai oleh mikroorganisme.
- **Pati** (dari kentang, tapioka) juga tidak cocok untuk diolah sebagai termoplastik. Pati harus dimodifikasi secara kimia menjadi pati termoplastik (TPS) atau digunakan dalam campuran pati.

- TPS murni sangat sensitif terhadap kelembaban, sehingga tidak cocok untuk sebagian besar aplikasi polimer.
- Dalam campuran pati, pati berfungsi sebagai pengisi dalam plastik *biobased* (terutama berbasis PLA) atau plastik berbasis fosil. Campuran pati dan PLA masih dalam tahap penelitian, tetapi campuran pati dengan plastik berbasis fosil (dengan kandungan pati di atas 50%) adalah jenis biopolimer berbasis pati yang paling umum. Polimer pati hanya dapat terurai secara hayati jika campuran pati mengandung 100% komponen *biodegradable* tanpa kandungan polimer berbasis fosil yang *non-biodegradable*. Dalam praktiknya, komposisi ini sangat jarang untuk campuran pati, jadi untuk saat ini lebih baik mengasumsikan bahwa campuran pati tidak bersifat *biodegradable*.
- **PHA** (polihidroksi alkanoat) adalah biopolimer yang disintesis oleh beberapa ratus bakteri sebagai produk intraseluler. Berbeda dengan selulosa atau pati, PHA dapat diolah seperti termoplastik konvensional melalui pencetakan injeksi atau ekstrusi.

2.2 Plastik *biodegradable*

Plastik *biodegradable* berbasis bahan baku alami seperti pati, selulosa, atau karbohidrat yang diperoleh dari kentang, singkong, dll. Akan tetapi, beberapa plastik berbasis fosil juga dapat terurai oleh mikroorganisme. Jadi, tidak benar bahwa semua plastik *biodegradable* adalah *biobased* atau berbasis hayati (lihat Tabel 2.1).

Tabel 2.1: Membedakan plastik *biodegradable* dan *non-biodegradable* berdasarkan asal bahan baku

	<i>Biodegradable*</i>	<i>Non-biodegradable</i>
Plastik <i>biobased</i>	PLA, PHA, PBS, plastik berbasis selulosa, lignin, dan pati (termasuk TPS) dan campurannya, jika bebas dari bahan & aditif yang tidak dapat terurai	<i>Drop-in-plastics</i> , misalnya Bio-PE, Bio-PET, Bio-PA dll.
Plastik berbasis fosil	PBS, polivinil alkohol (PVA), polikaprolakton (PCL), polibutilena adipat tereftalat (PBAT), dll.	PE, PP, PET, PS, PVC, PA, PUR, dll.

Catatan: * *biodegradable* dalam pengomposan industri
Sumber: diadaptasi dari Brizga et al. 2020

Plastik *biodegradable* biasa digunakan pada:

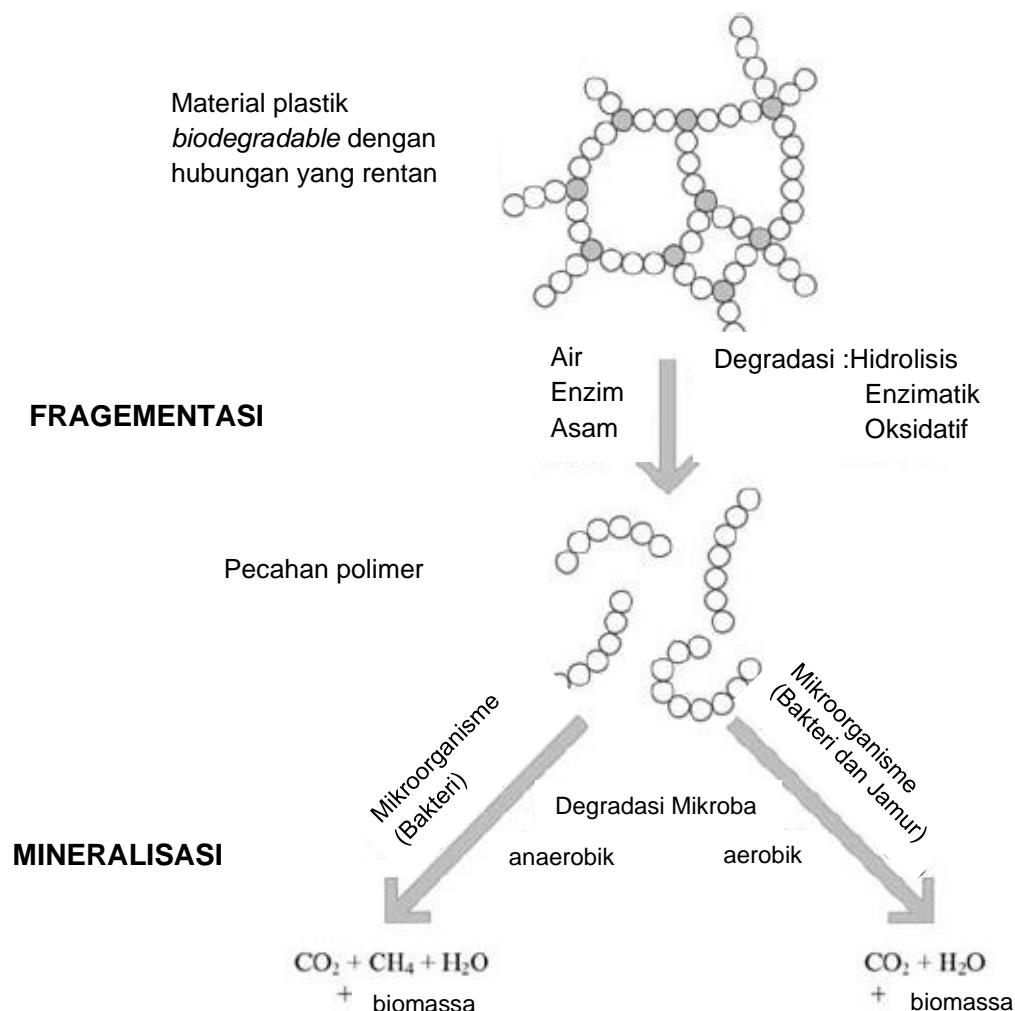
- Kemasan, misalnya kemasan makanan untuk dibawa pulang, kantong, jaring, wadah untuk buah, sayuran, telur, dan daging segar;
- Produk katering, dapat dikomposkan (dalam skala industri) bersama dengan sisa makanan setelah digunakan jika dikumpulkan secara terpisah dari sampah plastik lain;
- Kantong sampah untuk menampung sampah organik serta kantong belanja;
- Film mulsa *biodegradable*; dan
- Perlengkapan medis.

“Plastik *biodegradable* terutama dirancang untuk terurai secara hayati dalam kondisi tertentu – paling umum di fasilitas pengomposan industri dengan suhu di atas 50°C selama berminggu-minggu atau berbulan-bulan” (Letcher 2020). Jadi, **plastik yang dapat dikomposkan dalam skala industri dan rumah tangga** dapat dibedakan berdasarkan persyaratan reaksi yang berbeda (suhu,

komposisi mikroorganisme, keberadaan oksigen, dll) dalam lingkungan terkontrol (industri) vs. tidak terkontrol (alam).

Secara umum, proses biodegradabilitas polimer adalah serangkaian fragmentasi, diikuti dengan mineralisasi fragmen. Pada tahap pertama, beberapa ikatan kimia dalam rantai polimer putus di bawah pengaruh panas, kelembaban, sinar matahari, dan/atau enzim, menghasilkan rantai polimer yang lebih pendek (fragmentasi). Kedua, fragmen plastik sepenuhnya didekonstruksi oleh mikroorganisme (aerobik atau anaerobik), kondisi tanah, atau laut. Lingkungan (pembuangan) ini memiliki kumpulan mikroorganisme yang berbeda, yang mampu memecah fragmen polimer (mineralisasi). Kedua langkah tersebut, fragmentasi dan mineralisasi, merupakan prasyarat agar plastik dapat terurai secara hayati, lihat Gambar 2-3. (Letcher 2020)

Gambar 2-3: Proses biodegradasi polimer



Sumber: Letcher 2020

Dalam proses mineralisasi, mikroorganisme mampu memutuskan ikatan kimia melalui dua cara: aerobik (kaya oksigen) atau anaerobik (tanpa oksigen). Kedua cara degradasi ini tidak hanya berbeda dalam hal kandungan oksigen yang tersedia untuk mikroorganisme, tetapi juga dalam jenis mikroorganisme dan produk degradasi. Singkatnya, bahan *biodegradable* secara kimia terutama

terdiri dari atom C, H, dan O¹. Jika oksigen atmosfer (O₂) cukup tersedia selama reaksi (aerobik), bahan akan bereaksi membentuk CO₂ dan H₂O. Karena tidak ada oksigen (O₂) dalam proses pencernaan anaerobik, tidak semua atom C dan H “menemukan cukup atom O” untuk membentuk CO₂ dan H₂O, sehingga mereka bergabung dan membentuk CH₄ (metana). Mikroorganisme berperan sebagai katalis yang memulai dan memfasilitasi reaksi.

Saat reaksi kimia tingkat mikro dipindahkan ke lingkungan alam, orang menyadari bahwa alam adalah sistem yang lebih kompleks karena ada berbagai jenis tanah dan akuifer. Jumlah dan komposisi mikroorganisme, kondisi lingkungan (suhu, kadar O₂, nilai pH, atau jenis nutrien), dan daya larut polimer dalam air memainkan peran penting dalam proses degradasi. Perlu dicatat bahwa sebagian besar tanah memiliki kondisi aerobik, sementara air dapat memiliki kondisi aerobik atau anaerobik tergantung pada kedalaman air dan intensitas cahaya (Umweltbundesamt 2018).

Penulis laporan yang sama (Umweltbundesamt 2018) meneliti dan menyusun literatur teknis (Tabel 2.2) yang menyimpulkan bahwa waktu biodegradasi sangat tergantung pada kondisi lingkungan²: Waktu degradasi asam polilaktat (PLA) adalah 6-9 minggu dalam pengomposan industri, tetapi tidak terdegradasi di tanah, air tawar, atau air laut. TPS dan PCL terdegradasi sekitar 50 hari di pabrik pengomposan industri dan air tawar, tetapi butuh beberapa bulan untuk terdegradasi di tanah dan air laut. TPS, PCL, dan PHA dapat terdegradasi dalam kondisi anaerobik, PLA hanya pada suhu > 50°C. Kopoliester seperti PBS dan PBAT tidak dapat terdegradasi secara anaerobik (Umweltbundesamt 2018).

Informasi tambahan mengenai biodegradabilitas di lingkungan terbuka dapat ditemukan dalam laporan dari Science Advice for Policy by European Academies (SAPEA 2020).

Tabel 2.2: Waktu degradasi polimer *biodegradable*

Biodegradabilitas di lingkungan yang berbeda	Perkiraaan waktu degradasi berbagai polimer					
	TPS	PHA	PCL	PLA	PBAT	PBS
Dapat terurai dalam kondisi pengomposan industri (58 ± 2°C)	1-1,5 bulan	1-1,5 bulan	1-1,5 bulan	~ 2 bulan	~ 2 bulan	~ 5 bulan
Dapat terurai di tanah (20-28°C)	7-12 bulan	7-12 bulan	7-12 bulan	> 1 tahun	7-12 bulan	t/a
Dapat terurai di air tawar (20-25°C)	< 2 bulan	< 2 bulan	< 2 bulan	> 1,5 tahun	> 1,5 tahun	3 bulan
Dapat terurai di air laut (30°C)	< 6 bulan	< 6 bulan	< 6 bulan	> 1,5 tahun	> 1,5 tahun	t/a

Catatan: Angka yang lebih rinci ditunjukkan pada Tabel A-1 (halaman 44).

Sumber: Umweltbundesamt 2018

Dalam instalasi pengolahan sampah organik, lingkungan degradasi anaerobik atau aerobik dapat ditentukan atau disesuaikan dengan menggunakan teknologi, contohnya suplai udara (atau tanpa udara), jumlah dan jenis populasi mikrobiotik, dan pH. Instalasi dengan kondisi aerobik biasanya

¹ Dari sudut pandang kimia, atom oksigen (O) yang terikat dalam struktur polimer dibedakan dari oksigen (O₂) di atmosfer ruang reaksi.

² Sampel yang dievaluasi dalam studi ini diambil dari berbagai daerah, termasuk Vietnam, Tiongkok, Eropa Selatan & Tengah, Amerika Serikat, dan Australia.

disebut 'pabrik pengomposan industri', sedangkan instalasi dengan kondisi anaerobik disebut 'pabrik pencernaan anaerobik industri'. Suhu degradasi dan waktu pengomposan industri (aerobik) untuk berbagai polimer *biodegradable* ditunjukkan dalam Tabel 2.2 dan Tabel A-1 (a).

Penting untuk dicatat bahwa biodegradabilitas tidak tergantung pada bahan baku, tetapi murni ditentukan oleh struktur kimia produk akhir. Hanya beberapa ikatan kimia yang dapat dipecah secara biologis, baik secara enzimatis maupun mikrobiologis. Penggunaan bahan baku biomassa tidak berarti bahwa produk jadi akan *biodegradable* (dapat terurai oleh mikroorganisme), bahkan jika bahan bakunya *biodegradable*. Misalnya, *drop-in-plastics* seperti Bio-PE berbasis hayati, tetapi tidak dapat terurai secara hayati. Sebaliknya, plastik berbasis fosil seperti polikaprolakton (PCL) atau polivinil alkohol (PVA) dapat terurai secara hayati. Contoh untuk empat kombinasi tersebut ditunjukkan dalam matriks di Gambar 2-1.

Secara teori, daya urai lebih baik daripada daur ulang, dan daur ulang lebih baik daripada pembuangan. Dalam praktiknya, diperlukan pemilahan dan pengumpulan plastik *biodegradable* dan plastik yang tidak dapat terurai secara terpisah. Kerumitan proses pemilahan akan bertambah mengingat bahwa beberapa plastik *biobased* sulit diolah di fasilitas daur ulang untuk plastik konvensional, dan beberapa plastik *biobased* dan plastik konvensional tertentu yang memiliki struktur kimia yang sama dapat didaur ulang bersama. Selanjutnya, bahan *biodegradable* harus diangkut ke fasilitas pengomposan skala industri, yang kemudian perlu menyesuaikan proses pengomposannya karena plastik *biodegradable* membutuhkan waktu pengomposan yang lebih lama daripada sampah organik. Prasyarat lainnya adalah bahan tersebut harus memenuhi persyaratan pengomposan skala industri sesuai dengan salah satu standar biodegradabilitas (lihat bab 3).

Plastik *oxo-degradable* sering disebutkan dalam konteks plastik *biodegradable*. "Plastik *oxo-degradable* adalah polimer berbasis fosil konvensional (seperti PE, PP, PS, dll) yang ditambahkan aditif (biasanya senyawa anorganik) untuk mempercepat degradasi polimer saat terkena panas dan/atau cahaya" (Letcher 2020). Di EU, produk yang terbuat dari plastik *oxo-degradable* dilarang di pasar menurut Pasal 5 dalam Petunjuk Plastik Sekali Pakai (Directive (EU) 2019/904 2019). Plastik *oxo-degradable* tidak memenuhi persyaratan untuk pengomposan industri dan/atau rumah tangga yang ditetapkan dalam standar yang berbeda. Melalui abrasi mekanis, jenis plastik ini dengan cepat hancur menjadi potongan-potongan kecil yang termasuk dalam kelompok mikroplastik, tetapi tidak hancur sepenuhnya (tidak ada mineralisasi). Partikel mikroplastik dari plastik *oxo-degradable* tetap berada di lingkungan. Bahan tersebut tidak cocok untuk penggunaan kembali yang efektif untuk jangka panjang atau untuk daur ulang mekanis, karena zat aditif membuat sifat mekanisnya hilang dengan cepat (Aldas et al. 2018).

