



Insentif teknologi pengurangan susut dan limbah pangan di Indonesia



Ministry of National
Development Planning/Bappenas
Republic of Indonesia



Koalisi
Sistem Pangan Lestari
Bogor dan Food and Land Use Coalition (FOLUC)



P4iG
Pioneering Green Partnerships,
Investing in Impact



ibcsd



EMBASSY OF DENMARK
Jakarta

CONTENTS

Daftar singkatan.....	2
Ikhtisar	3
Tren teknologi pengurangan susut dan limbah pangan: tingkat global dan di Indonesia	3
Perkembangan teknologi, kesempatan dan tantangan di Indonesia	6
Teknologi pelapis pangan	7
Pengelolaan sampah organik (pengumpulan)	8
Teknologi valorisasi	10
Aplikasi penyelamatan pangan dan model donasi pangan	14
Sistem ketertelusuran	15
Ringkasan dan rekomendasi	16
Catatan akhir	21

DAFTAR SINGKATAN

Bappenas : Badan Pembangunan Nasional (Ministry of National Development Planning)

Bappenas : Badan Perencanaan
Pembangunan Nasional

BRIN : Badan Riset dan Inovasi Nasional

BSF : Black Soldier Fly (Lalat Tentara Hitam)

CAGR : Compound annual growth rate (tingkat
pertumbuhan tahunan gabungan)

CSI : Carbon Standard Institute (Insitut
Standar Karbon)

FAO : United Nations Food and Agriculture
Organizatio (Organisasi Pangan dan Pertanian
Perserikatan Bangsa-Bangsa)

FLW : Food loss and waste (susut dan limbah
pangan); dengan rincian food loss 'susut pangan' dan
food waste 'limbah pangan'

GHP : Good handling practices (praktik penanganan
pangan yang baik)

IBCSD : Indonesian Business Council for
Sustainable Development

P4G : Partnering for Green Growth and the
Global Goals 2030

RPJPN : Rencana Pembangunan Jangka
Panjang Nasional

TPA : Tempat pemrosesan akhir

UKM : Usaha kecil dan menengah

IKHTISAR

Pada 30 Oktober 2024 *Partnering for Green Growth and the Global Goals 2030 (P4G)* menyelenggarakan dialog kebijakan bertema "Insentif Teknologi Pengurangan Susut dan Limbah Pangan". Dialog ini bekerja sama dengan Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Kedutaan Besar Denmark di Indonesia, Dewan Bisnis Indonesia untuk Pembangunan Berkelanjutan (Indonesian Business Council for Sustainable Development; IBCSD), dan tim Koalisi Pangan dan Tata Guna Lahan World Resources Institute.

Dialog kebijakan tersebut menyoroti kebutuhan mendesak untuk mengakui potensi teknologi dalam mendukung solusi berkelanjutan dalam pengurangan susut dan limbah pangan. Sekitar 50 pemangku kepentingan utama dari berbagai sektor berkumpul untuk berbagi pengetahuan, membahas tantangan, dan mendalami rekomendasi kebijakan nyata yang dapat ditindaklanjuti demi mendukung Peta Jalan Ekonomi Sirkular Indonesia dan Peta Jalan Pengelolaan Susut dan Limbah Pangan. Kegiatan ini merangkum kesimpulan pertemuan dan menggabungkan data sekunder tambahan yang akan dibagikan kepada khalayak yang lebih luas.

Diskusi utama berpusat pada tiga tema fundamental:

- Menstandarkan definisi dan metrik untuk pengurangan susut dan limbah pangan, yang kerap disebut FLW (*food loss and waste*), di Indonesia
- Menciptakan insentif untuk teknologi pengurangan FLW
- Memperkuat strategi inovasi Indonesia untuk solusi teknologi FLW

Rekomendasi utama untuk mempercepat adopsi teknologi pengurangan FLW di Indonesia

- mengakui FLW sebagai area kritis melalui regulasi dan mewajibkan pendekatan holistik untuk mencapai sistem pangan berkelanjutan;
- memberikan insentif untuk kemajuan teknologi FLW sejak penelitian dan pengembangan hingga komersialisasi;
- meningkatkan digitalisasi dan mendorong sistem ketertelusuran terpadu dengan berbagi data di seluruh tahapan pasokan pangan; dan
- membentuk konsorsium publik-swasta untuk memperkuat bioekonomi.

TREN TEKNOLOGI PENGURANGAN SUSUT DAN LIMBAH PANGAN: TINGKAT GLOBAL DAN DI INDONESIA

Susut dan limbah pangan (FLW) merupakan krisis global yang terus berkembang dan mengancam ketahanan pangan, stabilitas ekonomi, dan keberlanjutan lingkungan. Hampir sepertiga dari seluruh pangan yang diproduksi (sekitar 1,3 miliar ton) hilang atau terbuang setiap tahun, merugikan ekonomi global sekitar US\$1 triliun.¹ Sementara itu, 783 juta orang menghadapi kelaparan. Dan, sepertiga populasi dunia berjuang melawan kerawanan pangan. Ini menyoroti sebuah kontradiksi yang gamblang. FLW bertanggung jawab atas 8–10 persen emisi gas rumah kaca global, hampir lima kali lipat emisi dari industri penerbangan. Hal ini juga menguras sumber daya air, lahan, dan energi.

Pengategorian penyebab FLW harus mempertimbangkan dua jalur penyebab, yaitu langsung dan tidak langsung (Tabel 1).²

Tabel 1 | Penyebab langsung dan tidak langsung FLW

Penyebab langsung	• Praktik penanganan pangan yang baik (good handling practices; GHP) masih kurang • Produksi berlebih • Teknik panen yang buruk • Ruang penyimpanan kurang optimal • Teknologi terbatas • Pengemasan/penyimpanan buruk • Penafsiran tanggal kedaluwarsa dan tanggal baik-sebelum masih salah • Porsi berlebih dan perilaku konsumen
Penyebab tidak langsung	• Informasi ataupun edukasi bagi produsen dan konsumen tentang FLW masih kurang • Regulasi sampah makanan masih kurang • Infrastruktur terbatas • Standar kualitas pasar dan preferensi konsumen • Persaingan pasar dan daya beli konsumen yang terbatas

Sumber: WRI Indonesia dan Koalisi Sistem Pangan Lestari (2023)

Meskipun FLW terjadi di kelima tahap rantai pasok pangan—produksi, pascapanen dan penyimpanan, pengolahan dan pengemasan, distribusi dan pemasaran, serta konsumsi—penyebab FLW bervariasi di setiap wilayah. Di negara-negara berkembang, hampir 44 persen susut pangan (*food loss*) terjadi pada pascapanen dan pemrosesan akibat penyimpanan, transportasi, dan kendala keuangan yang buruk. Sebaliknya, negara-negara maju mencatat sekitar 40 persen limbah pangan (*food waste*) di tingkat konsumen, yang disebabkan pembelian berlebihan, penyimpanan yang tidak tepat, dan kebingungan mengenai label.³ Yang semakin mengkhawatirkan, 40 persen dari seluruh pangan hasil pertanian tetap tidak terkonsumsi, dengan laporan-laporan memperkirakan limbah pangan global mencapai 2,5 miliar ton per tahun, hampir dua kali lipat angka sebelumnya.⁴

Penanganan FLW membutuhkan investasi yang signifikan dalam infrastruktur, pendidikan, dan teknologi. Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa (United Nations Food and Agriculture Organization; FAO) memperkirakan, sekitar \$40 miliar per tahun dibutuhkan selama beberapa dekade mendatang untuk mengurangi limbah di setiap tahap rantai pasokan.⁵ Perbaikan infrastruktur penyimpanan dan transportasi, terutama di negara-negara berkembang, sangat penting untuk mengurangi penyusutan pascapanen. Sistem

distribusi pangan yang lebih efisien dapat membantu mencegah penyusutan sebelum mencapai konsumen, memastikan surplus pangan dialihkan, tidak dibuang. Yang tidak kalah penting adalah meningkatkan kesadaran dan edukasi tentang pengelolaan pangan, mendorong perubahan perilaku yang mendorong konsumsi yang bertanggung jawab, dan mengurangi limbah yang tidak perlu.

Pada saat yang sama pengurangan FLW mendatangkan peluang ekonomi yang signifikan. Mengurangi limbah konsumen sebesar 20–25 persen pada 2030 dapat menghemat \$120–300 miliar per tahun⁶ dan setiap \$1 yang diinvestasikan dalam pengurangan limbah menghasilkan keuntungan \$14.⁷ Inovasi teknologi seperti inovasi penyimpanan, pengemasan, dan pemantauan pangan memainkan peran kunci dalam meminimalkan limbah. Pemantauan sensor *internet of things* (IoT) secara *real-time* memastikan kontrol suhu dan kelembapan selama transportasi, mengurangi pembusukan sebelum makanan mencapai konsumen. Model penetapan harga dinamis memungkinkan peritel menyesuaikan harga berdasarkan tanggal kedaluwarsa sehingga meningkatkan penjualan produk yang mungkin akan dibuang.

Start-up seperti *Wasteless* menggunakan penetapan harga berbasis kecerdasan buatan (*artificial intelligence*; AI) untuk mengoptimalkan

biaya pangan. *Wasteless* telah membantu mengalihkan 750 ton sampah dari tempat pemrosesan akhir (TPA), setara dengan 50 truk, dengan menerapkan strategi diskon cerdas.⁸ Sementara itu, *Hazel Technologies* telah mengembangkan *sachet* yang memperpanjang kesegaran produk yang membantu mengawetkan produk lebih lama, memperpanjang masa simpannya hingga 20–30 persen, dan menjaga buah serta sayuran tetap segar hingga tiga minggu lebih lama, bahkan beberapa produk dapat bertahan hingga 12 bulan.⁹

Saat ini \$0,1 miliar per tahun—kurang dari 1 persen dari investasi pertanian yang terlewat—teralokasi untuk solusi FLW sehingga membatasi skala dan dampak intervensi yang diperlukan.¹⁰ Di sisi pembiayaan sektor swasta, investasi untuk solusi FLW juga tidak tumbuh sesuai kebutuhan.