3 Standar & Sertifikasi

Standar dan sertifikasi untuk bahan baku *biobased*

Produk polimer *biobased* dapat disertifikasi berdasarkan dua cara yang saling melengkapi: pertama, penggunaan aktual biomassa yang terkait dengan porsi sumber daya terbarukan; kedua, kondisi budidaya biomassa. Jadi, sertifikasi dapat dibedakan menjadi dua jenis: (a) sertifikasi penggunaan bahan baku terbarukan dalam polimer, dan (b) sertifikasi budidaya dan asal biomassa yang digunakan berdasarkan kriteria keberlanjutan.

Seperti yang telah disebutkan di bab 2.1, *biobased* tidak selalu berarti bahwa 100% bahan bakunya dapat diperbarui. Plastik *biobased* juga dapat digunakan dalam campuran dengan plastik berbasis minyak bumi. Sebagai contoh, skema verifikasi pihak ketiga oleh DINCERTCO menawarkan

sertifikasi plastik *biobased* menurut CEN/TS 16137³, ISO 16620⁴, dan EN 16785-1⁵. Dalam skema ini, perusahaan dapat memverifikasi porsi minimum bahan *biobased* sebesar 20%, 50%, atau 85% (DINCERTCO 2021). Belgia (TÜV Austria Belgium 2021) memiliki skema sertifikasi yang sebanding “OK biobased”, dan di AS ada “BioPreferred Program” yang diprakarsai oleh Departemen Pertanian AS (lihat Gambar 3-1).

Gambar 3-1: Skema sertifikasi untuk produk plastik *biobased*



Sumber: TÜV Austria Belgium 2021; DINCERTCO 2021; US Department of Agriculture 2021

Persentase mungkin tidak selalu ditampilkan dengan jelas dan dapat dipahami oleh konsumen. Misalnya, konsumen tidak mengetahui kekurangan sertifikasi 20% (lihat bab 4.1.1). Badan Lingkungan Jerman (Umweltbundesamt 2017) menyimpulkan bahwa sertifikasi untuk produk *biobased* memiliki makna ekologis yang terbatas, di antaranya karena tidak ada perbedaan antara berbagai jenis bahan baku terbarukan atau asal geografis. Untuk menghadapi tantangan ini, sertifikasi untuk budidaya dan asal biomassa menjadi sebuah opsi. Untuk membandingkan berbagai sertifikat yang tersedia untuk bahan *biobased*, sebuah studi untuk Badan Lingkungan Jerman (Umweltbundesamt 2019) menyelidiki kesesuaiannya dengan sertifikasi bahan baku alami yang dapat diandalkan dari Ekolabel Jerman “Blue Angel”. Mengingat ambisi tinggi dari Blue Angel, kriteria studi ini akan memastikan tingkat perlindungan lingkungan yang tinggi. Menurut studi tersebut, sertifikat RSB (Roundtable on Sustainable Biomaterials) direkomendasikan tanpa batas untuk semua produk. Menurut Blue Angel, sistem sertifikasi ISCC⁶ Plus dapat diterima selama lima tahun sejak 2019. Setelah itu akan dinilai apakah pembaruan kriteria ISCC Plus masih memenuhi kriteria tinggi dari studi untuk perlindungan lingkungan tersebut. Sebaliknya, Bonsucro, REDcert (EU), dan sistem SAN (Sustainable Agriculture Network of the Rainforest Alliance Certification System atau Jaringan Pertanian Berkelanjutan dari Sistem Sertifikasi Rainforest Alliance) tidak direkomendasikan untuk dimasukkan dalam kriteria pemberian Blue Angel karena skema sertifikasi tersebut tidak memenuhi kriteria verifikasi studi.

Standar dan sertifikasi untuk biodegradabilitas.

Meskipun tersedia standar dan skema sertifikasi untuk biodegradabilitas dalam pengomposan industri, hanya beberapa negara, seperti Australia (AS 5810⁷) dan Prancis (NFT 51-800⁸), yang memiliki standar untuk pengomposan rumah tangga. Juga tidak ada standar internasional (ISO) yang menetapkan persyaratan untuk pengomposan rumah tangga.

³ CEN/TS 16137 “Plastik - Penentuan kandungan karbon berbasis hayati”

⁴ ISO 16620 “Plastik - Kandungan berbasis hayati”

⁵ EN 16785-1 “Produk *biobased* - Kandungan berbasis hayati - Bagian 1: Penentuan kandungan berbasis hayati menggunakan analisis radiokarbon dan analisis unsur”

⁶ Sertifikasi Karbon dan Keberlanjutan Internasional

⁷ AS 5810 “Plastik *biodegradable* yang cocok untuk pengomposan rumah tangga”

⁸ NFT 51-800 "Spesifikasi untuk plastik yang cocok untuk pengomposan rumah tangga"

Berikut adalah beberapa standar biodegradabilitas untuk pengomposan industri dan pencernaan anaerobik. Lihat daftar standar terpenting dalam Lampiran laporan ini (Tabel A-2). Biodegradasi dalam kondisi anaerobik belum perlu disertifikasi tetapi dapat ditentukan secara opsional.

- **Global:** ISO 18606 "Kemasan dan lingkungan. Daur ulang organik", ISO 17088 "Spesifikasi untuk plastik yang dapat dikomposkan"
- **Eropa:** EN 13432 "Kemasan – persyaratan untuk kemasan yang dapat dipulihkan kembali melalui pengomposan dan biodegradasi. Skema pengujian dan kriteria evaluasi untuk penerimaan akhir kemasan", EN 14995 "Plastik – Evaluasi kemampuan pengomposan. Skema pengujian dan spesifikasi."
- **AS:** ASTM D6400 "Spesifikasi standar untuk pelabelan plastik yang dirancang untuk dikomposkan secara aerobik di fasilitas kota atau industri"
- **Australia:** AS 4736 "Plastik *biodegradable* yang cocok untuk pengomposan dan pengolahan mikroba lainnya"

Standar ini sangat mirip satu sama lain. Karakteristik kimia dari bahan dasar, karakteristik biodegradasi, persyaratan kehancuran, dan ekotoksitas adalah empat kriteria utama dalam standar pengomposan industri ini (Letcher 2020):

1. Karakteristik kimia: Produk harus mengandung setidaknya 50% bahan organik dan tidak boleh melebihi beberapa ambang batas zat berbahaya yang bervariasi antara standar yang berbeda.
2. Biodegradasi: Produk harus terurai secara hayati setidaknya 90% dalam waktu 6 bulan dalam kondisi pengomposan yang terkendali. Dalam hal ini, 90% karbon harus diubah menjadi CO₂.
3. Kehancuran: Dalam 12 minggu, fragmen harus cukup hancur menjadi komponen yang tidak terdeteksi secara visual dalam kondisi pengomposan yang terkendali.
4. Ekotoksitas: Kompos hasil pengomposan industri tidak boleh menimbulkan risiko negatif terhadap perkembangan dan pertumbuhan tanaman.

Selain standar untuk polimer *biodegradable* dalam pengomposan industri, juga ada standar untuk menilai daya urai di lingkungan tanah dan air dengan persyaratan yang berbeda dalam hal waktu yang diizinkan untuk menguraikan setidaknya 90% bahan (lihat Tabel 3.1).

Tabel 3.1: Perbandingan persyaratan standar untuk berbagai jenis degradasi

Tujuan tes	Norma / Standar	Persyaratan biodegradabilitas
Pengomposan industri	EN 13432, ISO 17088*, EN 14995, ISO 18606*, ASTM D6400*, AS 4736	Degradasi minimal 90% setelah maksimal 6 bulan
Pengomposan rumah tangga	AS 5810, NF T 51-800	Degradasi minimal 90% setelah maksimal 12 bulan
<i>Biodegradable</i> di tanah	EN 17033	Degradasi minimal 90% setelah maksimal 24 bulan
<i>Biodegradable</i> di air tawar	EN 13432, EN 14995, disesuaikan untuk air tawar; EN 14987 (polimer yang larut dalam air dan dapat terpencar)	Degradasi minimal 90% setelah maksimal 56 hari
<i>Biodegradable</i> di air laut	ASTM D7081	Degradasi minimal 90% setelah maksimal 6 bulan

* Pengujian konstituen terpisah jika berat >1%.
Sumber: disusun oleh Umweltbundesamt 2018

Label tertentu menyertifikasi biodegradabilitas berdasarkan salah satu standar untuk plastik *biodegradable* (lihat Gambar 3-2).

Gambar 3-2: Sertifikasi Biodegradabilitas

Pengomposan industri	    
Pengomposan rumah tangga	  
Biodegradabilitas dalam lingkungan alami (tanah dan laut)	     

Sumber: TÜV Austria Belgium 2021; DINCERTCO 2021; Biodegradable Products Institute 2020

Contoh penting dari penggunaan standar biodegradabilitas untuk polimer di Eropa adalah sertifikasi kantong *biodegradable* untuk pengumpulan sampah rumah tangga organik/basah. Ketentuan hukum untuk kantong sampah organik *biodegradable* bervariasi di berbagai negara anggota EU. Misalnya, menurut Undang-Undang Sampah Biologis di Jerman, kantong plastik *biodegradable* (yang disertifikasi menurut EN 14995 atau EN 13432, dan sebagian besar berbahan dasar hayati) pada umumnya boleh digunakan untuk pengumpulan sampah rumah tangga organik. Tetapi, aturan yang ditetapkan di tingkat kota bisa berbeda karena tidak ada pabrik pengomposan industri. Italia berhasil memperkenalkan kantong plastik *biodegradable* untuk pengumpulan sampah organik bersama dengan pengumpulan sampah organik secara terpisah: 'Undang-undang tahun 2006 mengatur bahwa kompos harus dikumpulkan secara terpisah dengan menggunakan tempat sampah atau kantong *biodegradable*. Sejak itu, jumlah yang dikumpulkan meningkat dari 2 juta ton menjadi 4,2 juta. Asosiasi pembuat kompos menciptakan logo kualitas, dan pada tahun 2013, 78% kompos berkualitas tinggi dihasilkan dari sampah yang dikumpulkan oleh pemerintah daerah (Moffett 2013).

4 Evaluasi nilai tambah dari plastik *biobased* dan *biodegradable*

Bab ini membahas pertanyaan tentang nilai tambah dari plastik *biobased* dan *biodegradable*. Selain itu, bab ini menyoroti opsi pengolahan sampah dalam kaitannya dengan dampak penggunaan bahan tersebut dari tiga perspektif yang berbeda: lingkungan, konsumen, dan pengelolaan akhir masa pakai. Perspektif ini menyajikan pemikiran umum, sementara perspektif tambahan yang spesifik per negara disajikan dalam bab 5.

4.1 Perspektif lingkungan

Dua pertanyaan akan dibahas dalam konteks perspektif lingkungan terkait plastik *biobased* dan *biodegradable*:

1. Apa dampak lingkungan dari bahan *biobased* dibandingkan dengan plastik berbasis fosil?
2. Manfaat lingkungan apa yang diberikan oleh bahan *biodegradable* di akhir masa pakai?

Penting untuk dicatat bahwa semua pertanyaan tentang dampak atau manfaat lingkungan hanya dapat dijawab dalam konteks domestik. Opsi akhir masa pakai untuk plastik *biobased* dan *biodegradable* sangat bergantung pada pemilihan, pengumpulan, serta ketersediaan pabrik daur ulang dan pengomposan industri dalam konteks spesifik negara. Selain itu, tata guna lahan dan pengalihan fungsi lahan yang terkait dengan budidaya dan pertanian bahan *biobased* bergantung pada pendekatan pertanian umum. Di beberapa wilayah, pertanian monokultur mungkin merupakan praktik umum untuk beberapa spesies tanaman, seperti gandum atau palem. Sebaliknya, praktik pertanian artisanal dapat diterapkan untuk sayuran, termasuk tapioka dan kentang. Akan tetapi, wilayah lain mungkin memiliki ciri khas produk dan praktik pertanian yang berbeda.

Selain dua sub-bab berikut, informasi tambahan juga tersedia dalam Pra-Studi yang dilakukan Oeko-Institut tentang pilihan bahan berdasarkan LCA (GIZ and Oeko-Institut e.V. 2021b).

4.1.1 Dampak lingkungan dari bahan *biobased*

Plastik *biobased* tidak lebih berkelanjutan dibanding plastik konvensional: Substitusi plastik berbasis fosil dengan plastik *biobased* tidak menghasilkan perbaikan lingkungan yang signifikan, tetapi hanya menggeser dampaknya. Ita-Nagy et al. (2020) menganalisis sejumlah studi Penilaian Siklus Hidup (LCA) yang membandingkan plastik berbasis hidup dan berbasis fosil. Para penulis menyimpulkan bahwa “bioplastik umumnya menunjukkan dampak perubahan iklim yang lebih rendah daripada plastik berbasis fosil [...]. Akan tetapi, bioplastik juga menunjukkan beban yang lebih tinggi dalam kategori lingkungan yang terkait dengan pemanenan dan budidaya biomaterial mentah, termasuk kategori LCA yang terkait dengan air (eutrofikasi) dan udara (penipisan ozon stratosfer atau pembentukan ozon fotokimia.”

LCA adalah metodologi yang diakui oleh para pembuat kebijakan untuk menilai dampak lingkungan. Penilaian manfaat dan risiko yang terkait dengan penggunaan plastik *biobased* sangatlah kompleks, dan LCA hanya mencakup sebagian darinya. Tiga masalah tambahan terkait basis bahan adalah:

- Karena tantangan dalam pemodelan, **pengalihan fungsi lahan** (LUC)⁹ adalah kategori LCA yang hanya dinilai sebagian kecil. Piemonte dan Gironi (2011) ‘menyoroti pengaruh kuat emisi dari

⁹ Petunjuk Energi Terbarukan EU (RED) mendefinisikan ‘pengalihan fungsi lahan langsung’ sebagai ‘terjadi ketika produksi bahan baku telah menyebabkan perubahan dari salah satu tutupan lahan berikut:

pengalihan fungsi lahan pada potensi pemanasan global (GWP) dari bahan *biobased*⁶. Mereka menunjukkan 'pentingnya menggunakan sampah biomassa atau biomassa yang ditanam di lahan pertanian yang terdegradasi dan terbengkalai untuk menghasilkan bioplastik yang, dengan cara ini, dapat secara menawarkan manfaat GWP yang berkelanjutan'.