Start-up di sektor ini mengumpulkan \$15,6 miliar secara global pada 2023, turun 49,2 persen dari \$30,5 miliar yang terkumpul tahun 2022. Penurunan ini terjadi baik dalam dolar maupun secara keseluruhan dari pendanaan modal ventura global. Adapun sektor *agrifoodtech* mewakili 5,5 persen dari seluruh dolar modal ventura pada 2023 dibandingkan dengan 7,6 persen tahun 2021. Penurunan ini disebabkan beberapa alasan, termasuk valuasi *start-up* yang terlalu tinggi antara tahun 2018–2021, kurangnya penjualan, dan kurangnya dukungan pemerintah.

Meskipun semua kawasan global mengalami penurunan, Amerika Serikat secara khusus terpukul sangat keras. Sementara itu, tingkat investasi Afrika sebesar \$5,1 miliar pada 2023 lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat investasi tahun 2021 (\$626 juta). Akan tetapi, *start-up* Asia hanya mengumpulkan \$3,8 miliar pada 2023 dibandingkan dengan \$16,3 miliar tahun 2021. Investasi pada solusi hulu lebih besar daripada *start-up* di solusi hilir.

Berdasarkan tren tersebut dan semua pengetahuan yang tertuang dalam lokakarya di Indonesia, makalah ini mengulas teknologi FLW dari *start-up* P4G dan mencakup rekomendasi yang telah dibahas yang dapat membantu meningkatkan skala sektor ini di Indonesia.

Susut dan limbah pangan di Indonesia

Indonesia merupakan penghasil FLW terbesar kedua di dunia. Negara ini membuang berkisar 115–184 kilogram pangan per orang per tahun¹¹, dengan total kerugian ekonomi mencapai \$39 miliar. Angka ini setara dengan 4–5 persen produk domestik bruto Indonesia. Seluruh makanan yang terbuang

dapat memenuhi kebutuhan gizi 61–125 juta orang per tahun. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) memperkirakan, FLW akan meningkat menjadi sekitar 336,76 kg pangan per kapita per tahun apabila sesuai skenario bisnis seperti biasa. Untuk mencegahnya, Indonesia telah menetapkan target pengurangan FLW sebesar 50 persen pada 2030.

Dengan mengakui isu FLW, Indonesia telah menetapkan beberapa target guna mengurangi FLW. Misalnya, Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN 2025–2045) menguraikan bahwa Indonesia bertujuan untuk mengatasi krisis pangan dengan mencapai ketahanan pangan pada 2045 dan mengurangi susut dan limbah pangan sebesar 50 persen tahun 2030. Guna semakin mendukung tujuan-tujuan ini, Indonesia juga telah mengembangkan Peta Jalan Nasional Susut dan Limbah Pangan (Peta Jalan FLW), yang berfokus pada peningkatan ketahanan pangan nasional melalui pengembangan kebijakan dan strategi, pengembangan kapasitas dan edukasi, peningkatan koordinasi dan kolaborasi, serta peningkatan teknologi dan infrastruktur. Selain itu, peta jalan tersebut juga mencakup pertimbangan untuk menerapkan sistem insentif dan disinsentif untuk susut dan limbah pangan.

Dokumen lain seperti Jalur Strategis Nasional Transformasi Sistem Pangan Indonesia¹² juga telah mengidentifikasi susut dan limbah pangan sebagai target penting dengan beberapa prioritas utama berikut:

- Prioritas 1 berfokus pada pemberantasan kelaparan, peningkatan kualitas pangan, dan dukungan sumber pangan dari wilayah pesisir dan laut.
- Prioritas 2 menekankan perlunya mengurangi susut dan limbah pangan melalui inovasi teknologi yang meningkatkan efisiensi penanganan pangan, yang mengarah pada peningkatan produksi dan penurunan emisi gas rumah kaca.
- Prioritas 3 berfokus pada dukungan strategi bisnis, seperti pemberdayaan petani dengan meningkatkan keterampilan teknologi dan inovasi, khususnya dalam transformasi digital, sekaligus menekankan pentingnya memperkuat sistem ketahanan pangan lokal dan mendorong penelitian serta inovasi dalam praktik pertanian berkelanjutan.¹³

Beberapa peraturan menyoroti teknologi sebagai salah satu pendorong utama untuk mengurangi susut dan limbah pangan. Peta Jalan Susut dan Limbah Pangan (FLW) menyoroti pentingnya mendukung inovasi dan teknologi sebagai target nasional (Strategi 4) dan menyoroti pentingnya peningkatan strategi pengembangan teknologi infrastruktur, dengan mendorong riset untuk teknologi baru dan kolaborasi dengan perusahaan *start-up* dan teknologi selama periode 2021–2025 dan 2026–2030.¹⁴

Namun, ketika membahas susut dan limbah pangan, Indonesia saat ini belum memiliki definisi nasional yang membahas isu-isu ini dalam konteks peningkatan ketahanan pangan dan perlindungan lingkungan. Terdapat tiga kerangka hukum yang membahas “pengelolaan pangan” dan “pangan sebagai limbah”. Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 menguraikan pengelolaan pangan, menekankan bahwa pengelolaan tersebut harus memenuhi kebutuhan dasar manusia dan memberikan manfaat yang adil dan berkelanjutan berdasarkan kedaulatan pangan, kemandirian, dan ketahanan pangan. Pasal 5 merinci lebih lanjut aspek-aspek penting pengelolaan pangan, termasuk perencanaan, ketersediaan, keterjangkauan, dan konsumsi.¹⁵ UU No. 18/2008 berfokus pada pengelolaan sampah¹⁶, sementara UU No. 32/2009 membahas perlindungan lingkungan.¹⁷ Keduanya mengategorikan sampah organik yang memerlukan pengumpulan dan pengelolaan yang tepat untuk menjamin keberlanjutan lingkungan.

Undang-undang saat ini menetapkan dua kementerian yang bertanggung jawab atas susut dan limbah pangan, yaitu Kementerian Lingkungan

Hidup dan Kehutanan serta Kementerian Pertanian. Akan tetapi, sayangnya melewatkan kesempatan untuk menciptakan hubungan antarkementerian guna mendukung sistem pangan berkelanjutan, yang mencakup pengelolaan sampah pangan yang efisien dan ketahanan pangan. Hal ini menghambat pengembangan teknologi FLW karena kedua definisi tersebut mengabaikan FLW sebagai *input* potensial produksi dalam ekonomi sirkular dan menganggap FLW sebagai *output* akhir dari proses linier. Selain itu, anggaran riset dan teknologi yang dialokasikan untuk Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) kurang dari 1 persen dari anggaran nasional¹⁸, yang membatasi kemajuan teknologi yang bertujuan untuk menangani sampah pangan, ekonomi sirkular, dan ketahanan pangan.

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI, KESEMPATAN DAN TANTANGAN DI INDONESIA

Terdapat berbagai teknologi FLW yang berkembang di Indonesia di sepanjang rantai nilai pangan. Bagian berikut akan menjelaskan secara singkat jenis teknologi dan berbagai tantangan yang dihadapi tiap-tiap tahapan di Indonesia.

NILAI RANTAI	JENIS TEKNOLOGI	CONTOH DI INDONESIA
Produksi atau pascapanen	Pelapis pangan, Black Soldier Fly (BSF), biochar, edible coating	BIKI, Foodcycle Farm, Magalarva
Transit	Truk pengiriman yang dilengkapi dengan freezer	Lalamove
Pemrosesan makanan (food processing)	Penanganan pangan, food handling, upcycling pangan	BIKI, RE:harvest, Great Giant Pineapple
Ritel	Penyelamatan pangan	Surplus, Garda Pangan
Konsumsi	Pengumpulan pengelolaan sampah, ketertelusuran	Jangjo, BIKI Traceability

Teknologi pelapis pangan

Deskripsi teknologi

Pelapis pangan merupakan solusi transformatif untuk menghadapi tantangan FLW, menyediakan alternatif kemasan konvensional yang dapat terurai secara hayati dan berkelanjutan. Pelapis ini mengatur pertukaran gas, transfer kelembapan, dan oksidasi, serta membantu meningkatkan pengawetan makanan dan memperpanjang umur simpan barang yang mudah rusak. Solusi ini mengurangi limbah makanan dan memberikan peluang bagi produsen dan pengecer untuk meminimalkan kerugian pendapatan. Pasar *edible coating* secara global mencerminkan kemajuan pesat di bidang ini. Mencapai \$3,2 miliar pada 2023¹⁹ dan diproyeksikan tumbuh pada tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (*compound annual growth rate*; CAGR) sebesar 7,5–9,0 persen²⁰, mencapai \$4,2 miliar pada 2028 dan diperkirakan mencapai \$5,65 miliar tahun 2032.²¹ Pertumbuhan ini terdorong oleh permintaan konsumen akan material yang dapat terurai secara hayati dan inovasi dalam teknologi pengawetan makanan. Perusahaan seperti *Apeel* yang mengumpulkan \$640 juta²² untuk teknologi edible coating, Mori dengan investasi \$85,7 juta dalam perlindungan makanan berbasis sutra, dan *Saveggy* yang mendapatkan \$1,87 juta merupakan contoh momentum global menuju solusi berkelanjutan.

Contoh di Indonesia

Di Indonesia, edible coating sudah mulai diadopsi sebagai solusi praktis untuk tantangan pengelolaan limbah di daerah perkotaan dan sebagai mekanisme pendukung bagi petani yang menghadapi tekanan yang semakin besar akibat meningkatnya permintaan pertanian. Hasil pertanian Indonesia yang beragam,

termasuk tanaman bernilai tinggi seperti cabai dan mangga, menghadapi tantangan signifikan terkait masa simpan yang pendek dan penyusutan pascapanen. *Edible coating* yang terbuat dari bahan-bahan alami seperti polisakarida, protein, dan lipid bersifat *biodegradable* dan sejalan dengan tujuan keberlanjutan global, memberikan peluang bagi Indonesia untuk memosisikan diri sebagai pemimpin dalam kemasan pangan berkelanjutan. Contoh perusahaan *start-up* yang bergerak di bidang ini adalah BIKI, yang memproduksi teknologi pelapis pangan menggunakan chitosan, sejenis zat gula yang diambil dari kerangka atau cangkang hewan laut. BIKI, sebuah perusahaan teknologi pangan Indonesia, mengatasi tantangan penyusutan pangan yang signifikan di negara ini melalui solusi praktis. Salah satu intervensi utamanya ialah Solusi *Edible Coating* Chitasil, sebuah teknologi yang dirancang untuk memperpanjang masa simpan buah dan sayur antara 8–40 hari, sesuai jenis produknya. Solusi ini menyasar inefisiensi dalam penanganan pascapanen, sebagai penyebab sebagian besar dari 5,7 juta ton kehilangan pangan tahunan di Indonesia.

Masa simpan yang lebih lama berkat Chitasil memungkinkan petani dan pengecer untuk mengurangi pembusukan, mengoptimalkan perputaran inventaris, dan meminimalkan kerugian. Lebih lanjut, pelapis pangan ini berkontribusi terhadap keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi emisi metana dari sampah organik yang terurai di TPA, sejalan dengan tujuan aksi iklim Indonesia yang lebih luas.

Selain inovasi teknologi, BIKI menawarkan pelatihan praktik penanganan yang baik (GHP) dan mempromosikan sistem ketertelusuran pangan guna mendorong perilaku konsumen yang berkelanjutan. Upaya ini lengkap dengan advokasi kebijakan BIKI, yang mencakup rekomendasi metode standar dalam menghitung susut dan limbah pangan, serta regulasi untuk pelabelan buah dan sayur.

Tantangan dan rekomendasi

Kerangka regulasi Indonesia melengkapi inovasi ini, dengan kebijakan seperti Peraturan Pemerintah No. 86/2019 tentang Keamanan Pangan yang menekankan perlunya kemasan pelindung yang menjaga kualitas pangan dan mencegah kontaminasi.²³ Demikian pula Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan No. 11/2019²⁴ dan Peraturan Pemerintah No. 28/2004 memberikan pedoman untuk bahan tambahan pangan dan praktik pertanian yang menciptakan landasan untuk penerapan pelapis pangan yang aman.²⁵ Namun, terlepas dari regulasi ini, belum ada kebijakan khusus yang secara eksklusif membahas dan mendukung lebih lanjut penelitian dan pengembangan teknologi pelapis pangan. Kesenjangan ini menggarisbawahi perlunya peningkatan investasi penelitian dan pengembangan untuk membuka potensi penuh solusi ini.

Pengelolaan sampah organik (pengumpulan)

Deskripsi teknologi

Pengelolaan sampah organik yang efisien tergantung pada layanan pengumpulan berbasis teknologi. Layanan ini menghubungkan pengguna dan pengangkut, mengenakan biaya untuk pengambilan di tepi jalan, penggunaan pusat pembuangan, ataupun pengumpulan komersial khusus dari bisnis dan generator skala besar. Selanjutnya, sampah diproses melalui metode yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik, seperti insinerasi, pengolahan mekanis-biologis, atau pengomposan.

Contoh di Indonesia

FoodCycle dan Jangjo adalah dua organisasi dalam ekosistem pengelolaan sampah makanan Indonesia yang menerapkan pendekatan inovatif demi mengatasi tantangan sampah organik. FoodCycle beroperasi sebagai platform penyelamatan dan donasi makanan, mendistribusikan kembali

kelebihan makanan kepada masyarakat kurang mampu untuk meminimalkan sampah makanan dan mengatasi kelaparan. Upaya platform ini mencakup kemitraan dengan hotel, restoran, dan peritel untuk memulihkan makanan layak konsumsi yang seharusnya terbuang sia-sia. Selain itu, FoodCycle juga berupaya mengubah sampah makanan yang tidak layak konsumsi menjadi pakan ternak menggunakan larva Lalat Tentara Hitam (*Black Soldier Fly*; BSF), yang berkontribusi pada pengurangan sampah dan pemulihan sumber daya. Namun, FoodCycle menghadapi tantangan finansial untuk menutupi biaya logistik, termasuk transportasi dan penanganan, yang mempersulit skalabilitas operasinya.

Serupa dengan itu, Jangjo berspesialisasi dalam solusi pengelolaan sampah berkelanjutan, dengan fokus pada pemberdayaan masyarakat untuk memilah dan mengolah sampah secara efektif. Jangjo berkolaborasi dengan berbagai bisnis dan komunitas perumahan untuk menerapkan sistem pengelolaan sampah yang disesuaikan, termasuk pengolahan sampah organik. Seperti FoodCycle, Jangjo memanfaatkan teknologi BSF untuk mengubah sampah makanan menjadi pakan ternak berprotein tinggi. Namun, mereka menghadapi kendala serupa dalam hal logistik, terutama tingginya biaya pengumpulan, pengangkutan, dan pengolahan sampah makanan dari berbagai sumber.

Tantangan dan rekomendasi

Secara historis, pengelolaan sampah di Indonesia sangat tergantung pada solusi di bagian hilir, yaitu sampah diperlakukan sebagai produk sampingan tanpa memperhatikan nilai potensialnya. Pendekatan ini mengakibatkan inefisiensi yang signifikan dan ketergantungan yang berlebihan pada sumber daya alam. Namun, pergeseran dimulai dengan diberlakukannya Undang-Undang No. 18/2008, yang menekankan pengurangan dan daur ulang sampah dalam kerangka ekonomi sirkular.²⁶

Selama ini Pemerintah Indonesia telah menerapkan berbagai kebijakan untuk meningkatkan sistem pengelolaan sampah. Peraturan seperti Peraturan Presiden No. 97/2017²⁷ dan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 75/2019 bertujuan untuk mengurangi sampah di sumbernya dan mendorong pengelolaan sampah yang berkelanjutan.²⁸

Namun, terlepas dari upaya-upaya ini, tetap ada tantangan besar. Anggaran nasional yang teralokasi untuk pengelolaan sampah masih minim, hanya

0,51 persen dari total anggaran tahun.²⁹ Pendanaan pengelolaan sampah di Indonesia sangat tergantung pada anggaran pemerintah daerah karena retribusi sampah sering kali tidak dipungut di tingkat kota dan daerah. Retribusi yang dipungut dari warga biasanya mencakup pengangkutan sampah dari sumbernya ke tempat penyimpanan sementara, tetapi tidak mencakup biaya aktual pengolahan sampah. Keterbatasan dana ini menghambat pengembangan dan penerapan teknologi serta infrastruktur canggih. Banyak daerah masih sangat bergantung pada sistem TPA yang sudah ketinggalan zaman, dengan pembuangan sampah terbuka dan TPA terkendali sebagai praktik standar. Metode-metode ini gagal memaksimalkan nilai sampah organik dan menimbulkan risiko lingkungan.

Keberadaan perusahaan *start-up* seperti FoodCycle Farm dan Jangjo menunjukkan potensi transformatif dari praktik pengelolaan sampah makanan yang inovatif dan menggarisbawahi kebutuhan mendesak akan kemitraan publik-swasta untuk menanggung dukungan logistik dan finansial guna meningkatkan upaya ini. Penerapan Peraturan Menteri Keuangan (Permenkeu) No. 26/2021 dapat meringankan tantangan tersebut dengan memberikan insentif finansial untuk pengembangan infrastruktur dan biaya operasional, termasuk transportasi. Permenkeu No. 26/2021 menawarkan peluang untuk mengatasi tantangan-tantangan ini dan memperluas cakupan pengelolaan sampah makanan.³⁰ Peraturan ini menyediakan jalur bagi pemerintah daerah untuk mengamankan pendanaan bagi inisiatif pengelolaan sampah berkelanjutan dengan mengaitkan insentif keuangan dengan kinerja lingkungan. Daerah yang menunjukkan pengelolaan sampah yang efektif sebagai bagian dari program berbasis ekologi mereka dapat memenuhi syarat untuk mendapatkan dukungan anggaran, menciptakan insentif yang kuat

bagi pemerintah daerah untuk mengintegrasikan pengelolaan sampah makanan ke dalam strategi lingkungan mereka yang lebih luas.

Peraturan ini juga menyediakan mekanisme peningkatan infrastruktur dan mendorong inovasi dalam pengolahan sampah. Hal ini dapat mendorong investasi di luar metode TPA dan pengomposan tradisional dengan mengalokasikan insentif untuk mengembangkan fasilitas seperti pabrik pengolahan sampah makanan atau teknologi penyimpanan canggih. Pasal 7 Ayat 2 menekankan bahwa dana tersebut dapat digunakan untuk mendukung kampanye edukasi publik dan meningkatkan kesadaran tentang pengelolaan sampah makanan di tingkat rumah tangga. Sementara itu, Pasal 11 membuka jalan bagi perusahaan swasta untuk mengakses insentif ini, menciptakan peluang bagi kemitraan publik-swasta, dan mempercepat adopsi teknologi pengolahan sampah makanan yang inovatif.

Selain itu, harus ada upaya penggabungan target nol limbah yang terurai dalam Peraturan Presiden No. 97/2017 dan Peraturan No. 26/2021 untuk membangun kerangka kerja yang komprehensif guna memperluas inisiatif pengelolaan limbah makanan. Kebijakan ini menyoroti potensi transisi dari sistem pengolahan limbah dasar ke pendekatan yang lebih canggih dan berbasis nilai. Misalnya, mengintegrasikan pengelolaan FLW ke dalam metrik kinerja ekologis dapat mendorong daerah untuk mengadopsi teknologi canggih seperti biodigester yang mengubah limbah organik menjadi energi atau sistem berbasis BSF yang mengubah limbah makanan menjadi pakan ternak berprotein tinggi menggunakan metode valorisasi yang akan dijelaskan pada bagian teknologi valorisasi berikut.