- Diskusi yang serupa dengan perdebatan lama tentang "makanan atau bahan bakar" sedang berlangsung mengenai **konflik tata guna lahan**, yaitu apakah tanah digunakan untuk menanam makanan atau biomassa, dan apakah pangan yang ditanam, misalnya tapioka, digunakan untuk produksi plastik dan bukan digunakan sebagai sumber nutrisi. Pemikiran ini relevan dengan latar belakang SDG 2 (tanpa kelaparan) dan debat tentang ketahanan pangan.
- Penulis studi penilaian dampak untuk bahan *biobased* (European Commission 2018b) mengakui bahwa 'hasil panen yang tinggi di Brasil dan AS adalah hasil dari **monokultur** skala besar yang bergantung pada tanaman transgenik (GMO) dengan dampak merugikan lain yang tidak termasuk dalam LCA karena alasan metodologis dan ketersediaan data'. Singkatnya, dapat disimpulkan bahwa budidaya monokultur termasuk penggunaan tanaman transgenik, pupuk, dan pestisida mengakibatkan hilangnya keanekaragaman hayati yang umumnya sulit untuk dinilai secara kuantitatif.

Oleh sebab itu, seperti yang disimpulkan oleh Piemonte dan Gironi (2011), plastik dari limbah pertanian (seperti ampas tebu, daun palem, limbah pertanian campuran) harus diprioritaskan daripada bahan *biobased* yang dapat digunakan sebagai makanan.

Gambar 4-1 (halaman 24) membandingkan berbagai polimer menurut Potensi Pemanasan Global (A), Tata Guna Lahan (B), dan Penggunaan Air (C) untuk produksi resin polimer konvensional versus polimer *biobased* berdasarkan studi oleh Brizga et al. (2020). Sebagian besar plastik konvensional (PUR, PA, PVC, PS, PET, HDPE, LDPE, dan PP) memiliki dampak yang lebih rendah terhadap penggunaan lahan dan air seperti dapat dilihat di (B), karena rendahnya dampak kilang bahan bakar fosil terhadap penggunaan lahan dan air. Dampaknya tergantung pada proses kimia basah yang diterapkan untuk setiap jenis polimer, misalnya proses polimerisasi PUR dan PA menggunakan air sedikit lebih banyak daripada polimer lain. Di antara berbagai jenis plastik *biobased*, *drop-in-plastics* ('Bio-xxx') memiliki dampak yang lebih besar dalam hal penggunaan lahan dan air daripada plastik berbasis selulosa, pati, PBS, dan PBAT. Setelah mempertimbangkan *error bar* (bilah galat), PLA dan PHA berada dalam kisaran yang sebanding dengan *drop-in-plastics*. Jadi, dampak pada penggunaan lahan dan air tidak tergantung pada jenis manufaktur plastik *biobased* seperti yang dijelaskan dalam bab 2.1 (polimerisasi monomer *biobased*, termasuk *drop-in-plastics* serta PBS dan PLA, dan pengolahan biopolimer, termasuk polimer berbasis selulosa dan pati). Dalam hal emisi CO₂, dampak plastik konvensional lebih tinggi daripada plastik *biobased*. Mengenai plastik *biobased*, bilah galat yang lebar menunjukkan variasi temuan yang tinggi dalam studi LCA yang dievaluasi untuk studi meta ini. Diasumsikan bahwa variasi tersebut disebabkan oleh asal bahan baku, jarak angkut, jenis manufaktur, dan asumsi yang mendasarinya.

Dalam angka absolut, sekitar 170 Mt plastik digunakan untuk kemasan setiap tahun (44% konsumsi plastik global). Substitusi plastik petrokimia dengan plastik *biobased* membutuhkan 613 Mt jagung

lahan hutan, padang rumput, lahan basah, pemukiman, atau lahan lain, menjadi lahan pertanian atau lahan pertanian menahun". 'Pengalihan fungsi lahan tidak langsung' didefinisikan sebagai berikut: "Terjadi ketika padang rumput atau lahan pertanian yang sebelumnya ditujukan untuk pasar makanan dan pakan dialihkan untuk produksi bahan bakar nabati. Permintaan non-bahan bakar masih perlu dipenuhi melalui intensifikasi produksi saat ini atau dengan mengalihkan lahan non-pertanian di tempat lain menjadi lahan produksi. Opsi kedua tersebut merupakan pengalihan fungsi lahan tidak langsung [...]" seperti dikutip dalam European Commission (2018b).

(54% dari produksi global saat ini), 1,8 Mt biji jarak (12 kali produksi global saat ini), dan 21,3 Mt kayu (sekitar 0,8% dari produksi kayu bulat global saat ini). Untuk memenuhi *input* berbasis lahan ini, diperlukan minimal 61 juta hektare lahan (lebih luas dari total luas Thailand) dan minimal 388,8 miliar m³ air (60% lebih banyak dari penarikan air tawar tahunan EU). (Brizga et al. 2020)

Studi yang dilakukan untuk Komisi Eropa (2018b) mengevaluasi *hotspot* lingkungan utama dari plastik *biobased* dan membandingkan dampak ini dengan plastik berbasis bahan bakar fosil. Studi ini mencakup tujuh studi kasus: botol minuman, klip hortikultura (dikecualikan dalam Tabel 4.1 karena penerapan yang rendah), gelas minum sekali pakai, kantong belanja sekali pakai, film kemasan makanan, alat makan sekali pakai, dan film mulsa pertanian. Tabel 4.1 memberikan gambaran tentang temuan studi kasus. Secara umum, ditemukan bahwa selama masa pakai (dari produksi bahan baku hingga akhir masa pakai), 30-60% dari total dampak lingkungan dari produk *biobased* dapat dikaitkan dengan perubahan iklim, penipisan sumber daya abiotik (dampak dari ekstraksi dan konsumsi sumber daya), dan toksisitas manusia. Ketiga kategori dampak ini terkait dengan penggunaan energi yang tinggi dan emisi langsung di akhir masa pakai. Studi oleh Brizga et al. berfokus pada "produksi" biomassa, sedangkan studi untuk Komisi Eropa menemukan bahwa 'di antara lima tahap siklus hidup (dari produksi biomassa hingga akhir masa pakai¹⁰), pembuatan polimer *biobased* dan kopolimer berbasis bahan bakar fosil serta langkah konversi plastik menimbulkan dampak tertinggi', karena proses industri mengonsumsi lebih banyak energi daripada produksi biomassa.

Serupa dengan studi lain yang membandingkan produk yang terbuat dari sumber daya alam versus sumber daya non-alam, penulis laporan Komisi Eropa (2018b) menyoroti kekurangan dari LCA yang dilakukan dalam konteks penilaian ini. Aspek-aspek berikut, yang sangat memengaruhi keanekaragaman hayati dan toksisitas lingkungan, dikecualikan karena terbatasnya informasi yang tersedia:

- Monokultur skala besar berdasarkan jenis transgenik
- Pengalihan fungsi lahan secara tidak langsung
- Pestisida yang digunakan
- Konflik sosial yang terkait dengan tata guna lahan
- Dampak dari membuang sampah sembarangan
- Dampak dari mikroplastik¹¹

Studi yang sama (European Commission 2018b) menyelidiki dua contoh bahan baku sampah alih-alih tanaman budidaya: (1) klip hortikultura dari kulit kentang; dan (2) gelas PP *biobased* dari minyak jelantah. Untuk (1): Campuran pati (contoh: kopolimer dari polimer berbasis fosil dan polimer *biobased*) digunakan untuk membuat klip hortikultura. Karena dampak lingkungan sebagian besar berasal dari komponen berbasis bahan bakar fosil, maka pengurangan dampak produksi bahan baku sampah akan memberi manfaat yang sangat kecil. Penulis menyoroti bahwa 'diperlukan lebih banyak penelitian dan pengembangan teknologi pengolahan dan bahan untuk mencapai perbaikan yang signifikan dalam dampak lingkungan'. Untuk (2): 'PP *biobased* yang terbuat dari minyak jelantah memiliki potensi pemanasan global yang lebih rendah daripada gelas PLA. [...] manfaatnya diperoleh dari dampak rendah dari bahan baku mentah dan proses konversi plastik'. Sehingga

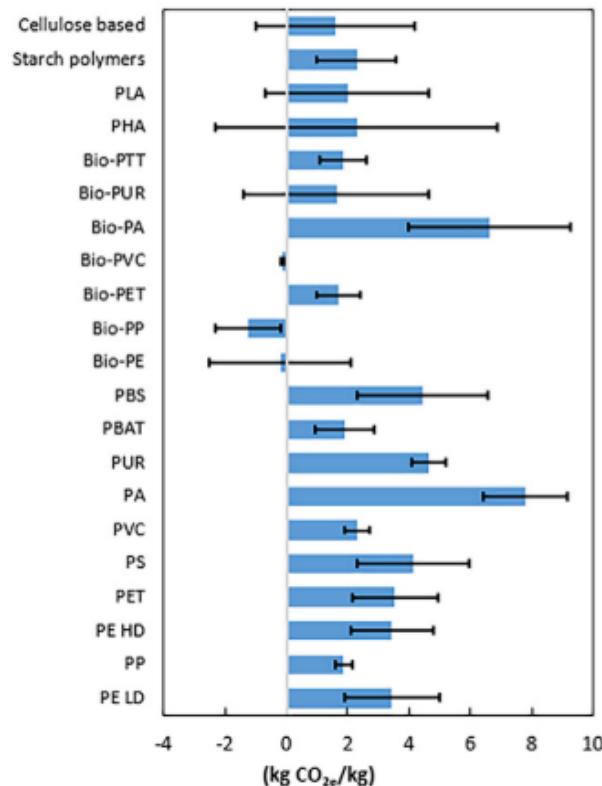
¹⁰ 1 – produksi biomassa; 2 – produksi polimer; 3 – konversi plastik; 4 – transportasi; dan 5 – akhir masa pakai

¹¹ Dampak fisik dari mikroplastik (belitan), dampak kimia dari mikroplastik (melalui aditif yang tidak diketahui), dan dampak biologis dari mikroplastik (pembawa kuman).

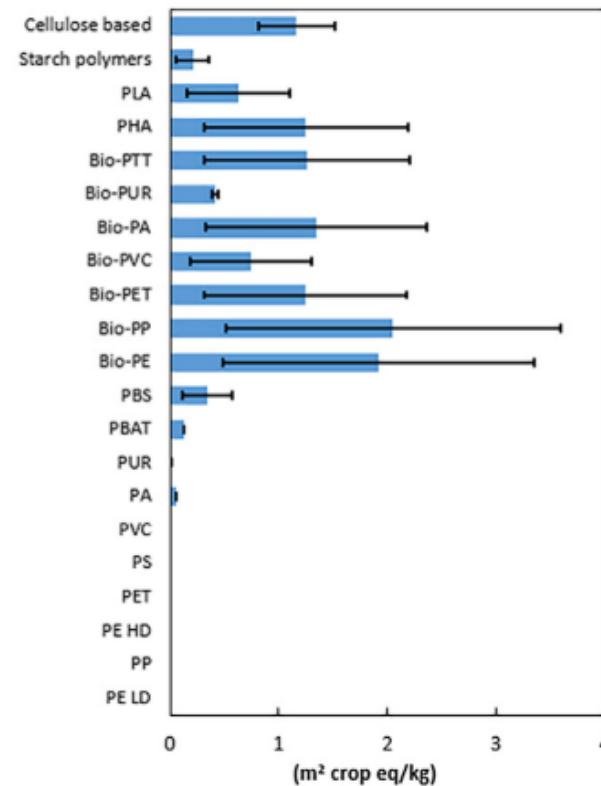
menjadi jelas bahwa bahan tersebut (kulit kentang dan jelantah) tidak dapat memasok pasar global saat ini.

Gambar 4-1: Perbandingan plastik menurut Potensi Pemanasan Global (A), Tata Guna Lahan (B), dan Penggunaan Air (C) untuk produksinya

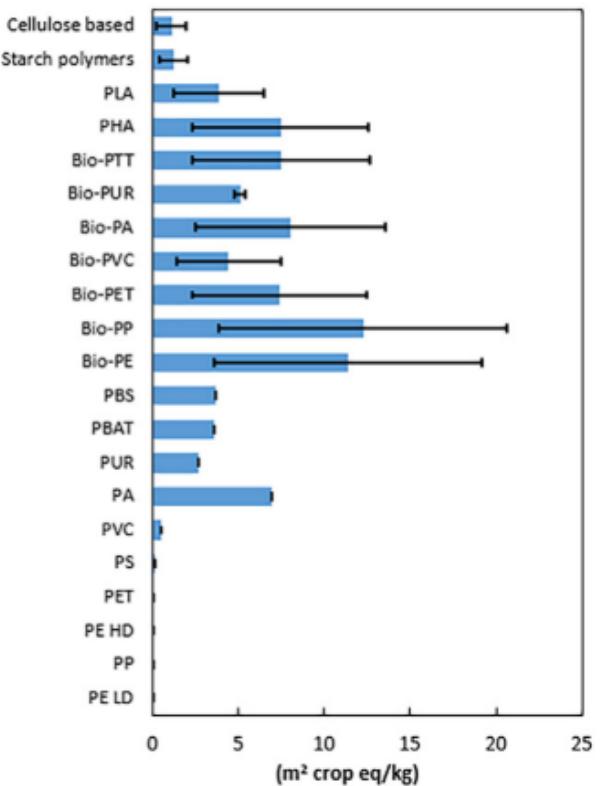
A



B



C



Catatan: Diasumsikan bahwa toksitas terhadap manusia dan ekosistem merupakan kategori dampak lain yang relevan tetapi tidak tersedia cukup data sehingga dikecualikan dari tinjauan.
Sumber: Brizga et al. 2020

Tabel 4.1: Hotspot dampak lingkungan dan perbandingan polimer *biobased* dan polimer berbasis bahan bakar fosil untuk enam studi kasus

Studi Kasus	Polimer <i>biobased</i>	Hotspot dampak lingkungan untuk polimer <i>biobased</i>	Polimer berbasis bahan bakar fosil	Perbandingan polimer <i>biobased</i> dan polimer berbasis bahan bakar fosil
Botol minuman	30% Bio-PET	Botol menunjukkan dampak terkuat dalam produksi biomassa dibandingkan dengan studi kasus lain. Hal ini disebabkan oleh panen tebu di Brasil (28% dampak <i>cradle-to-grave</i>). Polimerisasi etilena glikol dan asam tereftalat menyumbang 50% dari dampak tersebut. Bagi Bio-PET dan PET berbasis bahan bakar fosil, daur ulang adalah teknologi akhir masa pakai yang paling menguntungkan.	PET	Penggunaan PET <i>biobased</i> sebagai pengganti PET berbasis fosil dalam botol minuman menyebabkan berkurangnya potensi pemanasan global dan konsumsi bahan bakar fosil tetapi dapat meningkatkan konsumsi air dan eutrofikasi (Benavides et al. 2018).
Gelas minum sekali pakai	PLAa	Konversi dari tebu atau jagung menjadi polimer PLA memiliki dampak yang dominan dan menyumbang 40-60% dari penggunaan energi (untuk memanaskan air) dan bahan kimia. Dampak relevan lainnya disebabkan oleh transportasi PLA dari Thailand ke Eropa. Karena kontaminasi yang rendah (dibandingkan dengan film kemasan makanan dan alat makan), PLA daur ulang memiliki potensi pengurangan dampak yang lebih besar daripada PLA hasil pengomposan industri.	PET; PP	Gelas PLA dan gelas kertas berlapis PLA tidak selalu lebih ramah lingkungan daripada opsi plastik berbasis fosil (OVAM 2006; Changwichan und Gheewala 2020). Potensi GWP polimer <i>biobased</i> yang lebih rendah disertai dengan potensi yang lebih tinggi dalam kategori dampak lain seperti pengasaman, eutrofikasi, dan toksisitas manusia (Harst et al. 2014).
Kantong belanja sekali pakai	Campuran pati	Pembuatan campuran pati (kopolimer berbasis hayati dan fosil) menyumbang 80 % dari dampak tersebut. Oleh karena itu, dampak dari kopolimer berbasis bahan bakar fosil lebih dominan. Pengomposan industri adalah opsi akhir masa pakai yang paling menguntungkan untuk kantong belanja yang terbuat dari plastik pati jika sepenuhnya dapat terurai secara hayati.	LDPE	Kantong belanja sekali pakai <i>biobased</i> (dari jagung) memiliki potensi GWP, pengasaman, dan polusi ozon yang lebih tinggi daripada kantong PP berbasis fosil sekali pakai di Singapura (Khoo et al. 2010), terutama karena tingginya permintaan energi pada fase produksi.
Film kemasan makanan	PLAa	Lihat bagian gelas minum sekali pakai, tetapi dengan tingkat kontaminasi makanan yang lebih tinggi. Jika semua film kemasan makanan PLA dikomposkan (skala industri), dampak keseluruhannya berkurang 25% atau 30% dibandingkan dengan pembakaran atau penimbunan.	PP	<i>Electricity grid mix</i> (kombinasi bahan bakar untuk membangkitkan listrik) yang digunakan untuk memproduksi kemasan makanan memengaruhi kinerjanya. Kemasan makanan PLA yang diproduksi menggunakan campuran listrik di Thailand memiliki potensi GWP, pengasaman, dan pembentukan ozon fotokimia yang lebih tinggi daripada kemasan makanan PS (Suwanmanee et al. 2013).
Alat makan sekali pakai	PLAa	Lihat bagian film kemasan makanan.	PS	[-]e

Studi Kasus	Polimer <i>biobased</i>	Hotspot dampak lingkungan untuk polimer <i>biobased</i>	Polimer berbasis bahan bakar fosil	Perbandingan polimer <i>biobased</i> dan polimer berbasis bahan bakar fosil
Film mulsa pertanian	Campuran pati	Lihat bagian kantong belanja sekali pakai. Penguraian <i>in-situ</i> di tanah diasumsikan sebagai skenario akhir masa pakai yang paling memungkinkan dan dipilih. Jika akan didaur ulang, dampak akhir masa pakai sangat tergantung pada asumsi jumlah tanah yang dikumpulkan bersama dengan plastik.	LDPE	[-]e

(a) dari jagung (AS) dan tebu (Thailand);

(b) Dampak *cradle-to-grave* mencakup lima tahap siklus hidup: produksi biomassa, produksi polimer, konversi plastik, transportasi, dan akhir masa pakai;

(c) Dampak dimodelkan untuk *cradle-to-user*, akhir masa pakai, dan pengalihan fungsi lahan. (d) Bio-PET saat ini hanya tersedia dari Braskem (Brasil). (e) Tidak diteliti secara mendetail. Catatan: Karena terbatasnya informasi yang tersedia, studi ini tidak mencakup dampak dari membuang sampah sembarangan, monokultur skala besar berdasarkan jenis transgenik, dan pengalihan fungsi lahan tidak langsung.

Sumber: (European Commission 2018b; Benavides et al. 2018; Changwichan und Gheewala 2020; Harst et al. 2014; Khoo et al. 2010; OVAM 2006; Suwanmanee et al. 2013)

4.1.2 Dampak lingkungan dari akhir masa pakai bahan yang dapat terurai

Plastik *biodegradable* sering dipromosikan sebagai solusi untuk masalah terkait jumlah sampah plastik. Akan tetapi, jenis plastik ini tidak dapat mengurangi volume sampah dan memiliki kemungkinan terbatas untuk memecahkan masalah pengelolaan sampah. Walaupun kantong sampah *biodegradable* untuk sampah organik dapat mendukung pemisahan sampah basah dan kering, dibutuhkan upaya tambahan untuk memilah serpihan sampah plastik *biobased* dan *biodegradable* untuk didaur ulang. Plastik *biodegradable* memiliki beberapa kelemahan (Brizga et al. 2020; Oakes 5 Nov 2019; EEA 2020; Umweltbundesamt 2018; DUH 2018a):

- Jumlah plastik *biodegradable* yang terurai dalam kondisi lingkungan sekitar (pengomposan rumah tangga, air laut, dll) sangat terbatas (lihat Tabel 2.2 dan Tabel A-1). Selain itu, **plastik *biodegradable* memerlukan pengolahan khusus** untuk terurai dalam rentang waktu yang wajar hingga 6 bulan dalam pengomposan industri. Waktu penguraian yang dibutuhkan lebih lama daripada yang dibutuhkan untuk sampah organik lain, sehingga menyebabkan masalah pengelolaan bagi operator pabrik pengomposan (DUH 2018b). Selain itu, penguraiannya tidak menghasilkan humus.
- Dalam **proses daur ulang**, polimer *biodegradable* **tidak kompatibel dengan banyak polimer lain** (seperti poliolefin dan PET). Ini menyebabkan masalah bagi operator daur ulang karena polimer *biodegradable* menjadi polutan dalam bahan baku daur ulang dan mengurangi kualitas polimer daur ulang (lihat bab 0).
- Istilah "biodegradable" memberikan kesan bahwa plastik dapat terurai sepenuhnya, dan ini tidak benar. Jadi, ada risiko konsumen sembarangan meninggalkan plastik di lingkungan terbuka, yang berujung pada **pembuangan sampah sembarangan** dan **penyebaran mikroplastik**.
- Stabilitas plastik *non-biodegradable* memungkinkan penggunaan kembali bahan beberapa kali setelah daur ulang. Ini adalah keunggulan ekologis dibandingkan plastik *biodegradable* yang kehilangan berat dan nilainya melalui reaksi degradasi biologis awal.
- Karena sebagian besar plastik *biodegradable* adalah *biobased*, dampak lingkungan yang terkait dengan bahan *biobased* juga berlaku untuk plastik *biodegradable*.

Dalam jangka panjang, "kemampuan plastik *biodegradable* dalam memberikan solusi ramah lingkungan untuk akumulasi sampah akan tergantung pada munculnya teknologi pemilahan sampah yang terjangkau dan investasi dalam fasilitas penanganan sampah organik (kompos dan pencernaan anaerobik)" (Dilkes-Hoffman et al. 2019).

Dalam jangka pendek, plastik *biodegradable* dapat bermanfaat untuk penggunaan tertentu, seperti memisahkan sampah makanan untuk pengomposan. Kantong plastik *biodegradable* mungkin lebih unggul ketika digunakan untuk mendorong pemisahan sampah basah di sumbernya (Oakes 5 Nov 2019). 'Contoh praktik terbaik ada di Korea Selatan yang telah meningkatkan tingkat daur ulang sampah makanan dari hanya 2% pada tahun 1995 menjadi 95% melalui serangkaian kebijakan mulai dari larangan mengirim makanan ke tempat pembuangan sampah akhir, menyiapkan ember khusus untuk mengumpulkan sampah makanan, hingga mewajibkan konsumen untuk membeli kantong *biodegradable* untuk membuang makanan' (Kim 2019). Italia adalah contoh bagus lainnya dalam menggunakan kantong *biodegradable* untuk memisahkan sampah makanan (Moffett 2013).

4.2 Perspektif konsumen dan kesehatan

Banyak konsumen yang kesulitan dalam memahami klaim dan label lingkungan, serta tidak dapat membedakan antara label pihak ketiga yang independen dan klaim yang dibuat sendiri. European Environment Agency (EEA 2020) menyimpulkan bahwa "tidak mudah memahami perbedaan antara 'dapat dikomposkan di pabrik pengomposan industri', 'dapat dikomposkan di rumah tangga', 'dapat terurai di tanah/air tawar/air laut' dan '*biobased*'". ECOS menjelaskan alasan fenomena ini: "Dengan tidak adanya undang-undang spesifik yang jelas tentang klaim ramah lingkungan, perusahaan bebas menggunakan bahasa yang tidak jelas [...]. Klaim ramah lingkungan bahkan dapat digunakan untuk menghindari batasan hukum untuk produk [...]" (ECOS; Rethink Plastic; #breakfreefromplastic 2021) Sebagai contoh, menurut survei yang dilakukan di Jerman, 58% responden berpikir bahwa semua '*bioplastik*' dapat dikomposkan (Blesin et al. 2017). Survei Consumers International dan UNEP menemukan bahwa label dan sertifikat tidak selalu membantu konsumen membuat keputusan pembelian yang lebih baik (UNEP 2020). Untuk mengevaluasi klaim kompostabilitas, biodegradabilitas, dan kandungan berbasis hidup untuk kemasan dan produk, ECOS et al. (2021) mengusulkan daftar periksa klaim (lihat Lampiran, Gambar A-2).

Masalah lain muncul karena tidak semua plastik yang diiklankan *biodegradable* disertifikasi berdasarkan standar yang ada (Gambar 3-2). Skema sertifikasi menguji keberadaan aditif berbahaya yang ditambahkan pada bahan untuk mempermudah pengolahan, dan plastik *biodegradable* yang tidak bersertifikat dapat menjadi jalur masuk aditif tersebut ke lingkungan, jika tidak dibuang dengan benar (melalui sistem sampah kota).

Mengenai bahaya dari zat yang umumnya ada pada kemasan plastik, Groh et al. (2019) menemukan bahwa 'dari 906 bahan kimia yang umumnya ada pada kemasan plastik, 63 menduduki peringkat tertinggi sebagai bahan kimia yang membahayakan kesehatan manusia dan 68 merupakan bahan kimia yang membahayakan lingkungan¹². 7 dari 906 zat itu diklasifikasikan sebagai persisten, bioakumulatif, dan beracun (PBT) atau sangat persisten dan sangat bioakumulatif, dan 35 sebagai bahan kimia yang mengganggu endokrin di seluruh EU. Perlu dicatat bahwa beberapa zat dapat diklasifikasikan dalam lebih dari satu kelompok bahaya. Kemasan plastik mengandung zat-zat tersebut baik yang (sebagian) dibuat dari bahan daur ulang atau bahan *biobased* atau tidak (Geueke et al. 2018; Zimmermann et al. 2020). Zimmermann et al. (2020) menyelidiki kemasan makanan *biobased* (wadah, gelas kopi, pembungkus teh celup) dan menemukan bahwa produk *biobased* ini mengandung konsentrasi bahan kimia yang mirip dengan plastik berbasis fosil, termasuk beberapa zat beracun. Strakova et al. (2021) menemukan hasil yang sebanding: "Konsentrasi tertinggi zat alkil polifluorinasi (PFAS) secara konsisten ditemukan dalam produk serat cetakan, seperti mangkuk, piring, dan kotak makanan yang diiklankan sebagai produk sekali pakai yang *biodegradable* atau dapat dikomposkan [...]".

Jika bahan terurai, aditif tersebut dan produk luruhanya memasuki siklus biomassa. Jika biomassa itu kemudian digunakan untuk tujuan pertanian, aditif berbahaya dan produk luruhan dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan konsumen.

4.3 Perspektif pengelolaan akhir masa pakai

Terakhir, bab ini menjawab pertanyaan apakah ada preferensi untuk bahan *biobased* dan *biodegradable* dari perspektif akhir masa pakai.

¹² Menurut klasifikasi bahaya yang diselaraskan berdasarkan Sistem Harmonisasi Global (GHS) PBB.

Gambar 4-2 menunjukkan sebuah metode yang mudah untuk menentukan di aliran sampah mana suatu bahan akan berakhir. Bagan tersebut membantu mengidentifikasi akhir masa pakai yang paling mungkin berdasarkan bahan utama suatu produk, sehingga memungkinkan penilaian nilai tambah dari suatu bahan untuk rute pembuangan tertentu.

Pada langkah pertama, bahan utama dapat dikelompokkan dalam salah satu dari tiga grup berikut: plastik konvensional, bahan baku serat karbohidrat, dan bahan baku non-serat karbohidrat. Jenis polimer yang berbeda dapat dipertimbangkan pada langkah kedua, dan dari sana, rute akhir masa pakai yang khas dapat diidentifikasi. Ada empat rute akhir masa pakai: daur ulang, pembakaran, pengomposan industri, dan pengomposan rumah tangga/lingkungan sekitar. Panah yang lebih tebal di Gambar 4-2 mewakili kemungkinan yang lebih besar untuk masing-masing opsi. Dilihat dari perspektif lingkungan dan konsumen yang disajikan di atas, dapat disimpulkan bahwa pengomposan lingkungan sekitar sangat bergantung pada kondisi lingkungan. Selain itu, plastik *biobased* dan *biodegradable* saat ini tidak dirancang untuk pengomposan di lingkungan sekitar. Pengomposan industri bisa menjadi opsi hanya jika pabrik yang sesuai sudah tersedia (lihat situasi domestik di bab 5). Jadi, dua skenario akhir masa pakai yang paling mungkin adalah pembakaran dan daur ulang (mekanis). Pendaur ulang plastik konvensional tidak mendukung plastik *biodegradable* dalam aliran *input*. Komponen *biodegradable* dalam *recyclate* plastik konvensional berdampak negatif pada sifat akhir (kekuatan dan daya tahan) produk yang menggunakan *recyclate*.

Contohnya adalah PLA (sudah 0,1%) dalam daur ulang botol PET: Alaerts et al. (2018) menjelaskan bahwa PLA dan PET meleleh pada suhu yang berbeda. Ketika PET meleleh pada 255°C selama daur ulang mekanis, komponen PLA telah berada di atas titik lelehnya (155°C) untuk jangka waktu yang cukup lama. PLA sudah mulai terurai saat PET masih dalam proses peleburan. Akibatnya, *recyclate* mulai menguning. Karena PLA dan PET tidak bercampur dalam keadaan padat, serpihannya menggumpal dan menjadi buram atau kabur saat *recyclate* PET diolah menjadi pelet. Untuk polimer *biodegradable* lainnya, PHB (poli-3-hidroksibutirat) yang merupakan jenis polimer PHA yang paling umum, Alaerts et al. menyimpulkan bahwa 'jika PHB berakhir sebagai *input* produksi rPET (melalui serpihan botol), masalah serupa seperti yang dihadapi PLA dalam daur ulang mekanis PET dapat terjadi'. Titik leleh PHB adalah 180°C (Alaerts et al. 2018).