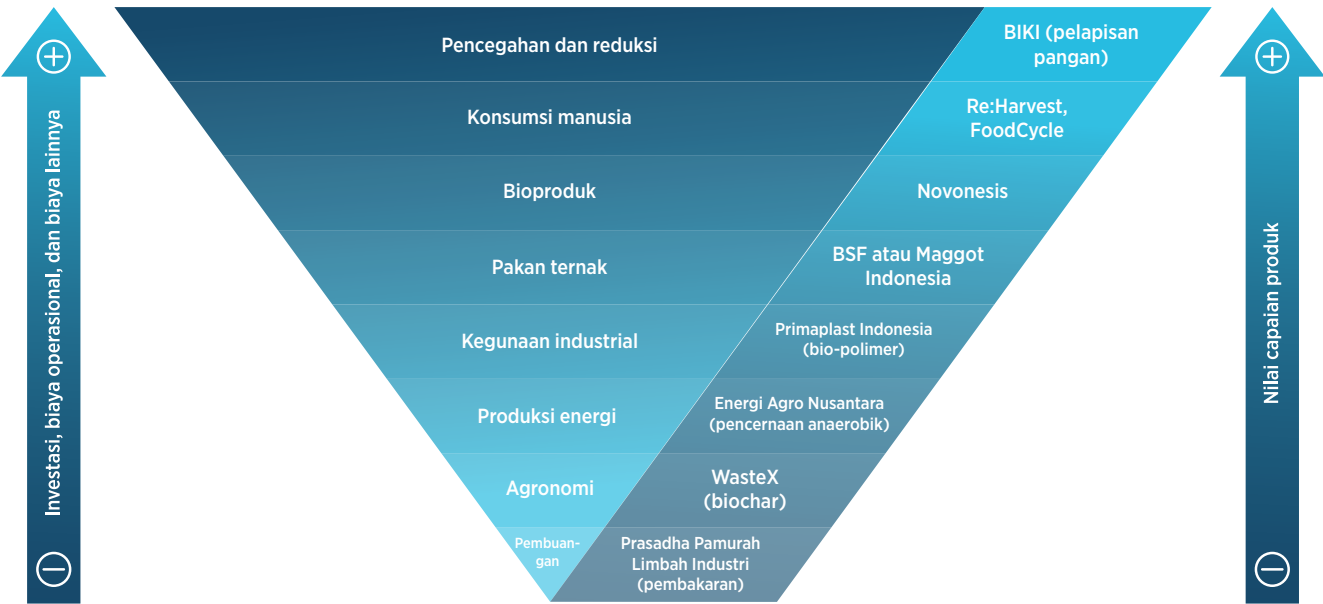
Teknologi valorisasi

Deskripsi teknologi

Valorisasi limbah pangan mencakup berbagai teknologi inovatif yang mengubah limbah organik menjadi sumber daya berharga, termasuk produk bernilai tinggi dan energi terbarukan. Metode-metode ini, yang semakin penting bagi keberlanjutan, meliputi karbonisasi hidrotermal, ekstraksi hijau, fermentasi enzimatik, produksi biofuel dan etanol,

pirolisis, pencernaan anaerobik, pengomposan, dan produksi pakan ternak. Kelayakan teknik-teknik ini berasal dari fakta bahwa aliran limbah pangan dari industri pangan merupakan sumber yang kaya akan beragam nutrisi dan senyawa bioaktif, yang menawarkan potensi signifikan untuk pemulihan sumber daya dan manfaat ekonomi. Teknik valorisasi pangan memiliki kebutuhan investasi yang berbeda seiring dengan peningkatan *output* bernilai tinggi, seperti yang divisualkan pada Gambar 1.³¹

Gambar 1 | Hierarki valorisasi produk sampingan pangan dan contoh di Indonesia



Sumber: Diadaptasi dari Guide for the selection of valorisation options of by-catches document (2018).⁴²

Contoh di Indonesia

Indonesia memiliki berbagai teknologi valorisasi yang mengolah limbah organik menjadi produk bernilai tinggi, termasuk metode konversi limbah menjadi energi dan limbah menjadi pakan. Negara ini secara

aktif mempromosikan teknik valorisasi, khususnya solusi konversi sampah menjadi energi, untuk mengubah sampah organik menjadi energi biomassa.

BIOMASS SUPPLY POTENTIAL UP TO 2040		
BIOMASS SUPPLY POTENTIAL FOR POWER GENERATION (MILLION TONS)		
TIPE BIOMASSA	POTENSI TAHUNAN (JUTA TON)	NILAI ENERGI (MTOE)
Tanaman	75	25
Residu hutan	25	5.7
Residu agroindustri	12	3.5
Residu industri kayu	7	1.8
Lainnya	10	1.8
Total	137	39.4

Sumber: Mahidin et al. (2020) di Laporan Proyek Penelitian ERIA 2022 No. 01.

Indonesia juga sedang membuat kemajuan signifikan dalam mengubah sampah organik menjadi sumber daya bernilai, khususnya dengan menggunakan metode BSF, yang dapat mengurangi sampah organik hingga 60–70 persen dan mengubahnya menjadi pakan ternak.³² Banyak perusahaan di Indonesia, termasuk Margalarva dan Maggot Indonesia, terlibat dalam inisiatif BSF. Meskipun saat ini belum ada peraturan khusus yang mengatur penggunaan BSF, Pemerintah Indonesia secara aktif mendorong masyarakat dan pelaku bisnis untuk berpartisipasi dalam program yang bertujuan memenuhi target nasional pengurangan sampah organik sebesar 40 juta ton emisi CO₂ pada 2030.³³

Potensi lain yang muncul dari teknik valorisasi adalah teknologi *biochar* yang menghadirkan potensi signifikan untuk konversi biomassa di Indonesia. Sebagai salah satu jenis teknologi emisi negatif (*negative emission technology*), *biochar carbon removal* secara efektif menghilangkan karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer dan menyimpannya dengan aman untuk mencegah pelepasannya kembali ke lingkungan. Materi kaya karbon ini diproduksi melalui pirolisis biomassa organik—seperti kayu, residu pertanian, dan limbah—di lingkungan tanpa

oksigen sehingga berkontribusi pada upaya mitigasi perubahan iklim. Kapasitas nasional untuk mengubah biomassa pertanian menjadi *biochar* diperkirakan sekitar 10,7 juta ton, yang dapat menghasilkan sekitar 3,1 juta ton *biochar*.³⁴

Prospek pendapatan global untuk *biochar* diproyeksikan berkisar \$614,7 juta hingga \$1,35 miliar antara tahun 2024 dan 2030, dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) yang diantisipasi sebesar 13,9 persen selama periode ini.³⁵ Menggabungkan produksi *biochar* dengan pembangkitan kredit *offset* karbon menciptakan peluang untuk mengembangkan industri yang menawarkan manfaat ekologi lokal dan keuntungan iklim global sekaligus meningkatkan keuntungan produksi *biochar*. Menurut MSCI Carbon Markets, penggunaan kredit sukarela perusahaan dari proyek *biochar* melonjak dari di bawah 1.000 ton pada 2020 menjadi 34.000 ton setara CO₂ tahun 2022 dan mencapai 65.000 ton pada tahun 2023.³⁶

Salah satu perusahaan yang mengembangkan teknologi *biochar* adalah WasteX, yang menawarkan solusi komprehensif dari limbah menjadi *biochar*, menghadirkan teknologi produksi *biochar* yang

inovatif dan hemat biaya bagi produsen pertanian, usaha kecil dan menengah (UKM), dan pabrik. *Start-up* ini juga mempromosikan adopsi *biochar* di kalangan petani kecil, dengan menyoroti manfaat finansial, operasional, pertanian, dan lingkungan (penghapusan karbon) bagi semua.

Selain menjual peralatan produksi *biochar*, WasteX memungkinkan petani memperoleh pendapatan kredit karbon berdasarkan total *biochar* yang dihasilkan, menghubungkan produksi langsung ke pasar karbon sukarela bagi produsen. Platform ini menawarkan aplikasi yang membantu petani menghitung anggaran yang dapat mereka terima dari karbon yang dihasilkan oleh *biochar* mereka.

Sejauh ini WasteX telah memproduksi 38 ton *biochar* dan sedang dalam proses pendaftaran ke platform pasar karbon bernama Carbon Future. Untuk memvalidasi upaya produksi karbon, mereka telah menerima sertifikasi dari Institut Standar Karbon (Carbon Standard Institute; CSI) dan menargetkan harga \$50 per ton. Saat ini harga karbon di pasar kerajinan berkisar \$100 hingga \$200 per ton setara CO₂.

WasteX berfokus pada produksi *biochar* dan integrasi pasar karbon, sementara inisiatif lain adalah mendalami berbagai cara untuk memaksimalkan nilai limbah organik. Salah satu pendekatan yang sedang berkembang adalah pemanfaatan limbah makanan dan produk sampingan, yang meskipun semakin populer, masih dalam tahap awal di Indonesia. Contohnya adalah teknologi daur ulang makanan yang dikembangkan oleh perusahaan Korea Selatan, RE:Harvest. *Start-up* ini berkolaborasi dengan PT Multibintang Indonesia untuk mengubah produk sampingan dari proses pembuatan bir menjadi produk berprotein tinggi, menampilkan solusi inovatif lain dalam ekonomi sirkular. Namun, karena teknologi daur ulang makanan masih sangat baru di Indonesia, belum ada regulasi yang mendukung perkembangannya di Indonesia dan menghambat transfer teknologi yang lancar.