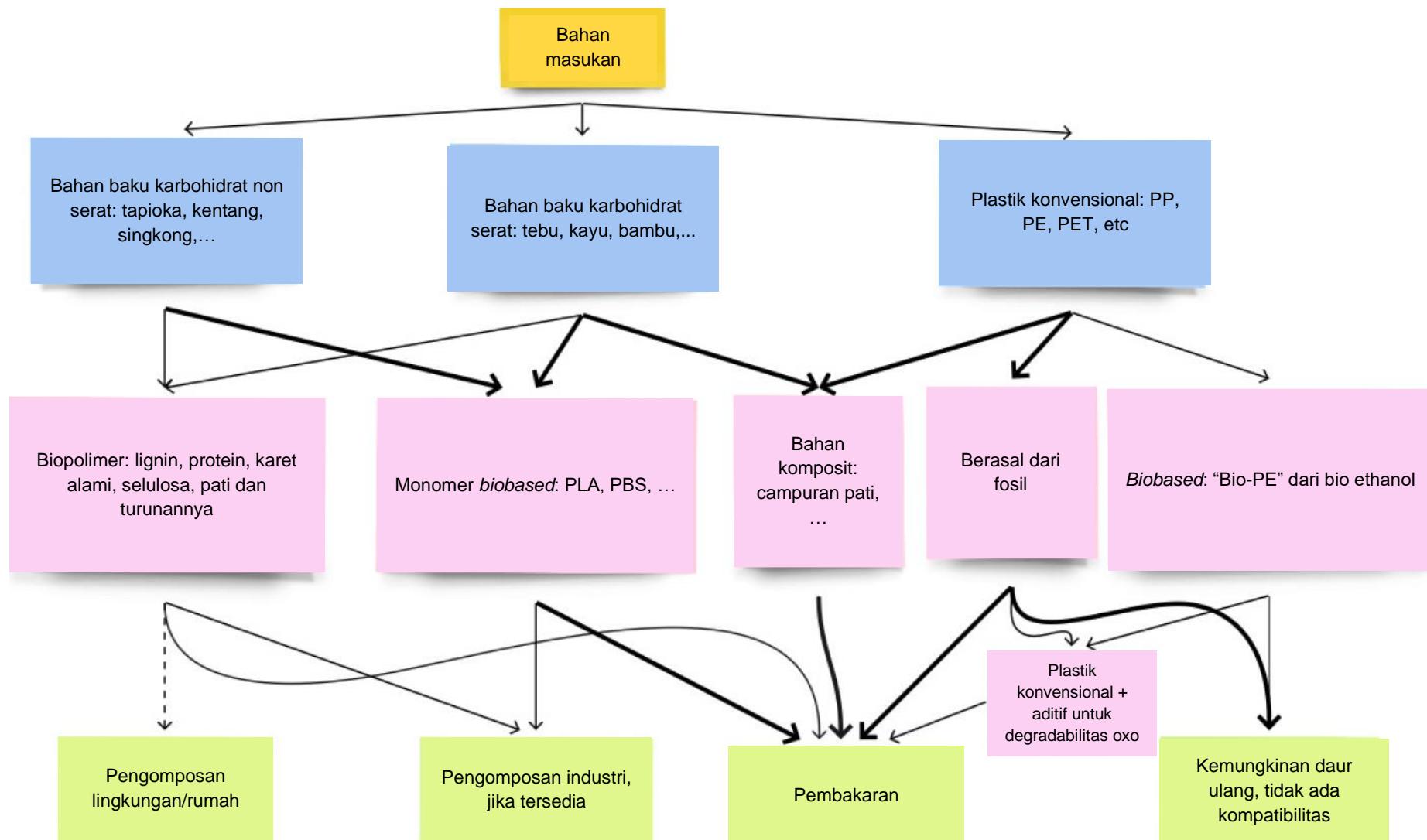
Titik leleh HDPE, LDPE, dan PP adalah 135°C, 110°C, dan 160°C (Chemgapedia 2021). Diperkirakan bahwa kecil kemungkinan polimer-polimer ini akan mengalami efek kontaminasi PLA dalam *recyclate* PET akibat perbedaan titik leleh ($\Delta 100^\circ\text{C}$). Hal ini didukung oleh Åkesson (2021).¹³ Menurut penelitian ini (Åkesson et al. 2021), PET adalah polimer yang paling sensitif terhadap efek sejumlah kecil campuran TPS pada daur ulang mekanis. Gugus poliester dalam PET sensitif terhadap gugus hidroksil yang ada dalam struktur TPS. Gugus hidroksil menyerang ikatan kimia dalam struktur PET yang menyebabkan degradasi PET dan 'sifat mekanis yang lemah'.

Åkesson et al. menyimpulkan bahwa sulit untuk menentukan sejauh mana penggunaan polimer *biobased* mengancam daur ulang mekanis polimer konvensional, karena ada banyak polimer yang berbeda di pasaran, baik yang berbasis fosil maupun hayati. Plastik sekunder juga terkontaminasi oleh polimer konvensional lain yang memengaruhi karakteristik mekanik dan fisik resin sekunder, lihat Pra-Studi tentang Kandungan Daur Ulang (GIZ and Oeko-Institut e.V. 2021a). Tidak

¹³ Penulis menemukan bahwa 'kekuatan regang dan modulus PE relatif tidak terpengaruh, tetapi elongasi berkurang secara signifikan. Menambahkan 5% TPS/PLA ke HDPE mengurangi elongasi dari sekitar 1300% menjadi 150%. PP agak lebih sensitif daripada HDPE, yang terutama dapat dilihat dari kekuatan impak Charpy. Menambahkan 5% TPS/PLA ke PP mengurangi kekuatan impak Charpy dari sekitar 56 menjadi 21 kJ/m^2 . Kekuatan regang, modulus, elongasi, dan kekuatan impak Charpy adalah sifat fisik dan mekanik khas polimer yang memengaruhi pengolahan bahan.

disimpulkan bahwa kontaminasi biopolimer akan menyebabkan pengurangan sifat termal dan mekanik yang substansial berdasarkan biodegradabilitas polimer saja.

Gambar 4-2: Bagan akhir masa pakai berbagai jenis bahan (kemungkinan lebih tinggi untuk panah yang lebih tebal)



Sumber: Grafik sendiri

5 Situasi dan perkembangan spesifik negara

Situasi pengelolaan sampah (plastik) di suatu negara menentukan apakah produk *biodegradable* dan *biobased* memberikan keuntungan atau menimbulkan risiko. Sub-bab berikut menjelaskan situasi domestik di negara mitra proyek CAP SEA.

5.1 Malaysia

Sebuah studi baru-baru ini mengevaluasi peluang dan hambatan di pasar plastik (sirkular) Malaysia, termasuk *status quo* untuk plastik *biobased* dan *biodegradable* (World Bank Group 2021a).

Situasi plastik *biobased* di Malaysia dirangkum dalam Tabel 5.1.

Tabel 5.1: Status quo untuk plastik *biobased* di Malaysia

Produksi resin <i>biobased</i> lokal	hingga 12.000 ton per tahun ¹⁴ dipimpin oleh perusahaan Australia SECOS Group dan SIRIM
Jumlah yang digunakan di Malaysia (domestik)	10–20% resin bioplastik yang diproduksi di Malaysia digunakan di dalam negeri. Sisanya dieksport ke pasar di seluruh dunia, termasuk Amerika Serikat, Uni Eropa, Jepang, Korea, dan Tiongkok
Penggunaan	Plastik sekali pakai untuk kemasan dan/atau produk yang bersentuhan dengan makanan (gelas minuman, sedotan, alat makan, kantong teh celup, dan tas belanja); penggunaan terbatas di pasar kain non-tenun seperti masker

Sumber: (World Bank Group 2021a)

Laporan World Bank menunjukkan bahwa 'bioplastik cenderung memiliki peran yang lebih penting dalam keputusan pengadaan kemasan yang berkelanjutan bagi pemilik merek besar di Malaysia di masa depan' (World Bank Group 2021a).

Sebagaimana diuraikan sebelumnya dalam laporan ini, standardisasi dan sertifikasi adalah kunci untuk memastikan biodegradabilitas serta mencegah mikroplastik dan zat berbahaya memasuki aliran sampah organik dan lingkungan sekitar. Di Malaysia, ada dua set kriteria ekolabel (a) untuk plastik *biodegradable* dan dapat dikomposkan dan bahan kemasan bioplastik (ECO 001:2018), dan (b) untuk produk berbasis biomassa yang *biodegradable* dan dapat dikomposkan yang digunakan untuk produk yang bersentuhan dengan makanan (ECO 009:2016). Kriteria ini mencakup persyaratan lingkungan, misalnya uji degradasi dimaksudkan untuk memberikan indikasi potensi plastik bertahan di lingkungan, uji residu untuk mengetahui kandungan logam beracun, dan standar membedakan antara pengomposan lingkungan/rumah tangga dan pengomposan industri. Sejak revisi kriteria ekolabel pada tahun 2018, plastik *photo-degradable* dan *oxo-degradable* tidak dapat lagi mendapatkan ekolabel.

Malaysia menghadapi tantangan berikut berkenaan dengan plastik *biobased* dan *biodegradable*:

- Diperlukan transparansi dan kampanye publik untuk mengatasi kebingungan publik dalam membedakan istilah biodegradabilitas (*biodegradable*, dapat dikomposkan, dan *oxo-degradable*).

¹⁴ Produsen plastik Malaysia memproduksi 2,45 juta ton resin plastik, World Bank Group (2021a)

- Saat ini, tidak ada cara untuk mencegah impor plastik *oxo-degradable* ke Malaysia karena tidak ada skema sertifikasi atau deklarasi untuk plastik *oxo-degradable*. Selain itu, produsen kantong plastik dapat menggunakan plastik *oxo-degradable* karena tidak ada kewajiban deklarasi dan standar produksi kantong plastik.
- Tidak ada mekanisme yang tepat untuk pengumpulan sampah makanan dari daerah pemukiman dan institusi lain. Saat ini, pemilahan sampah makanan/organik di sumber (pemilahan di tempat asal sampah) tidak wajib dilakukan oleh rumah tangga atau penghasil sampah lain. Oleh sebab itu, potensi kantong plastik *biodegradable* untuk pemilahan sampah rumah tangga basah dan kering tidak dapat dikembangkan karena tidak ada jaringan infrastruktur pengolahan sampah organik skala industri: UNEP (2017) mengatakan bahwa “Malaysia tidak memiliki pabrik komersial/skala penuh untuk mengolah sampah makanan/organik”.

Sejauh ini belum ada peta jalan khusus bioplastik yang diterapkan di Malaysia, tetapi Peta Jalan Malaysia Menuju Nol Plastik Sekali Pakai (MESTECC 2018) mencakup poin-poin aksi terkait plastik *biobased* dan *biodegradable*:

- Selama Tahap II pada tahun 2022
 - Kantong bio digunakan secara luas di tingkat nasional menggantikan kantong plastik dan dijual sebagai barang *Stock Keeping Unit (SKU)*.
 - Praktik 'gerakan tanpa sedotan' berlanjut dan diperluas ke tempat usaha tidak permanen. Sedotan dengan ekolabel (sesuai ECO001) akan diterapkan, termasuk sedotan untuk minuman kemasan.
 - Lingkup perluasan produk *biodegradable* dan dapat dikomposkan: kemasan makanan, film plastik, peralatan makan, wadah makanan, korek kuping, polibag dan pot tanaman, pupuk lepas lambat.
- Selama Tahap III (tahun 2026-2030)
 - Peningkatan substansial dalam volume produksi produk lokal alternatif yang *biodegradable* dan dapat dikomposkan untuk konsumsi domestik.
 - Lingkup perluasan produk *biodegradable* dan dapat dikomposkan: alat kesehatan sekali pakai (kateter), popok dan pembalut wanita, plastik sekali pakai lain yang tidak dapat memasuki ekonomi sirkular.
 - Memperluas penggunaan kit uji cepat untuk kriteria ekolabel untuk produk plastik *biodegradable* dan dapat dikomposkan dan bahan kemasan bioplastik yang sesuai dengan ECO001.

Di satu sisi, tren peningkatan penggunaan plastik *biobased* dan *biodegradable* terlihat sejalan dengan visi pemerintah yang tertuang dalam Peta Jalan Menuju Nol Plastik Sekali Pakai. Di sisi lain, tidak realistik untuk berasumsi bahwa plastik *biodegradable* dapat sepenuhnya terurai di lingkungan alam. Selain itu, plastik *biodegradable* tidak dapat dimanfaatkan dalam praktik pengelolaan akhir masa pakai di Malaysia. Perlu dicatat bahwa pemilahan di sumber dan pengumpulan sampah (organik) perkotaan dan komersial secara terpisah merupakan prasyarat penting. Selain itu, studi Penilaian Siklus Hidup (LCA) telah dengan jelas menunjukkan bahwa plastik *biobased* tidak memberikan manfaat lingkungan yang lebih besar daripada plastik berbasis fosil. Memilih plastik *biobased* alih-alih alternatif berbasis fosil hanya menggeser beban antara kategori dampak lingkungan yang berbeda (lihat pra-studi tentang pilihan bahan berdasarkan LCA, Prakash et al. 2021). Oleh sebab itu, disimpulkan bahwa tren pasar jelas bertentangan dengan rekomendasi yang tertuang dalam bab 6: plastik *biobased* dan *biodegradable* tidak memenuhi harapan untuk menjadi

solusi masalah sampah produk sekali pakai domestik, dan diperlukan panduan tentang kapan dan bagaimana plastik *biobased* dan *biodegradable* dapat mendukung Ekonomi Sirkular, dan kapan jenis plastik tersebut malah merugikan.

5.2 Thailand

Sejak Badan Inovasi Nasional Thailand menerbitkan Peta Jalan Nasional untuk Pengembangan Industri Bioplastik (National Innovation Agency 2008) pada tahun 2008, Thailand telah meningkatkan kapasitas produksi plastik secara signifikan. Thailand memiliki kapasitas produksi plastik *biobased*, *biodegradable*, dan plastik konvensional terbesar di Asia Tenggara: sekitar 95.000 ton plastik *biobased* dan *biodegradable* per tahun, dan 33,3 juta ton plastik konvensional per tahun pada tahun 2018 (World Bank Group 2021b).

Untuk plastik *biobased* dan *biodegradable*, industri plastik Thailand terutama memproduksi PLA dan PBS (lihat bab 2.1). Seperti di Malaysia, 10-20% dari resin *biobased* yang diproduksi di Thailand digunakan di dalam negeri dan sisanya dieksport. Menurut Badan Inovasi Nasional Thailand (2008) dan hingga saat ini (World Bank Group 2021b), Thailand memiliki 'ambisi untuk menjadi pusat bioplastik regional utama sejalan dengan pertumbuhan yang diharapkan dalam industri bioplastik global'. Industri Bioplastik Thailand mendapat dukungan luas dari Dewan Investasi Thailand (Thailand Board of Investment 2014; 2019)

Dalam hal standar untuk plastik *biobased* dan *biodegradable*, Institut Standar Industri Thailand (TISI) menerbitkan standar untuk plastik yang dapat dikomposkan. Tetapi, Thailand tidak memiliki pabrik pengomposan industri untuk bahan organik (kecuali satu fasilitas di Bangkok). Jadi, plastik *biobased* dan *biodegradable* dibuang di tempat pembuangan akhir tanpa intervensi untuk pengomposan yang lebih baik. Ini menimbulkan masalah karena biasanya PLA dan PBS membutuhkan suhu minimum 60°C, kelembaban, dan substrat organik untuk penguraian aerobik. Karena kurangnya fasilitas pengomposan industri, bioplastik yang dikonsumsi di Thailand tidak terurai secara hayati pada tahap pasca-konsumen. Menurut Bank Dunia (2021b), plastik *oxo-degradable* menimbulkan masalah lebih lanjut karena tidak ada deklarasi atau standar, meskipun telah dilarang sejak awal tahun 2020. Laporan yang sama menyatakan bahwa pemerintah tidak memiliki rencana implementasi untuk pelarangan plastik *oxo-degradable*.

Situasi ini menyebabkan tantangan yang sebanding dengan di Malaysia:

- Diperlukan transparansi dan kampanye publik untuk mengatasi kebingungan publik dalam membedakan istilah biodegradabilitas (*biodegradable*, dapat dikomposkan, dan *oxo-degradable*).
- Saat ini, tidak ada cara untuk mencegah penggunaan dan impor plastik *oxo-degradable* karena tidak ada skema sertifikasi atau deklarasi untuk plastik *oxo-degradable*.
- Menurut UNEP (2017), 'Thailand kesulitan mendapatkan sumber sampah organik terpisah yang konsisten dan membutuhkan teknologi hemat biaya untuk pemanfaatan biomassa. Teknologi pengolahan seperti pengomposan [...] perlu direplikasi untuk mengurangi volume sampah kota'.
- Potensi kantong plastik *biodegradable* untuk pemilahan sampah rumah tangga basah dan kering tidak dapat dikembangkan karena kurangnya pabrik pengomposan bahan organik skala industri (hanya ada satu pabrik di Bangkok).

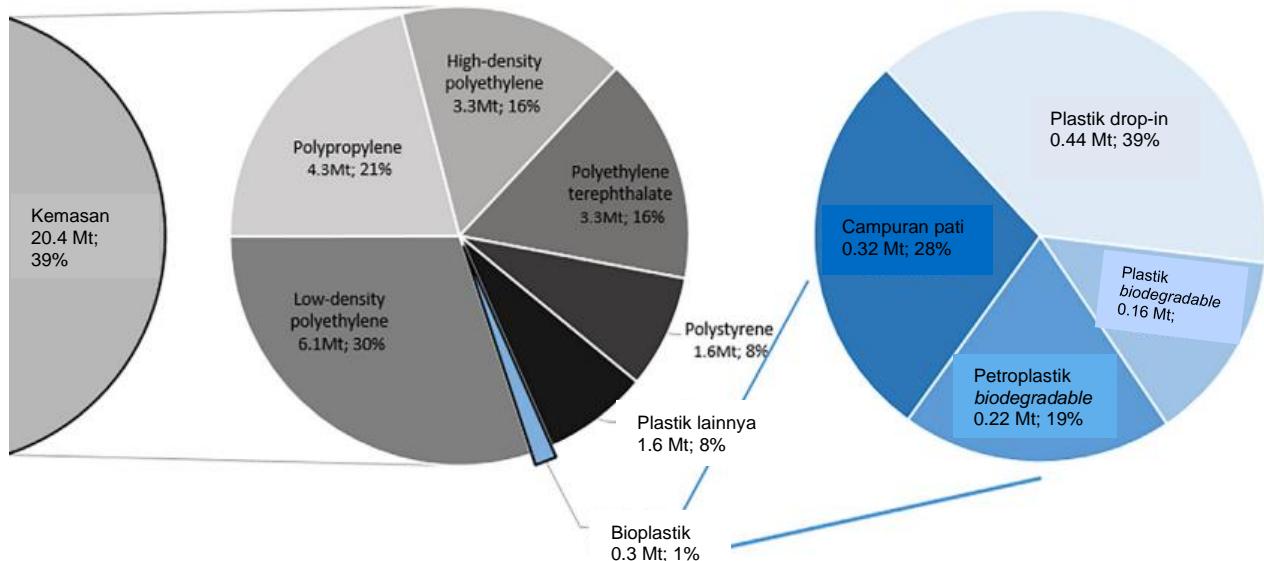
Plastik *biobased* dan *biodegradable* banyak digunakan untuk barang dan kemasan plastik di Thailand, bahkan perkembangannya lebih cepat dari di Malaysia. Sejauh ini, masih tidak ada panduan tentang kapan dan bagaimana plastik *biobased* dan *biodegradable* dapat mendukung Ekonomi Sirkular, dan kapan jenis plastik tersebut malah merugikan. Sebagai contoh, Thailand tidak memastikan pengolahan akhir masa pakai yang tepat untuk plastik *biodegradable*. Seperti juga

disebutkan dalam sub-bab Malaysia, studi LCA telah dengan jelas menunjukkan bahwa plastik *biobased* tidak memberikan manfaat lingkungan yang lebih besar daripada plastik berbasis fosil. Memilih plastik *biobased* alih-alih alternatif berbasis fosil hanya menggeser beban antara kategori dampak lingkungan yang berbeda (lihat GIZ and Oeko-Institut e.V. 2021b). Disimpulkan bahwa tren pasar jelas bertentangan dengan rekomendasi yang tertuang dalam bab 6. Jadi, keuntungan yang diharapkan dalam hal pengurangan volume sampah dan manfaat lingkungan tidak akan terwujud selama tidak ada kebijakan yang mendukung, seperti kewajiban pelabelan, standar, dan praktik pengelolaan sampah (pengumpulan terpisah, pemilahan, dan fasilitas pengolahan sampah organik).

5.3 Uni Eropa

Plastik *biobased* dan *biodegradable* adalah 1% (0,3 juta ton) dari 20,4 juta ton kemasan plastik yang digunakan di Uni Eropa (lihat Gambar 5-1). Produksi plastik *biobased* mencapai 2,43 juta ton dari produksi plastik global pada tahun 2019. Asia menyumbang porsi terbesar dari produksi plastik *biobased* (45%), diikuti oleh Eropa sebesar 25%.

Gambar 5-1: Volume dan Porsi Penggunaan Polimer Plastik di Uni Eropa



Sumber: Angka dari PlasticsEurope dan European Bioplastics yang dikutip di Brizga et al. (2020)

Dari empat jenis plastik dalam diagram lingkaran biru di atas, *drop-in plastics* (39%) sebagian besar *non-biodegradable*. Biodegradabilitas campuran pati (28%) tidak jelas karena tergantung pada zat yang dicampur dengan pati. Biodegradabilitas (skala industri) telah dikonfirmasi untuk sepertiga porsi diagram (19% plastik berbasis fosil ditambah 14% plastik berbasis hidrokarbon).

Berikut adalah rangkuman hukum yang mengatur plastik *biobased* dan *biodegradable* di Eropa.

Secara umum, undang-undang yang mencakup aspek menyeluruh terkait sampah adalah Petunjuk Kerangka Kerja Sampah EU (WFD; Directive 2008/98/EC 2008, diperbarui pada tahun 2015 dan 2018) dengan hierarki sampah sebagai instrumen utama (Pasal 4). Oleh sebab itu, 5 langkah hierarki sampah juga berlaku untuk sampah plastik *biobased* dan *biodegradable*: langkah pertama adalah pencegahan, diikuti dengan penggunaan kembali dalam persyaratan tertentu, daur ulang bahan (saat ini jarang diterapkan untuk plastik *biobased* dan *biodegradable*), pengomposan skala

industri dan rumah tangga, pemulihan energi melalui (ko-)insinerasi dan penimbunan¹⁵. Ketentuan tambahan berlaku untuk kemasan *biodegradable* yang terutama diatur dalam Petunjuk Kemasan dan Sampah Kemasan (PPWD; Directive 94/62/EC 1994, diperbarui pada tahun 2018, tinjauan direncanakan). Secara khusus, ...

... Pasal 8a mencakup pelabelan standar untuk kantong plastik yang *biodegradable* dan dapat dikomposkan

... Lampiran II tentang komposisi [...] kemasan mensyaratkan bahwa

- 'kemasan *biodegradable* tidak boleh menghalangi pengumpulan terpisah dan proses atau aktivitas pengomposan.'
- 'sampah kemasan *biodegradable* harus dapat diuraikan secara fisika, kimia, termal, atau biologis sehingga sebagian besar kompos yang sudah jadi pada akhirnya terurai menjadi karbon dioksida, biomassa, dan air.'

Petunjuk Plastik Sekali Pakai (SUPD; Directive (EU) 2019/904 2019) berfokus pada pengurangan dampak produk plastik tertentu terhadap lingkungan. Semua ketentuan berlaku untuk plastik sekali pakai *biobased* dan *biodegradable* yang tidak dikecualikan atau dibedakan sebagai subkelompok dengan ketentuan khusus: "Plastik yang diproduksi dari polimer alami yang dimodifikasi, atau plastik yang dibuat dari bahan *biobased*, fosil, atau sintetis, tidak terbentuk secara alami sehingga harus diatur dengan Petunjuk ini. Oleh karena itu, definisi plastik yang diadaptasi harus mencakup barang karet berbasis polimer dan plastik *biobased* dan *biodegradable*, baik yang berasal dari biomassa atau dimaksudkan untuk terurai secara hidup seiring waktu". (Directive (EU) 2019/904 2019)

Meskipun belum ada undang-undang EU yang mengatur plastik yang *biodegradable* dan dapat dikomposkan secara komprehensif, masing-masing Negara Anggota EU sudah memiliki kebijakan tersebut, terutama terkait dengan kantong sampah hidup (60% produk *biodegradable* yang diatur; lihat Tabel 5.2).

Tabel 5.2: Persyaratan hukum untuk produk plastik *biodegradable* di berbagai Negara Anggota EU

Negara	Persyaratan hukum untuk produk plastik <i>biodegradable</i>
Italia	Kantong plastik <i>biodegradable</i> yang sesuai dengan EN 13432 dan memiliki kandungan minimum bahan baku terbarukan dibebaskan dari ketentuan pengurangan kantong plastik berbahan ultra-ringan.
Prancis	Kantong plastik <i>biodegradable</i> yang sesuai dengan EN 13432 dibebaskan dari larangan kantong plastik yang mulai diterapkan pada tahun 2016.
Siprus	Kantong sampah <i>biodegradable</i> diprioritaskan dalam spesifikasi pengadaan publik, sehingga secara langsung memberikan insentif keuangan.
Jerman	Kantong plastik yang disertifikasi menurut EN 13432 dapat digunakan untuk mengumpulkan sampah hidup kecuali untuk spesifikasi sampah regional. Film pertanian dari plastik <i>biodegradable</i> yang sesuai dengan EN 13432 diizinkan sebagai aliran <i>input</i> di pabrik pengomposan.
Austria	Biaya EPR yang lebih rendah untuk memasarkan bahan kemasan <i>biodegradable</i> dibandingkan untuk bahan yang terbuat dari plastik konvensional.

¹⁵ Menurut Kementerian Lingkungan Federal Jerman (2019), kurang dari 1% sampah kemasan plastik dibuang ke tempat pembuangan akhir di Jerman. Diasumsikan bahwa ini juga berlaku untuk kemasan plastik *biobased* dan *biodegradable*.

Sumber: EPA Network 2018

Dengan penerapan Strategi Plastik Uni Eropa (European Commission 2018a) dan Rencana Aksi Ekonomi Sirkular (European Commission 2020), Komisi Eropa mengumumkan kerangka kebijakan khusus tentang pengadaan, pelabelan, dan penggunaan plastik *biobased*, serta penggunaan plastik *biodegradable* dan plastik yang dapat dikomposkan. Proposal ini diperkirakan akan diterbitkan pada tahun 2021. Menurut European Environmental Agency (2020), kerangka hukum semacam itu harus mencakup aturan yang selaras untuk mendefinisikan dan memberi label pada plastik yang dapat dikomposkan dan *biodegradable*. Selain itu, kerangka hukum ini akan menjadi dasar untuk menentukan aplikasi penggunaan seperti apa yang memiliki manfaat lingkungan. Manfaat tersebut diharapkan dari kantong pengumpul sampah hayati, barang-barang yang melekat pada sampah hayati (stiker pada sayuran, label pada kantong teh), atau film mulsa pertanian.

Meskipun hanya mencakup biodegradabilitas plastik, kelompok penasihat ilmiah untuk lembaga EU¹⁶ (SAPEA 2020) menyarankan bahwa undang-undang baru harus berisi rekomendasi berikut:

- Mengadopsi **definisi** bersama tentang biodegradabilitas;
- **Membatasi penggunaan** plastik *biodegradable* di luar ruangan untuk aplikasi spesifik yang tidak memungkinkan pengurangan, penggunaan kembali, dan daur ulang.
- **Jangan menganggap** plastik *biodegradable* sebagai solusi untuk pengelolaan sampah yang tidak tepat atau sampah yang dibuang sembarangan;
- Mendukung pengembangan **pengujian dan sertifikasi yang koheren** untuk biodegradabilitas; dan
- Mendorong penyediaan **informasi akurat** tentang sifat, penggunaan dan pembuangan yang tepat, serta pembatasan plastik *biodegradable* kepada kelompok pengguna yang relevan.

¹⁶ Science Advice for Policy by European Academics (SAPEA) adalah bagian dari Mekanisme Saran Ilmiah Komisi Eropa. SAPEA memberikan saran ilmiah independen kepada Komisi Eropa untuk mendukung pengambilan keputusan.

6 Kesimpulan dan aspek implementasi utama

Disimpulkan bahwa substitusi sederhana bahan berbasis fosil dengan alternatif berbasis hayati tidak tepat untuk menghadapi masalah terkait timbulan sampah. Selain itu, substitusi ini tidak membawa manfaat lingkungan sebesar yang dibutuhkan mengingat tantangan terkait sampah plastik dan kemasan. Bahan *biobased* dan *biodegradable* tidak boleh merusak hierarki sampah, di mana menghindari timbulan sampah lebih diprioritaskan daripada semua opsi lain.

Selain memberikan informasi latar belakang, makalah ini menjelaskan berbagai risiko dan keberatan terkait plastik *biobased* dan *biodegradable*. Penulis studi ini membuat kesimpulan sesuai dengan Badan Lingkungan Federal Jerman (UBA) (2017) ...

... untuk plastik *biobased* ...

- ... menggantikan plastik konvensional dengan plastik *biobased* tidak membawa manfaat lingkungan yang nyata tetapi akan menggeser beban lingkungan: Meskipun plastik *biobased* memiliki dampak yang lebih rendah pada potensi pemanasan global, plastik ini menyebabkan tingkat pengasaman yang lebih tinggi dan tata guna lahan yang lebih intens. Penggunaan lahan yang lebih intens menimbulkan masalah seperti peningkatan penggunaan pupuk dan pestisida, serta konflik tata guna lahan dalam konteks produksi pangan. Dengan demikian, kemungkinan besar akan menimbulkan dampak yang lebih besar pada hilangnya keanekaragaman hayati dan degradasi tanah.
- ... tidak semua bahan *biobased* 100% berbasis hayati, karena sertifikasi dan pelabelan memungkinkan kandungan bahan baku alami sebesar 20%, 50%, atau 85% dalam plastik. Diferensiasi ini berisiko semakin membingungkan konsumen bahkan lebih dari kebingungan yang ditimbulkan keseluruhan isu.
- ... sertifikasi asal dan budidaya biomassa yang berkelanjutan harus dipertimbangkan selain porsi biomassa yang digunakan dalam suatu produk.

... untuk plastik *biodegradable* ...

- ... secara umum, dampak fisik, kimia, dan biologis dari plastik *biodegradable* maupun konvensional menyebabkan serpihan plastik di lingkungan. Bahkan jika bahan pada akhirnya terdegradasi hingga setidaknya 90%, sepanjang proses itu, partikel mikro serta zat berbahaya dari serpihan plastik dapat luruh atau menimbulkan efek merugikan.
- ... infrastruktur pengelolaan sampah saat ini tidak disesuaikan untuk pemulihan plastik *biodegradable* berkualitas tinggi, baik di Eropa (lihat bab 5.3) maupun di Asia Tenggara (lihat bab 5.1 dan 5.2). Investasi dalam infrastruktur semacam itu masih diragukan mengingat bahwa plastik yang dapat terurai secara biologis hanya memiliki nilai terbatas untuk didaur ulang.
- ... menangani volume sampah yang tinggi dengan cara menggunakan plastik *biodegradable* yang berakhir di pengelolaan sampah organik tidak sejalan dengan hierarki sampah. Sebaliknya, pengurangan, penggunaan kembali, dan kemasan yang dapat didaur ulang harus lebih diprioritaskan.