Contoh lain adalah Adakarbon, sebuah organisasi nirlaba yang berfokus pada produksi *biochar* berbasis masyarakat melalui pelatihan petani dan

implementasi akar rumput. Berbeda dengan model yang berpusat pada teknologi, Adakarbon bekerja langsung dengan petani kecil untuk mengubah residu pertanian menjadi *biochar* untuk perbaikan tanah dan mitigasi iklim. Pendekatan ini mengatasi kehilangan pangan pada tahap produksi, di mana sejumlah besar biomassa cenderung terbuang atau dibakar, dan menyalurkan residu ini ke dalam sistem sirkular yang meningkatkan produktivitas dan kesehatan tanah. Selain kerja lapangan yang sedang berlangsung, Adakarbon sedang mengembangkan konsep “Bank Biochar”, sebuah mekanisme pertukaran di tingkat komunitas tempat petani dapat menukar *biochar* dengan *input* atau berpartisipasi dalam skema kredit karbon. Model ini bertujuan untuk mendemokratisasi akses terhadap pendanaan iklim dengan mendistribusikan kembali pendapatan karbon kepada produsen perdesaan yang menghasilkan *biochar*, memastikan bahwa petani kecil diakui dan diberi penghargaan sebagai kontributor bagi pengurangan FLW dan mitigasi emisi. Dengan menghubungkan valorisasi agronomi, ketahanan sistem pangan, dan akses akar rumput ke pasar karbon, Adakarbon menawarkan model yang dapat direplikasi untuk memajukan tujuan bioekonomi sirkular Indonesia.

Tantangan dan rekomendasi

Meskipun Indonesia sedang menyaksikan munculnya teknologi-teknologi baru dalam proses valorisasi, untuk maju ke teknologi valorisasi bernilai tambah lebih tinggi, Indonesia harus berinvestasi dalam sistem penelitian nasionalnya, menekankan ekonomi berbasis bio, dan mendorong kolaborasi antara peneliti, wirausahawan, dan penyandang dana. Selain itu, regulasi yang mendukung diperlukan untuk memfasilitasi metode pemilahan yang efektif, memilih teknologi yang tepat berdasarkan komposisi sampah makanan, menegakkan standar biosekuriti yang lebih tinggi, dan mendorong upaya bersama antarpemangku kepentingan untuk meningkatkan investasi, memperluas pasar produk bernilai tambah, mengembangkan strategi pemasaran, dan meningkatkan kesadaran publik tentang potensi manfaat valorisasi sampah makanan.³⁷

Boks di bawah ini menyoroti teknologi dan strategi yang diusung oleh Republik Korea dan Denmark yang dipresentasikan dalam lokakarya.

Boks 1. Pendekatan kemitraan publik-swasta Republik Korea dan Denmark terhadap teknologi valorisasi

Pada tahun 2005, Republik Korea menerapkan kebijakan yang melarang pembuangan sampah makanan ke tempat pembuangan akhir (TPA). Praktik ini mengidentifikasi upcycling pangan sebagai area pengembangan utama di bawah teknologi pangan oleh Kementerian Pertanian. Langkah ini meletakkan dasar bagi strategi komprehensif untuk mengelola sampah makanan secara berkelanjutan.

Pada 2010, negara ini memperkenalkan Sistem Biaya Sampah Makanan Berbasis Volume yang inovatif, yang beroperasi dengan sistem bayar per buang untuk mendorong penduduk meminimalkan sampah makanan. Kemajuan lebih lanjut dalam pengelolaan sampah mencakup sistem pengumpulan sampah otomatis di wilayah perkotaan, yang dilengkapi tempat sampah dengan timbangan terintegrasi dan teknologi RFID.

Republik Korea juga memprioritaskan investasi dalam infrastruktur untuk mendukung inisiatif-inisiatif ini. Sebuah pusat penelitian dan pengembangan khusus didirikan, didukung oleh kebijakan pemerintah, untuk berfokus pada upcycling pangan sebagai teknologi inti. Selain itu, investasi signifikan juga dialokasikan dalam pembangunan fasilitas biogas, seperti Pusat Bioenergi Daejeon, untuk mengubah limbah makanan menjadi energi terbarukan, yang memasok energi hijau ke ribuan rumah tangga.

Guna semakin mendukung teknologi pengelolaan susut dan limbah makanan, Republik Korea menjadi yang pertama mendirikan Pusat Litbang Daur Ulang Pangan di Naju. Pemerintah memfasilitasi pendanaan dengan mendirikan perusahaan modal ventura yang dipimpin pemerintah (Korea Venture Investment Corporation dan Korea Fund of Funds) di mana Kementerian Perindustrian dan departemen lainnya menjadi mitra terbatas. Mereka juga memperkenalkan program uji coba regulasi (regulated sandbox) bagi perusahaan start-up, yang membebaskan mereka dari peraturan tertentu untuk mendorong model bisnis hijau yang inovatif.

Serupa dengan itu, Pemerintah Denmark membentuk Panel Bioekonomi Nasional di bawah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kementerian Perindustrian, Bisnis, dan Keuangan. Tujuan panel ini untuk mengembangkan rantai nilai baru dan berkelanjutan dalam bioekonomi. Terdiri dari perusahaan, peneliti, LSM, dan organisasi kunci, panel ini telah mengeluarkan berbagai rekomendasi dan lembar fakta terkait bioekonomi dan biomassa. Fokus mereka meliputi sumber daya hayati terbarukan dan transformasi sumber daya ini, beserta limbahnya, menjadi produk-produk seperti pangan, pakan, biomaterial, dan bioenergi. Penelitian dan inovasi memainkan peran krusial dalam mendefinisikan dan mengimplementasikan inisiatif-inisiatif yang mendorong pemanfaatan pangan optimal di seluruh rantai pasok, menekankan pemanfaatan terbaik surplus pangan, dan memaksimalkan valorisasi sumber daya pangan.

Aplikasi penyelamatan pangan dan model donasi pangan

Deskripsi teknologi

Aplikasi penyelamatan pangan menghubungkan konsumen dengan surplus makanan diskon dari supermarket dan restoran. Pengguna mencari via aplikasi untuk melihat barang yang tersedia (bahan makanan individual atau makanan lengkap), memesan dan membayar secara *online*, lalu mengambil barang belanjaan mereka pada waktu yang ditentukan. Para pengecer dapat dengan mudah mendaftarkan kelebihan stok mereka melalui aplikasi, seperti mengunggah foto dan deskripsi di media sosial.

Bank pangan adalah organisasi nirlaba yang mengumpulkan surplus makanan dari berbagai sumber (petani, produsen, pengecer, dan restoran) dan mendistribusikannya kepada mereka yang membutuhkan, biasanya melalui jaringan mitra amal dan organisasi komunitas. Meskipun bank pangan tradisional tidak dirancang sebagai model bisnis untuk mencari keuntungan, beberapa model bisnis dapat menggabungkan prinsip-prinsip bank makanan atau beroperasi di sekitarnya, seperti mendapatkan pendapatan dengan mengenakan biaya untuk layanan pembuangan makanan yang tidak terjual, mendaur ulang “produk yang ditolak” menjadi produk baru dengan tambahan nilai, atau menggabungkan model berbasis donasi sebagai aliran pendapatan.

Contoh di Indonesia

Saat ini Indonesia memiliki aplikasi penyelamatan pangan dan layanan bank pangan, dengan perusahaan *start-up* seperti Surplus dan FoodCycle Farm. Model penyelamatan pangan dan bank pangan ini menghasilkan pendapatan dengan berbagai cara, antara lain:

- Surplus menawarkan model berbasis komisi yang bermitra dengan hotel dan peritel untuk produk diskon.
- FoodCycle dan FoodCycle Farm menggunakan model berbasis donasi dan model pertukaran komoditas dengan industri hotel, restoran, dan katering.

Namun, kedua model tersebut mengharuskan pengguna menanggung logistik pengiriman, yang dapat memengaruhi dan bahkan mengurangi daya tarik dan alhasil pendapatan.

Tantangan dan rekomendasi

Indonesia tidak memiliki peraturan yang jelas mengenai standar dan distribusi keamanan pangan beserta klausul perlindungan kewajiban yang akan memberikan jaminan kepada peritel, hotel, dan pihak lain yang tertarik untuk berkolaborasi dengan bank pangan atau aplikasi penyelamatan. Selain itu, kesalahan penafsiran label tanggal berkontribusi pada pemborosan makanan. Sebab, tanggal kedaluwarsa sering disalahartikan dengan batas waktu keamanan pangan. Ketidakjelasan ini selanjutnya membatasi penjualan atau donasi makanan yang melewati tanggal kualitas yang tertera pada label sehingga mengurangi kepercayaan konsumen terhadap keamanan makanan yang dikumpulkan dari bank pangan dan upaya penyelamatan. Selain itu, tidak ada regulasi jelas yang menawarkan perlindungan liabilitas bagi bank pangan atau kerangka kerja untuk mengatasi biaya logistik terkait penanganan makanan, yang sering kali berbeban pajak tambahan, pengeluaran ekstra bagi operator penyelamatan pangan.

Ada kebutuhan mendesak akan kerangka kerja dan regulasi komprehensif yang membahas donasi dan penyelamatan pangan yang tidak hanya mempertimbangkan logistik, tetapi juga meningkatkan keberlanjutan model bisnis. Menerapkan regulasi pelabelan ganda untuk membedakan antara tanggal keamanan pangan (“gunakan sebelum”) dan kualitas pangan (“baik digunakan sebelum”) dapat memperjelas batas waktu konsumsi bagi konsumen dan membantu mengurangi limbah makanan yang sebenarnya dapat dihindari. Selain itu, memperkenalkan perlindungan liabilitas, menghapus pajak pertambahan nilai atas makanan yang disumbangkan, dan memonetisasi pelaporan dampak dapat lebih meningkatkan biaya operasional aplikasi donasi dan penyelamatan pangan.

Boks di bawah ini mengeksplorasi potensi penggunaan pelaporan dampak untuk mendukung aplikasi donasi dan penyelamatan pangan.

Boks 2. Pendekatan kemitraan publik-swasta Republik Korea dan Denmark terhadap teknologi valorisasi

Surplus, sebuah aplikasi penyelamatan pangan di Indonesia, berkolaborasi dengan marketplace yang mencakup lebih dari 5.000 mitra dan 1 juta pengguna. Aplikasi ini menyediakan laporan dampak kepada hotel, yang mencakup jumlah makanan yang dikumpulkan dan jumlah emisi yang dihindari, serta peritel yang berpartisipasi dalam program ini. Laporan ini memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap mitra, membantu mereka meningkatkan sistem operasional untuk pelacakan, perencanaan, dan manajemen inventaris. Hasilnya, mitra mengalami pengurangan biaya dan peningkatan efisiensi, yang menghasilkan kinerja keuangan yang lebih kuat. Hal ini sejalan dengan penelitian dari World Resources Institute yang menemukan bahwa inisiatif limbah makanan yang diterapkan oleh hotel dapat menghemat lebih dari 4 sen untuk setiap dolar yang dibelanjakan untuk barang yang dijual.

Lebih lanjut, laporan dampak ini telah mendukung kegiatan pengimbangan karbon oleh Ascott Hotels dengan menyediakan data tentang pengalihan limbah makanan dan kontribusinya terhadap pengurangan emisi CO₂. Dengan cara ini hotel dan peritel juga dapat menutup kerugian pendapatan mereka dari makanan yang disumbangkan dengan mendapatkan pendapatan kredit karbon. Dengan contoh ini, pelaporan dampak dapat menjadi alat penting bagi Pemerintah Indonesia dalam memantau susut dan limbah pangan sekaligus menawarkan solusi yang saling menguntungkan bagi bisnis yang terlibat. Indonesia dapat mempertimbangkan untuk menetapkan pelaporan dampak susut dan limbah pangan sebagai praktik sukarela atau wajib, seperti inisiatif di negara lain.

Sistem ketertelusuran

Deskripsi teknologi

Pemantauan susut dan limbah pangan yang efektif sangat bergantung pada teknologi ketertelusuran. Solusi seperti kode QR, *blockchain*, AI, IoT, dan RFID, atau kombinasinya, menangkap data penting tentang lokasi, suhu, dan praktik penanganan di seluruh rantai pasok. Data ini mengidentifikasi kerentanan, meminimalkan pembusukan, dan meningkatkan efisiensi. Wawasan yang dihasilkan mengoptimalkan pengadaan dan manajemen inventaris, khususnya bermanfaat bagi negara-negara berkembang di mana 14–21 persen produksi buah dan sayur rusak selama pemrosesan.

Contoh di Indonesia

BIKI sedang dalam proses mengembangkan sistem ketertelusuran yang akan menjangkau semua tahapan, mulai dari tempat pengemasan hingga distribusi dan ritel, dan pada akhirnya hingga ke konsumen. Sistem ini akan menghasilkan data yang menggambarkan perjalanan pangan yang diolah dengan pelapis pangan BIKI dan akan menghitung

total kehilangan pada saat mencapai konsumen akhir. Aplikasi ketertelusuran ini ditujukan bagi konsumen agar mereka dapat melihat sendiri masa simpan produk yang mereka beli serta menyediakan akses ke resep potensial untuk berbagai makanan yang mereka miliki di rumah, yang membantu mengurangi penyusutan dan limbah pangan secara keseluruhan di ujung rantai.

Sistem ketertelusuran akan menyimpan data asal komoditas, perjalanan, masa simpan, dan emisi karbon. Sistem BIKI berbasis kode QR juga akan mengintegrasikan pembelajaran mesin untuk memprediksi total pemborosan pangan, terutama dari tempat pengemasan hingga konsumen akhir. Ke depannya, BIKI berencana untuk meningkatkan sistem ketertelusuran dengan teknologi *blockchain* untuk lebih memvalidasi jumlah limbah pangan yang dapat dihindari, sejalan dengan strategi Pemerintah Indonesia dalam meningkatkan infrastruktur teknologi dalam rantai pasok pangan strategi FLW Indonesia. Selain itu, sistem ini akan dapat

memfasilitasi pengumpulan data andal berdasarkan protokol FLW dan sistem pelaporan lainnya serta membantu proses validasi kredit karbon.

Tantangan dan rekomendasi

Saat ini Indonesia memiliki regulasi untuk sistem ketertelusuran langsung guna mendukung penarikan produk, melalui Peraturan Menteri Pertanian No. 53/2018 tentang Keamanan Mutu Pangan dan Tumbuhan Segar³⁸ dan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan No. 21/2021 tentang Penerapan Sistem Jaminan Keamanan dan Mutu Pangan Olahan di Sarana Distribusi.³⁹ Regulasi yang mengatur sistem ketertelusuran hanya terdapat dalam Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 29/2021 tentang Sistem Logistik dan Ketertelusuran Perikanan Nasional.⁴⁰ Secara umum, agroindustri pangan belum sepenuhnya menerapkan sistem ketertelusuran. Dan, jika ada, sistem tersebut masih konvensional dan statis, belum merupakan sistem yang berfungsi secara *real-time*, dan juga tidak terhubung dengan semua aktor yang terlibat.

Dalam strategi susut dan limbah pangan saat ini, Indonesia bertujuan meningkatkan pengumpulan data penyusutan dan limbah pangan melalui infrastruktur teknologi, sebagaimana disorot dalam Strategi 4 Peta Jalan Susut dan Limbah Pangan. Strategi ini menguraikan adopsi sistem informasi terintegrasi menggunakan teknologi *blockchain* untuk memantau FLW di seluruh rantai pasok pangan antara tahun 2026–2030. Namun, literatur menunjukkan bahwa teknologi buku besar terdistribusi seperti *blockchain* dan IoT menghadapi tantangan seperti skalabilitas, keamanan jaringan, biaya, privasi, penyimpanan informasi, konsumsi energi, latensi, dan kurangnya interoperabilitas dengan sistem lain.⁴¹ Indonesia harus mempertimbangkan faktor-faktor ini ketika memilih teknologi yang dirasa paling sesuai.

RINGKASAN DAN REKOMENDASI

Diskusi dan konteks saat ini menekankan kebutuhan mendesak untuk mengatasi susut dan limbah pangan di Indonesia, yang merugikan negara antara \$13 miliar hingga \$33,8 miliar per tahun dan secara signifikan memengaruhi lingkungan dan ekonomi. Hal ini menyoroti potensi berbagai teknologi untuk memitigasi susut dan limbah pangan dan mendorong ekonomi sirkular.

Temuan-temuan utama adalah sebagai berikut:

- **Indonesia memiliki banyak peraturan sektoral untuk mendukung FLW. Namun, belum ada undang-undang yang secara holistik menangani FLW.** Undang-undang tentang pengelolaan pangan (UU No. 18/2012), pengelolaan limbah (UU No. 18/2008), dan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup (UU No. 32/2009) menempatkan dua kementerian yang berbeda untuk menangani susut dan limbah pangan. Kedua definisi yang dikutip dalam undang-undang ini melemahkan susut dan limbah pangan sebagai masukan potensial untuk mendukung sistem pangan dan pertanian yang tangguh serta mendukung industri susut dan limbah pangan sebagai industri ekonomi sirkular. Per Juli 2025, revisi undang-undang pengelolaan pangan (UU No. 18/2012) sedang diproses di Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) dan terdapat indikasi bahwa susut dan limbah pangan akan diikutsertakan.
- **Kurangnya keterlibatan kementerian di seluruh rantai nilai terkait teknologi pengelolaan FLW.** Peta jalan pengelolaan susut dan limbah pangan menekankan peran teknologi bagi pengelolaan susut dan limbah pangan dan pemangku kepentingan terkait, tetapi belum mengintegrasikan peran Kementerian Perindustrian dan Badan Riset dan Inovasi Nasional. Sangatlah penting bagi kedua kementerian terkait untuk meningkatkan kapasitas teknologi pendukung dan meningkatkan nilai kegiatan pengelolaan limbah menjadi valorisasi. Selain itu, BRIN memainkan peran penting dalam mendukung strategi komersialisasi melalui inkubasi teknologi, pembinaan kemitraan industri, dan pengembangan bidang-bidang utama di bidang sains dan teknologi.

- **Kondisi digitalisasi pemantauan dan pembagian data pengelolaan FLW saat ini masih kurang.** Banyaknya pihak yang berbeda, termasuk pemerintah dan sektor swasta, yang menyediakan data secara independen melalui sistem yang tidak saling berinteraksi. Saat ini tidak ada mandat untuk mendukung pengumpulan data susut dan limbah pangan di Indonesia, sementara peraturan untuk sistem ketertelusuran hanya ada untuk mendukung penarikan produk.
- **Lingkungan yang mendukung dan komersialisasi teknologi FLW saat ini terbatas.** Selain BRIN yang menghadapi dukungan anggaran terbatas, juga tidak ada mandat eksplisit bagi badan tersebut untuk memfasilitasi proses komersialisasi. Saat ini regulasi BRIN hanya membahas strategi komersialisasi hingga tahap pencocokan industri, tetapi tidak memberikan dukungan untuk strategi pendanaan. Jalur komersialisasi yang layak antarpemangku kepentingan harus didalami.
- **Pelaku sektor publik dan swasta di bidang FLW kurang koordinasi dan strategi yang jelas.** Kebutuhan koordinasi dan strategi tersebut untuk memajukan teknologi FLW serta ekonomi sirkular berbasis bioekonomi. Saat ini tidak ada konsorsium atau ruang bagi semua pelaku untuk bersama-sama menyusun regulasi berdasarkan kemajuan teknologi.
- **Kolaborasi antara Indonesia dan negara lain dalam mendukung penelitian dan transfer teknologi belum memadai.** Akibatnya, entitas industri sektor swasta internasional menghadapi hambatan operasional yang signifikan di Indonesia dalam hal perizinan dan standar sehingga membatasi kelancaran transfer teknologi.

Berdasarkan diskusi dan konteks Indonesia, rekomendasi untuk mendukung teknologi FLW di Indonesia adalah sebagai berikut:

- **Mengakui susut dan limbah pangan sebagai area kritis melalui regulasi dan mewajibkan pendekatan holistik untuk mencapai sistem pangan berkelanjutan**
Jalur strategis Indonesia untuk transformasi sistem pangan harus mengakui susut dan limbah pangan sebagai area kritis yang memerlukan pendekatan holistik untuk mencapai sistem pangan berkelanjutan yang memperhatikan ketahanan pangan dan keberlanjutan lingkungan. Rancangan Peraturan Presiden tentang FLW

awalnya merupakan instrumen regulasi strategis untuk mengakui isu ini. Namun, sejak tahun 2025, rancangan peraturan presiden ini telah dibatalkan.