Penilaian bahan plastik *biobased* dan *biodegradable* tidak mudah. Sebelum memilih bahan untuk plastik, penting untuk mempertimbangkan dampak lingkungan, potensi kelebihan dan kekurangan, serta opsi akhir masa pakai tertentu dalam konteks lokal. Gambar 6-1 memberikan gambaran umum tentang poin-poin tindakan paling penting untuk plastik *biobased* dan *biodegradable*. Poin-poin ini tidak memerlukan penilaian lebih lanjut tetapi dapat dianggap sebagai rekomendasi jangka pendek.

Gambar 6-1: Lima Hal yang Perlu Dilakukan terkait plastik *biobased* dan *biodegradable*



Dalam proyek pengelolaan sampah, prioritaskan pencegahan sampah daripada promosi plastik *biodegradable* dan *biobased*, misalnya dengan penggunaan kembali. Plastik *biodegradable* dan *biobased* tidak boleh dianggap sebagai solusi untuk masalah polusi plastik.



Gunakan kantong sampah makanan *biodegradable* bersertifikat untuk memisahkan sampah basah dan kering, seperti kantong sampah makanan dengan ekolabel Tipe-I atau skema pihak ketiga lain yang andal dan independen. Tidak direkomendasikan untuk menggunakan plastik *biodegradable* untuk tujuan lain. Jadi, jangan memberikan insentif untuk penggunaan plastik *biobased* dan *biodegradable*.



Hanya gunakan limbah pertanian dan produk sampingan sebagai bahan baku plastik *biobased*.



Pastikan keterbukaan informasi yang diperlukan dan komunikasikan dengan jelas kepada publik melalui standar, label, dan pengujian apakah bahan yang terkait dirancang *biodegradable* dan dapat diuraikan di fasilitas pengomposan skala industri, rumah tangga, atau lingkungan alami.



Berinvestasi dalam pemilahan di sumber, teknologi pemilahan, dan fasilitas pengelolaan sampah organik.

Daftar Referensi

- Åkesson, D.; Kuzhanthaivelu, G.; Bohlén, M. (2021): Effect of a Small Amount of Thermoplastic Starch Blend on the Mechanical Recycling of Conventional Plastics. In: *J Polym Environ* 29 (3), pp. 985–991. DOI: 10.1007/s10924-020-01933-2.
- Alaerts, L.; Augustinus, M.; van Acker, K. (2018): Impact of Bio-Based Plastics on Current Recycling of Plastics. In: *Sustainability* 10 (5), p. 1487. DOI: 10.3390/su10051487.
- Aldas, M.; Paladines, A.; Valle, V.; Pazmiño, M.; Quiroz, F. (2018): Effect of the Prodegradant-Additive Plastics Incorporated on the Polyethylene Recycling. In: *International Journal of Polymer Science* 2018, pp. 1–10. DOI: 10.1155/2018/2474176.
- BASF (2021): Renewable BDO. Online available at https://chemicals.bASF.com/global/en/Intermediates/Renewable/Renewable_BDO.html, last accessed on 1 Jul 2021.
- Benavides, P. T.; Dunn, J. B.; Han, J.; Biddy, M.; Markham, J. (2018): Exploring Comparative Energy and Environmental Benefits of Virgin, Recycled, and Bio-Derived PET Bottles. In: *ACS Sustainable Chem. Eng.* 6 (8), pp. 9725–9733. DOI: 10.1021/acssuschemeng.8b00750.
- Biodegradable Products Institute (2020): The Compostable Logo Biodegradable Products Institute (ed.). Online available at <https://bpworld.org/BPI-Public/Program.html/>, last accessed on 18 Oct 2021.
- Blesin, J. M.; Klein, F.; Emberger-Klein, A.; Scherer, C.; Menrad, K.; Möhring, W. (2017): Bevölkerungsrepräsentative Online-Befragung in Deutschland zu Biokunststoffen, 2017. Online available at <http://biokunststoffe-nachhaltig.de/files/Downloads/BiNa%20Working%20Paper%20zur%20Bevoelkerungsbefragung%202016.pdf>, last accessed on 5 Jul 2021.
- BMU (2019): Das BMU klärt auf zum Thema Plastikrecycling BMU (ed.). Online available at <https://www.bmu.de/meldung/das-bmu-klaert-auf-zum-thema-plastikrecycling/>, last updated on 21 Jan 2019, last accessed on 20 Jul 2021.
- 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.
- 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.
- Chemgapedia (2021), Polymere (only available in German) Chemgapedia (ed.). Online available at http://www.chemgapedia.de/vsengine/topics/de/Chemie/Makromolekulare_00032Chemie/Polymere/index.html, last accessed on 4 Aug 2021.
- Di Bartolo, A.; Infurna, G.; Dintcheva, N. T. (2021): A Review of Bioplastics and Their Adoption in the Circular Economy. In: *Polymers* 13 (8). DOI: 10.3390/polym13081229.
- 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.; Pratt, S.; Lant, P. A.; Laycock, B. (ed.) (2019): The Role of Biodegradable Plastic in Solving Plastic Solid Waste Accumulation. Online available at <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813140-4.00019-4>, last accessed on 5 Jul 2021.
- DINCERTCO (2021): Certification of Products. Environmental Field. TÜV Rheinland (ed.). Online available at <https://www.dincertco.de/din-certco/en/main-navigation/products-and-services/certification-of-products/environmental-field/overview-environmental-field/>, last accessed on 2 Jul 2021.
- Directive (EU) 2019/904 (2019): European Parliament and Council. Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment, Directive (EU) 2019/904. Online available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019L0904&qid=1626788028899>, last accessed on 20 Jul 2021.
- Directive 2008/98/EC (2008): European Parliament and Council. DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 November 2008 on waste, Directive 2008/98/EC. Online available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A2008L0098-20180705&qid=1626786033590>, last accessed on 20 Jul 2021.

Directive 94/62/EC (1994): European Parliament and Council. Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste, Directive 94/62/EC. Online available at <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1598004553872&uri=CELEX:31994L0062>, last accessed on 21 Aug 2020.

DUH (ed.) (2018a). Bioplastics, Myths and facts, 2018.

DUH (ed.) (2018b): kunitzsch, c. Bioplastik in der Kompostierung, Erbebnisbericht - Umfrage, 2018.

ECOS; Rethink Plastic; #breakfreefromplastic (ed.) (2021). Too good to be true?, A study of green claims on plastic products, 2021. Online available at <https://ecostandard.org/wp-content/uploads/2021/07/ECOS-RPa-REPORT-Too-Good-To-Be-True.pdf>, last accessed on 18 Oct 2021.

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.

EPA Network (ed.) (2018): Maier, N. Biodegradable Plastics, Approaches and experiences from 16 Members of the EPA Network, 2018. Online available at https://epanet.eea.europa.eu/reports-letters/reports-and-letters/ig-plastics_working-paper_biodegradable-plastics.pdf/view, last accessed on 13 Jul 2021.

European Commission (ed.) (2018a). A European Strategy for Plastic in a Circular Economy, 2018. Online available at <https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/plastics-strategy-brochure.pdf>, last accessed on 7 Sep 2020.

European Commission (ed.) (2018b). 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.

European Commission (ed.) (2020): A new Circular Economy Action Plan, For a cleaner and more competitive Europe. COM(2020) 98 final. Online available at https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0017.02/DOC_1&format=PDF, last accessed on 1 Mar 2021.

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.

GIZ and Oeko-Institut e.V. (ed.) (2021a): Löw, C.; Prakash, S.; Stuber-Rousselle, K. Why are biobased and biodegradable plastics not part of the solution to reduce plastic waste? – Checking the facts!, (expected in 10/2021), 2021.

GIZ and Oeko-Institut e.V. (ed.) (2021b): Stuber-Rousselle, K.; Prakash, S.; Löw, C. LCA-based material choices, (expected in 10/2021), 2021.

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.

Harst, E.; Potting, J.; Kroese, C. (2014): Multiple data sets and modelling choices in a comparative LCA of disposable beverage cups. In: *Science of the Total Environment* s 494–495, pp. 129–143. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.06.084.

Khoo, H. H.; Tan, R. B. H.; Chng, K. W. L. (2010): Environmental impacts of conventional plastic and bio-based carrier bags. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15 (3), pp. 284–293. DOI: 10.1007/s11367-010-0162-9.

Kim, M. S. (2019): The Country Winning The Battle On Food Waste Huffpost (ed.). Online available at https://www.huffpost.com/entry/food-waste-south-korea-seoul_n_5ca48bf7e4b0ed0d780edc54, last updated on 8 Aug 2019, last accessed on 5 Aug 2021.

Letcher, T. M. (ed.) (2020): PLASTIC WASTE AND RECYCLING, Environmental impact, societal issues: ELSEVIER ACADEMIC Press. Online available at <https://www.elsevier.com/books/plastic-waste-and-recycling/letcher/978-0-12-817880-5>, last accessed on 16 Apr 2021.

MESTECC, M. (ed.) (2018). Malaysias Roadmap Towards Zero Single-Use Plastics 2018-30. MINISTRY OF ENERGY, SCIENCE, TECHNOLOGY, ENVIRONMENT & CLIMATE CHANGE, 2018. Online available at <https://www.kasa.gov.my/resources/pelan-halatuju-plastik.pdf>, last accessed on 11 Nov 2021.

Moffett, S. (2013): From plastic litter to high-quality compost, Horizon. The EU Research and Innovation Magazin European Commission (ed.). Online available at <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/horizon-magazine/plastic-litter-high-quality-compost>, last updated on 15 May 2013, last accessed on 5 Aug 2021.

National Innovation Agency (ed.) (2008). National Roadmap for the Development of Bioplastic Industry, 2008-2012. Thailand., 2008. Online available at <http://mobile.stkc.go.th/book/12/pdf/download>, last accessed on 12 Nov 2021.

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.

OVAM (ed.) (2006): Vercalsteren, A.; Spirinckx, C.; Geerken, T.; Claeys, P.; et al. Comparative LCA of 4 types of drinking cups used at events, 2006. Online available at https://www.natureworksllc.com/%7E/media/Files/NatureWorks/What-is-Ingeo/Why-it-Matters/LCA/OVAM_Cup_ComparativeLCA_FullReport_0206_pdf.pdf?la=en, last accessed on 12 Aug 2021.

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.

SAPEA - Science Advice for Policy by European Academies (ed.) (2020). Biodegradability of plastics in the open environment. Science Advice for Policy by European Academies, 2020. Online available at <https://www.sapea.info/topics/biodegradability-of-plastics/>, last accessed on 6 Jul 2021.

Strakova, J.; Schneider, J.; Gingotti, N. (2021): Throwaway Packaging, Forever Chemicals, European wide survey of PFAS in disposable food packaging and tableware, 2021. Online available at <https://english.arnika.org/publications/throwaway-packaging-forever-chemicals-european-wide-survey-of-pfas-in-disposable-food-packaging-and-tableware>, last accessed on 20 May 2021.

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: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 18 (2), pp. 401–417. DOI: 10.1007/s11367-012-0479-7.

Thailand Board of Investment (ed.) (2014). Thailand Bio-Plastic Industry, 2014. Online available at https://www.boi.go.th/upload/content/AW_BOI-brochure2014-Bioplastics-20140507_51146.pdf, last accessed on 12 Nov 2021.

Thailand Board of Investment (ed.) (2019). Bioplastics, 2019. Online available at <http://www.boi.go.th/upload/content/BioplasticsBrochure.pdf>, last accessed on 12 Nov 2021.

TÜV Austria Belgium (2021): Green Marks. Online available at <https://www.tuv-at.be/de/green-marks/>, last accessed on 5 Aug 2021.

Umweltbundesamt (ed.) (2017). Kurzposition Biokunststoffe, 2017. Online available at https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2503/dokumente/uba_kurzposition_biokunststoffe.pdf, last accessed on 13 Jul 2021.

Umweltbundesamt (ed.) (2018): Burgstaller, M.; Potrykus, A.; Weißenbacher, J.; Kabasci, S.; Merrettig-Bruns, U.; Sayder, B. Gutachten zur Behandlung biologisch abbaubarer Kunststoffe, 2018. Online available at www.umweltbundesamt.de/publikationen/gutachten-zur-behandlung-biologisch-abbaubarer, last accessed on 3 Aug 2021.

Umweltbundesamt (ed.) (2019): Hennenberg, K. J.; Wiegmann, K.; Fehrenbach, H.; Detzel, A.; Köppen, S.; Schlecht, S. Implementierung von Nachhaltigkeitskriterien für die stoffliche Nutzung von Biomasse im Rahmen des Blauen Engel, Teil 1: Machbarkeitsstudie zu übergreifenden Aspekten – Stoffliche Nutzung von Biomasse. Abschlussbericht (TEXTE 87/2019), 2019. Online available at https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-08-19_texte_87-2019_be_biomassenutzung_uebergreifende-aspekte.pdf, last accessed on 21 Dec 2020.

UNEP (ed.) (2017). Waste Management in ASEAN Countries, 2017. Online available at <https://environment.asean.org/wp-content/uploads/2020/03/Summary-Report-Waste-Management-in-ASEAN-Countries-UNEP.pdf>, last accessed on 5 Aug 2021.

UNEP (ed.) (2020). "Can I recycle this?", A Global Mapping and Assessment of Standards, Labels and Claims on Plastic Packaging, 2020.

US Department of Agriculture (2021): BioPreferred US Department of Agriculture (ed.). Online available at <https://www.biopreferred.gov/BioPreferred.faces/Welcome.xhtml>, last accessed on 5 Aug 2021.

World Bank Group (2021a): Market Study for Malaysia: Plastics Circularity Opportunities and Barriers (East Asia and Pacific Region Marine Plastics Series), 2021. Online available at <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35296>, last accessed on 16 Apr 2021.

World Bank Group (2021b): Market Study for Thailand, Plastics Circularity Opportunities and Barriers (East Asia and Pacific Region Marine Plastics Series), 2021. Online available at <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/35114>.

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.

Lampiran

Tabel A-1: Degradasi biologis plastik *biodegradable* di lingkungan yang berbeda

(a) Degradasi biologis plastik *biodegradable* dalam kondisi pengomposan industri (50-60°C)

Bahan	Suhu	Tingkat Degradasi	Waktu	Sumber
TPS	58°C	80%	45 hari	Shin et al. 2004
Botol PLA	58°C	84%	58 hari	Kale et al. 2007b
PHA	55°C	~80%	28 hari	Tabasi & Ajji 2015
PBS/campuran pati (film)	58°C	100%	45 hari	Jayasekara et al. 2003
PCL (film 500 µm)	58°C	40%	45 hari	Shin et al. 2004

(b) Degradasi biologis plastik *biodegradable* di tanah

Bahan	Suhu	Tingkat Degradasi	Waktu	Sumber
PLA (Bubuk, 500 µm)	20°C	< 1%	186 hari	Fraunhofer Umsicht
PHA (film, 620 µm)	20°C	~70%	660 hari	Gomez & Michel 2013
PBS/TPS (bubuk)	25°C	25%	28 hari	Adhikari et al. 2016
PCL	20-25°C	~20%	125 hari	Solaro et al. 1998

(c) Degradasi biologis plastik *biodegradable* di media air

Bahan	Suhu	Tingkat Degradasi	Waktu	Sumber
PLA (Bubuk, 500 µm)	20°C	< 10%	118 hari	Fraunhofer Umsicht
TPS/Selulosa	20-25°C	~ 80%	55 hari	Catia Bastioli 1998
PCL (Bubuk 500µm)	20°C	> 90%	28 hari	Fraunhofer Umsicht

Catatan: Angka-angka tersebut didapat dari pengukuran individu yang sangat bergantung pada kondisi selama eksperimen degradasi, seperti jenis tanah, pH media air, dll. Angka-angka tersebut memberikan indikasi, tetapi angka yang berbeda dapat ditemukan jika terjadi perubahan metodologis.