- **Memberikan insentif bagi pengembangan teknologi penanganan FLW dari tahap riset hingga komersialisasi**
Demi memberikan insentif bagi kemajuan teknologi FLW, penting untuk mengembangkan ekosistem riset dan *start-up* yang dinamis dengan melibatkan Badan Riset Nasional, Kementerian Perindustrian, dan para investor. Indonesia dapat mengambil pelajaran dari pengalaman Republik Korea dalam mendukung inkubasi teknologi susut dan limbah pangan dengan mendirikan pusat penelitian teknologi pangan di Naju dan menciptakan lingkungan yang mendukung, seperti pengecualian regulasi melalui uji coba regulasi (*regulatory sandbox*) dan pembentukan dana pendanaan yang dipimpin pemerintah. Selain itu, berkolaborasi sejak dini dengan Kementerian Perindustrian untuk menyediakan standar teknologi, khususnya di sektor daur ulang pangan, dapat menyederhanakan proses pemberian insentif seperti sertifikasi industri hijau.
- **Meningkatkan digitalisasi dan mendorong sistem ketertelusuran terintegrasi dengan berbagi data di seluruh rantai pasok pangan**
Hal ini krusial untuk mendorong penerapan prinsip-prinsip ekonomi sirkular dan memastikan bahwa kemajuan berhubungan langsung dengan pengurangan emisi gas rumah kaca sehingga memfasilitasi pelacakan dan pelaporan yang akurat. Mendukung penerapan dini sistem ketertelusuran dengan teknologi yang terjangkau dan sesuai merupakan kunci untuk menentukan data dan langkah-langkah yang diperlukan guna menetapkan insentif dan disinsentif.
- **Membentuk konsorsium publik-swasta untuk memperkuat bioekonomi**
Membentuk konsorsium publik-swasta untuk memperkuat bioekonomi sangat penting untuk mendorong industri berkembang pesat. Selain itu, mendorong kolaborasi antarpemerintah dalam penelitian dan transfer teknologi di bidang susut dan limbah pangan dapat menjadi dorongan yang berharga bagi industri.

Tabel 3 | Rekomendasi sektoral untuk teknologi pengelolaan susut dan limbah pangan

TIPE TEKNOLOGI	INSENTIF UTAMA	SASARAN REGULASI/INISIATIF	INSTITUSI RELEVAN
Teknologi pelapis pangan	Promosi dan dukungan penelitian untuk teknologi pelapis pangan	Mendorong Revisi UU No. 18/2012 tentang Pangan: Terdapat rencana untuk menyertakan susut dan limbah pangan ke dalam Revisi UU 18	• Badan Pangan Nasional • Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) • Kementerian Perindustrian
Pengelolaan sampah organik	Regulasi retribusi Pendapatan berbasis karbon dari sektor persampahan dan pertanian	Mendorong Kementerian Lingkungan Hidup (KLH/BPLH) untuk menetapkan peraturan tentang pengurangan sampah organik melalui pengumpulan, denda, dan retribusi sistematis Mendorong Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 21 Tahun 2022 tentang Penerapan Penetapan Harga Karbon untuk mempertimbangkan sektor Perlimbahan and Agrikultur Mendorong KLHK untuk merilis Peta Jalan Karbon Sektor Persampahan dan Agrikultur	• Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Upcycling pangan/valorisasi	Pendanaan penelitian teknologi valorisasi Regulasi keamanan hayati Kemitraan pemerintah-swasta untuk mendukung bioekonomi Pendanaan penelitian teknologi valorisasi Regulasi keamanan hayati Kemitraan pemerintah-swasta untuk mendukung bioekonomi valorization technologies Biosafety regulation Public-private partnerships to support bioeconomy	Mendorong revisi UU No. 18/2012 untuk mencakup pendanaan riset teknologi FLW dan mendukung kemitraan pemerintah-swasta untuk mendukung bioekonomi	• Badan Pangan Nasional • Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan Badan Riset dan Inovasi Daerah (BRIDA) • Kementerian Keuangan • Kementerian Perindustrian • Balai Kliring Keamanan Hayati • Kementerian Pertanian • Badan Pengawas Obat dan Makanan

Tabel 3 | Rekomendasi sektoral untuk teknologi pengelolaan susut dan limbah pangan

TIPE TEKNOLOGI	INSENTIF UTAMA	SASARAN REGULASI/INISIATIF	INSTITUSI RELEVAN
Aplikasi penyelamatan pangan /donasi pangan	Panduan tambahan untuk pelabelan tanggal kedaluwarsa dan tanggal “baik digunakan sebelum” Regulasi untuk memberikan perlindungan kewajiban kepada penyedia bank pangan Pembebasan PPN untuk penyedia logistik Mencantumkan donasi pangan sebagai salah satu kegiatan CSR yang dapat dikurangkan dari pajak peritel makanan Pemantauan dampak sukarela/wajib untuk makanan dan hotel	Mendorong revisi PerBPOM No. 31/2013 untuk pelabelan ganda Mendorong revisi UU No. 36/2008 tentang pajak penghasilan, dan sekaligus Peraturan Menteri Keuangan No. 2/PMK.03/2010 untuk menyertakan sumbangan sembako dalam rangka kegiatan CSR dan mendukung pengurangan pajak. Mendorong revisi UU No. 18/2012 untuk menyertakan FLW dan memberikan pedoman umum tentang bank pangan, selanjutnya Badan Pangan Nasional akan merilis peraturan turunan untuk mendukung peraturan teknis bank pangan/donasi pangan Mendorong Pemerintah Indonesia untuk merilis pelaporan dampak sukarela/wajib untuk hotel/ritel Mendorong KLHK untuk merilis Peta Jalan Karbon Sektor Limbah dan juga Agrikultur	• Badan Pangan Nasional • Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) • Kementerian Keuangan • Otoritas Jasa Keuangan (OJK) • Pemerintahan Daerah
Sistem ketertelusuran	Sistem ketertelusuran proyek percontohan ketertelusuran susut dan limbah pangan menggunakan QR codes Regulasi sistem ketertelusuran	Mendorong revisi UU No. 18/2012 tentang Pangan untuk menyediakan panduan umum proses pengawasan susut dan limbah pangan	• Badan Pangan Nasional

Sumber: xxx

PEMBICARA DIALOG KEBIJAKAN

Irfan Martino – Bappenas	Agung Saputra – Surplus
Nita Yulianis – Bapanas	Fierra Setyawan – IBCSD
Indah Budiani – IBCSD	Jinhee Hwang – ASEIC
Romauli Panggabean – WRI Indonesia	Alex Min – Re:Harvest
Muhammad Hafid – BIKI	Joanne Looi – Novonesis
Nadia Fausta – Embassy of Denmark	Dian Yuanita – IBCSD (Moderator)
Astrid Paramita – FoodCycle	Hanny Chrysolite – Systemiq (Moderator)
R. Hery Sulistio Hermawan – DPKP DIY	Rendy Aditya – Parongpong (Moderator)

PESERTA DIALOG KEBIJAKAN

Direktorat Pangan dan Pertanian Bappenas	Koalisi Rakyat Kedaulatan Pangan (KRKP)
UNDP	Systemiq
PISAGRO	CDP
Green Growth Institute (GGGI)	Humanis
Great Giant Food	Waste4Change
Center for Indonesian Policy Studies	ADB
Badan Pengawas Obat dan Makanan	Persatuan Hotel dan Restoran Indonesia
GAIN	Badan Riset dan Inovasi Nasional
Bappeda Kota Semarang	Dietplastik Indonesia

CATATAN AKHIR

1. UNFCCC Secretariat (UN Climate Change). 28 September 2024. *Food Loss and Waste Account for 8-10% of Annual Global Greenhouse Gas Emissions; Cost USD 1 Trillion Annually (Susut dan Limbah Pangan Mencakup 8-10% Emisi Gas Rumah Kaca Global Tahunan; Sebesar 1 Triliun Dolar AS)*. Untuk informasi lebih lanjut tentang susut dan limbah pangan, lihat <https://unfccc.int/news/food-loss-and-waste-account-for-8-10-of-annual-global-greenhouse-gas-emissions-cost-usd-1-trillion>.
2. World Resources Institute Indonesia dan Koalisi Sistem Pangan Lestari. 2023. *Systems Thinking for a Sustainable Food System Booklet Series: Reducing Food Lost and Waste (Seri Buku Berpikir Sistem untuk Sistem Pangan Berkelanjutan: Mengurangi Susut dan Limbah Pangan)*. Untuk informasi lebih lanjut tentang sistem pangan berkelanjutan, lihat https://wri-indonesia.org/sites/default/files/2024-02/KSPL%20Booklet_04%20Reducing%20Food%20Lost%20and%20Waste.pdf (edisi ke-4, volume 1–5).
3. Ishangulyyev, R., Kim, S., dan Lee, S. 2019. *Understanding Food Loss and Waste—Why are We Losing and Wasting Food?*, 8(8), 297. Untuk informasi lebih lanjut tentang memahami susut dan limbah pangan, lihat <https://doi.org/10.3390/foods8080297>.
4. WWF. 2016. *Driven to Waste: Global Food Loss on Farms (Penyusutan: Penyusutan Pangan Pertanian secara Global)*. Untuk informasi lebih lanjut tentang penyusutan pangan pertanian secara global, lihat https://wwf.panda.org/discover/our_focus/food_practice/food_loss_and_waste/driven_to_waste_global_food_loss_on_farms/.
5. Abiad, M. G., dan Meho, L. I. 2018. *Food Loss and Food Waste Research in the Arab World: a Systematic Review (Penelitian Susut dan Limbah Pangan di Duna Arab)*. *Food Security*, 10(2), 311–322.digilib.esaunggul.ac.id.
6. Goodwin, L. (n.d.). *The Global Benefits of Reducing Food Loss and Waste, and How to Do It (Keuntungan Global dari Pengurangan Susut dan Limbah Pangan, dan Bagaimana Melaksanakannya)*. World Resources Institute. Untuk informasi lebih lanjut tentang keuntungan secara global dari pengurangan susut dan limbah pangan, lihat <https://www.wri.org/insights/reducing-food-loss-and-food-waste>.
7. Ramsey, B. 26 Oktober 2024. *The Hidden Costs of Food Waste: Eye-Opening Statistics and Solutions For Businesses (Biaya Tersembunyi Limbah Pangan: Statistik Mencengangkan dan Solusi untuk Bisnis)*. *Environment+Energy Leader*. Untuk informasi lebih lanjut tentang biaya tersembunyi limbah pangan, lihat <https://www.environmentenergyleader.com/stories/the-hidden-costs-of-food-waste-eye-opening-statistics-and-solutions-for-businesses.48408>.
8. Mestey, M. 20 November 2024. *Reducing Food Waste: Oded Omer of Wasteless AI on How They are Helping to Eliminate Food Waste (Mengurangi Limbah Pangan: Oded Omer dari Wasteless AI tentang Bagaimana Membantu Mengeliminasi Limbah Pangan)*. *Medium*. Untuk informasi lebih lanjut tentang upaya membantu mengeliminasi limbah pangan melalui AI, lihat <https://medium.com/authority-magazine/reducing-food-waste-oded-omer-of-wasteless-ai-on-how-they-are-helping-to-eliminate-food-waste-8588134d718e>.
9. Masiwa, D. 18 Juni 2024. *New Tech Keeps Produce Fresh Longer (Teknologi Baru Menjaga Kesegaran Produk Lebih Lama)*. *Food for Mzansi*. Untuk informasi lebih lanjut tentang teknologi menjaga kesegaran produk, lihat <https://www.foodformzansi.co.za/new-tech-keeps-produce-fresh-longer/>.
10. CPI [Daniela Chiriac, Harsha Vishnumolakala, Paul Rosane]. 2023. *Landscape of Climate Finance for Agrifood Systems (Lanskap Keuangan Iklim untuk Sistem Agrifood)*. Climate Policy Initiative.
11. Kementerian PPN/Bappenas. 2021. *Food Loss and Waste in Indonesia*. Untuk informasi lebih lanjut tentang susut dan limbah pangan di Indonesia, lihat <https://lcdi-indonesia.id/wp-content/uploads/2021/07/Report-Kajian-FLW-ENG.pdf>.

12. Pemerintahan Indonesia dan Bappenas. 2021. *Indonesia Strategic National Pathway for Food Systems Transformation (Jalan Strategis Nasional Transformasi Sistem Pangan)*. Untuk informasi lebih lanjut tentang jalan strategis nasional transformasi sistem pangan, lihat https://summitdialogues.org/wp-content/uploads/2021/09/Pathway_version_1.0english_Indonesia_15.09.2021.pdf.
13. Pemerintahan Indonesia. 2024. Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN 2025-2045).
14. Isdarmadji, N. Q. (n.d.). *Kemenko Pangan Alokasikan Rp139,4 Triliun untuk Swasembada Pangan di 2025*. Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi. <https://www.menpan.go.id/site/berita-terkini/berita-daerah/kemenko-pangan-alokasikan-rp139-4-triliun-untuk-swasembada-pangan-di-2025>.
15. Pemerintahan Indonesia. 2012. Peraturan Pemerintah No. 18/2012 tentang Pangan.
16. Pemerintah Indonesia. 2008. Undang-Undang No. 18/2008 tentang Pengelolaan Sampah–Pengelolaan limbah padat.
17. Pemerintah Indonesia. 2008. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
18. Hidayat, A., dan Maulana, M. R. 4 Februari 2022. *Anggaran Riset Disebut Menyusut di Era BRIN*. *Tempo*. Untuk informasi lebih lanjut tentang anggaran riset, lihat <https://www.tempo.co/politik/anggaran-riset-disebut-menyusut-di-era-brin-840875>.
19. *Edible Films and Coatings Global Market Report 2025 (Laporan Pasar Global Pelapis Pangan 2025)*. 2025. Untuk informasi lebih lanjut tentang laporan pasar global pelapis pangan 2025, lihat <https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/edible-films-and-coatings-global-market-report> . Diakses 2 Januari 2025.
20. Maximize Market Research Pvt Ltd. 10 Juli 2024. *Edible Films and Coating Market - Industry Analysis & forecast (Analisis dan Ramalan Pasar-Industri Pelapis Pangan)*. Untuk informasi lebih lanjut tentang analisis dan ramalan industri pelapis pangan, lihat <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/edible-films-and-coating-market/145932/>.
21. *Edible Films and Coating Market Size, Share dan Trends Analysis Report by Material Type (Protein, Polysaccharides, Lipids, Composites), by Application, by Region, and Segment Forecasts, 2022–2028*. (n.d.). Informasi lebih lanjut, lihat <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/edible-films-coating-market-report>.
22. Top Food Preservation Coatings Startups. (n.d.). Informasi lebih lanjut, lihat https://tracxn.com/d/trending-business-models/startups-in-food-preservation-coatings/_TC09kznibXtrWGQA3iRLZePt7wateJjAFaVpBVyYw/companies#t-1-a Peel. Diakses pada 3 Januari 2025.
23. Pemerintah Indonesia. 2019b. Peraturan Presiden No. 86/2019 tentang Keamanan pangan.
24. Pemerintah Indonesia. 2019. Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan No. 11/2019 tentang Bahan Tambahan Pangan.
25. Pemerintah Indonesia. 2004. Peraturan Pemerintah No. 28/2004 tentang Keamanan, Kualitas, dan Nutrisi Pangan.
26. Pemerintah Indonesia. 2008. UU No. 18/2008 tentang Pengelolaan Sampah.
27. Pemerintah Indonesia. 2017. Peraturan Presiden No. 97/2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.
28. Pemerintah Indonesia. 2019. Permen KLKH No. 75/2019 tentang Peta Jalan Pengurangan Sampah oleh Produsen.
29. *Kemendagri Lakukan Public Expose atas Kajian Perhitungan Biaya Penanganan Sampah dan Penerapan Skema Retribusi untuk Kota Denpasar*. September 2022. [Siaran Pers]. Diakses pada 10 Januari 2025.
30. Pemerintah Indonesia. 2021. Peraturan Menteri Keuangan No. 26/2021 tentang Dukungan Pendanaan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara bagi Pengelolaan Sampah di Daerah.
31. European Parliament Council, 2008/98/EC of The European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives (Parlemen dan Dewan Eropa pada 19 November 2008 mengenai Limbah dan Pembatalan Beberapa Direktif). 2008. Brussels.

32. Prabowo, M. A., Prasetya, A., dan Purnomo, C. W. 7 Desember 2024. *Reduksi Limbah Organik dengan Black Soldier Fly (BSF)*. Untuk informasi lebih lanjut tentang reduksi limbah organik dengan BSF, lihat <https://proceeding.uns.ac.id/semnasfp/article/view/694>.
33. Pemerintah Indonesia. 2022. *Enhanced NDC*. Informasi lebih lanjut tentang *enhanced NDC*, lihat https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced%20NDC%20Indonesia.pdf.
34. Ariningsih, E., Ashari, N., Mardiharini, M., Sujianto, N., Irawan, N., Rahayu, H. S., Saleh, Y., Slameto, N., Suharyon, N., dan Septanti, K. S. 2024. *The Potential Utilisation of Rice Biomass for Biochar to Support Sustainable Rice Farming Development in Indonesia (Potensi Penggunaan Biomassa Beras untuk Biochar untuk Mendukung Pengembangan Penanaman Beras Berkelanjutan di Indonesia)*. BIO Web of Conferences, 119, 05001. Untuk informasi lebih lanjut tentang potensi beras untuk biochar, lihat <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411905001>.
35. *BioChar Market Size, Share & Trends Analysis Report by Technology (Gasification, Pyrolysis), by Application (Agriculture, others), by Region (North America, Asia Pacific), and Segment Forecasts, 2024-2030*. (n.d.). Informasi lebih lanjut, lihat <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/biochar-market>.
36. Outlook for the Global Biochar Market. (n.d.). MSCI. Informasi lebih lanjut, lihat <https://www.msci.com/www/blog-posts/outlook-for-the-global-biochar/04633228838>.
37. European Parliament Council, 2008/98/EC of The European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives. 2008. Brussels.
38. Pemerintahan Indonesia. 2018. Peraturan Menteri Pertanian No. 53/2018 tentang Keamanan dan Mutu Pangan Segar Asal Tumbuhan.
39. Pemerintah Indonesia. 2021. Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan No. 21/2021 tentang Penerapan Sistem Jaminan Keamanan dan Mutu Pangan Olahan di Sarana Peredaran.
40. Pemerintah Indonesia. 2021. Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 29/2021 tentang Sistem Ketertelusuran dan Logistik Ikan Nasional.
41. Nurgazina, J., Pakdeetrakulwong, U., Moser, T., dan Reiner, G. 2021. Distributed Ledger Technology Applications in Food Supply Chains: A Review of Challenges and Future Research Directions. *Sustainability*, 13(8), 4206. Informasi lebih lanjut, lihat <https://doi.org/10.3390/su13084206>.
42. Iñarra, B., Bald, C., Cebrián, M., Antelo, L. T., Franco-Uría, A., Vázquez, J. A., Pérez-Martín, R. I., & Zufía, J. 2018. What to Do with Unwanted Catches: Valorisation Options and Selection Strategies (Apa yang Harus Dilakukan dengan Hasil yang Tidak Diinginkan: Opsi dan Pilihan Strategi Valorisasi). In Springer eBooks (pp. 333–359). Informasi lebih lanjut tentang opsi dan pilihan strategi valorisasi, lihat https://doi.org/10.1007/978-3-030-03308-8_17.



Ministry of National
Development Planning/Bappenas
Republic of Indonesia



Koalisi
Sistem Pangan Lestari
Bogori dan Food and Land Use Coalition (FOLU)



P4iG
Pioneering Green Partnerships,
Investing in Impact



ibcsd



EMBASSY OF DENMARK
Jakarta