Sumber: Berdasarkan kompilasi dari penulis Umweltbundesamt 2018

Tabel A-2: Standar ISO dan CEN utama yang berkaitan dengan biodegradabilitas plastik

Nama Standar

EN ISO 10210:2017 Plastik — Metode persiapan sampel untuk uji biodegradasi bahan plastik (ISO 10210:2012)
EN 14995:2006 Plastik — Evaluasi kemampuan pengomposan — Skema pengujian dan spesifikasi
EN 13432:2000 Kemasan — Persyaratan kemasan yang dapat dipulihkan kembali melalui pengomposan dan biodegradasi — Skema pengujian dan kriteria evaluasi untuk penerimaan akhir kemasan
EN 14046:2003 Kemasan — Evaluasi biodegradabilitas aerobik akhir bahan kemasan dalam kondisi pengomposan terkontrol — Metode dengan analisis karbon dioksida yang dilepaskan
EN 17033:2018 Plastik — Film mulsa <i>biodegradable</i> untuk pertanian dan hortikultura — Persyaratan dan metode pengujian
Spesifikasi ISO 17088:2012 untuk plastik yang dapat dikomposkan
EN ISO 14855-1:2012 / EN ISO 14855-2:2018 Penentuan biodegradabilitas aerobik akhir bahan plastik dalam kondisi pengomposan terkontrol — Metode dengan analisis karbon dioksida yang dihasilkan — Bagian 1: Metode umum (ISO 14855-1:2012) — Bagian 2: Pengukuran gravimetri karbon dioksida yang dihasilkan dalam uji skala laboratorium (ISO 14855-2:2018)

Nama Standar

EN ISO 16929:2019 Plastik — Penentuan tingkat disintegrasi bahan plastik dengan kondisi pengomposan yang ditentukan dalam uji skala pilot (ISO 16929:2019)
EN ISO 20200:2015 Plastik — Penentuan tingkat disintegrasi bahan plastik dengan kondisi pengomposan simulasi dalam uji skala laboratorium (ISO 20200:2015)
ISO 23977-1:2020 / ISO 23977-2:2020 Plastik — Penentuan biodegradasi aerobik bahan plastik yang terpapar air laut — Bagian 1: Metode dengan analisis karbon dioksida yang dihasilkan — Bagian 2: Metode dengan pengukuran kebutuhan oksigen dalam respirometer tertutup
EN ISO 14853:2017 Plastik — Penentuan biodegradasi anaerobik akhir bahan plastik dalam sistem air — Metode dengan pengukuran produksi biogas (ISO 14853:2016)
EN ISO 14851:2019 Penentuan biodegradabilitas aerobik akhir bahan plastik dalam media air — Metode dengan pengukuran kebutuhan oksigen dalam respirometer tertutup (ISO 14851:2019)
EN ISO 14852:2018 Penentuan biodegradabilitas aerobik akhir bahan plastik dalam media air — Metode dengan analisis karbon dioksida yang dihasilkan (ISO 14852:2018)
EN 17417:2020 Penentuan biodegradasi akhir bahan plastik dalam sistem air dengan kondisi anoksik (denitrifikasi) — Metode dengan pengukuran kenaikan tekanan
EN ISO 10634:2018 Kualitas air — Persiapan dan pengolahan senyawa organik yang sukar larut dalam air untuk evaluasi selanjutnya terhadap biodegradabilitas dalam media air (ISO 10634:2018)
EN ISO 14593:2005 Kualitas air — Evaluasi biodegradabilitas aerobik akhir senyawa organik dalam media air — Metode dengan analisis karbon anorganik dalam bejana tertutup (uji <i>headspace CO₂</i>) (ISO 14593:1999)
EN ISO 11733:2004 Kualitas air — Penentuan eliminasi dan biodegradabilitas senyawa organik dalam media air — Uji simulasi lumpur aktif (ISO 11733:2004)
EN ISO 17556:2019 Plastik — Penentuan biodegradabilitas aerobik akhir bahan plastik di tanah dengan mengukur kebutuhan oksigen dalam respirometer atau jumlah karbon dioksida yang dihasilkan (ISO 17556:2019)
EN ISO 11266:2020 Kualitas tanah — Panduan uji laboratorium untuk biodegradasi bahan kimia organik di tanah dalam kondisi aerobik (ISO 11266:1994)
EN ISO 15985:2017 Plastik — Penentuan biodegradasi anaerobik akhir dalam kondisi pencernaan anaerobik padatan tinggi — Metode dengan analisis biogas yang dilepaskan (ISO 15985:2014)
EN ISO 18830:2017 Plastik — Penentuan biodegradasi aerobik bahan plastik tidak mengambang di ruang air laut/sedimen berpasir — Metode dengan pengukuran kebutuhan oksigen dalam respirometer tertutup (ISO 18830:2016)
EN ISO 19679:2020 Plastik — Penentuan biodegradasi aerobik bahan plastik tidak mengambang di ruang air laut/sedimen — Metode dengan analisis karbon dioksida yang dihasilkan (ISO 19679:2020)
ISO 13975:2019 Plastik — Penentuan biodegradasi anaerobik akhir bahan plastik dalam sistem pencernaan <i>slurry</i> terkontrol — Metode dengan pengukuran produksi biogas
ISO 22404:2019 Plastik — Penentuan biodegradasi aerobik bahan tidak mengambang yang terpapar sedimen laut — Metode dengan analisis karbon dioksida yang dihasilkan
ISO/DIS 23517-1 (sedang dikembangkan) Plastik — Film mulsa <i>biodegradable</i> untuk pertanian dan hortikultura Bagian 1: Persyaratan dan metode pengujian terkait biodegradasi, ekotoksitas, dan pengendalian konstituen

Sumber: Tabel 3 di Di Bartolo et al. 2021

Informasi tambahan tentang standar tersedia di Tabel 4 (Daftar standar CEN dan ISO, laporan teknis, dan spesifikasi, yang relevan dengan penilaian siklus hidup bioplastik) yang disusun oleh Di Bartolo et al. (2021).

Gambar A-2: Daftar Periksa Klaim ECOS untuk penilaian Klaim Hijau pada Produk untuk kategori produk yang relevan

(a) Periksa klaim pengomposan

 Relevance
<ul style="list-style-type: none">✗ Kecualikan produk-produk yang biasanya dapat digunakan ulang atau didaur ulang, mengikuti hierarki sirkularitas²²;
<ul style="list-style-type: none">✓ Implementasikan hanya pada produk-produk yang mengandung bahan organik untuk dibuang, sehingga meningkatkan atau memfasilitasi pengumpulan sampah organik;
<ul style="list-style-type: none">✓ Implementasikan hanya pada produk-produk yang secara keseluruhan dapat dikompos, bahkan setelah penggunaan;
<ul style="list-style-type: none">✓ Implementasikan hanya pada lokasi-lokasi dimana infrastruktur pengomposan tersedia dalam skala besar;
<ul style="list-style-type: none">✓ Sertakan instruksi tentang kondisi pengomposan yang sesuai (jangka waktu teoretis, suhu dan kondisi pengomposan kelembaban).
 Reliability
<ul style="list-style-type: none">✓ Pastikan bahwa seluruh komponen dalam produk diujicobakan secara terpisah dan terbukti dapat dikompos
 Clarity
<ul style="list-style-type: none">✓ Tawarkan instruksi untuk konsumen tentang pembuangan produk, langsung pada produknya;✓ Bedakan secara jelas antara pengomposan skala rumah dan industri;✓ Secara eksplisit cegah pembuangan sampah sembarangan;✓ Tentukan kondisi optimal (jangka waktu, temperatur, kelembapan) dimana pengomposan berlangsung✓ Sertakan estimasi waktu konservatif untuk biodegradasi penuh

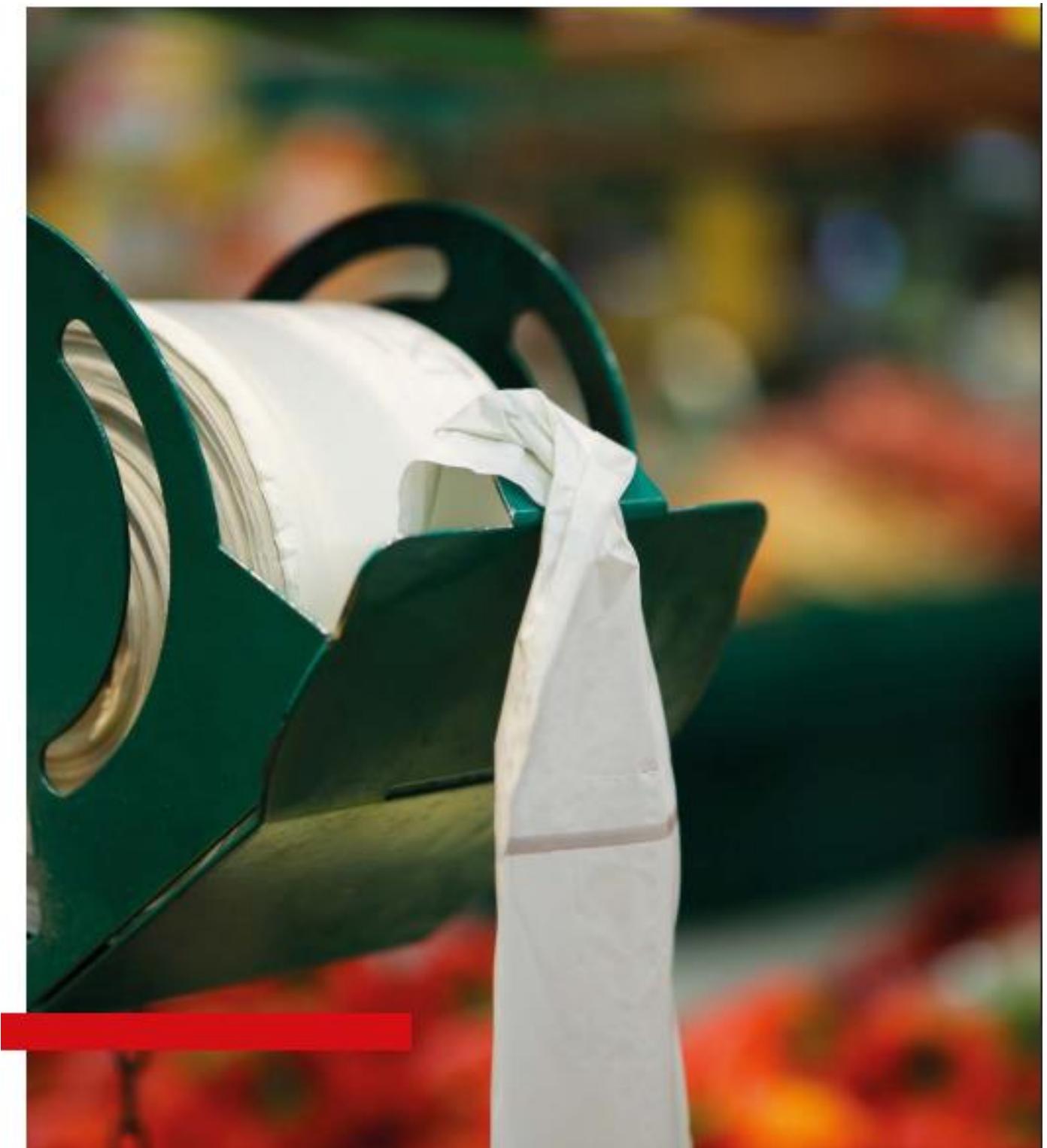
(b) Periksa klaim biodegradabilitas

 Relevance
<ul style="list-style-type: none">✗ Kecualikan produk-produk yang hanya dapat dikompos pada lingkungan tertentu (seperti proses kompos di industri);
<ul style="list-style-type: none">✓ Sertakan hanya produk-produk yang dengan penggunaan utamanya dibuang di lingkungan terbuka, tetapi tidak sebagai sarana untuk mengatasi pembuangan sampah sembarangan;
<ul style="list-style-type: none">✓ Implementasikan hanya jika seluruh komponen yang terkandung dalam plastiknya <i>biodegradable</i>, termasuk aditifnya;
<ul style="list-style-type: none">✗ Jangan digunakan untuk produk-produk yang memiliki komponen tidak <i>biodegradable</i>;
<ul style="list-style-type: none">✓ Mempertimbangkan kondisi regional yang akan mempengaruhi <i>biodegradability</i>, termasuk kondisi iklim, temperatur tanah, salinitas air dan lain lain;
 Reliability
<ul style="list-style-type: none">✓ Pastikan bahwa pengujian biodegradasi meliputi keseluruhan komponen dalam produk
 Clarity
<ul style="list-style-type: none">✓ Informasikan kondisi lingkungan yang cocok untuk biodegradasi (tanah, air, dkk)✓ Sebutkan secara jelas bahwa produk seharusnya tidak dibuang sembarangan

(c) Periksa klaim kandungan berbasis hayati

 Relevance
<ul style="list-style-type: none">✓ Implementasikan hanya pada bahan berbasis hayati yang didapatkan secara "berkelanjutan" seperti yang diindikasikan pada standar yang dikuati
<ul style="list-style-type: none">✓ Sertakan bukti nilai keberlanjutan yang lebih tinggi melalui analisis siklus hidup (LCA)
<ul style="list-style-type: none">✗ Kecualikan aditif yang berbahaya non hayati dari pelaporan konten berbahaya hayati
 Reliability
<ul style="list-style-type: none">✓ Pastikan bahwa konten berbahaya hayati yang telah diverifikasi tersedia dalam produk (produk yang konten berbasis hayatinya didapatkan melalui plastik kredit atau akuntansi kreatif harus dikecualikan)
 Clarity
<ul style="list-style-type: none">✓ Sertakan persentase yang presisi untuk konten kandungan bahan nabatinya;;✓ Sebutkan secara eksplisit bahan hayati yang diproduksi secara 'berkelanjutan' (sesuai dengan standar tertentu) dan dengan lugas mengkomunikasikan nilai keberlanjutan produk yang lebih tinggi;✗ Kecualikan istilah yang tidak jelas atau menyesatkan seperti "plastik sirkular", "bioplastik" atau "bebas plastik" untuk mengindikasikan konten berbasis hayati;✓ Pastikan instruksi untuk pengelolaan di akhir masa pakai produk diperhatikan secara jelas mengingat kebingungan pada consumer terkait <i>bio-based</i> vs <i>biodegradable</i>.

Sumber: (ECOS; Rethink Plastic; #breakfreefromplastic 2021)



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