

Penerapan Ekonomi Sirkular dalam Pengelolaan Sampah Plastik PET di Indonesia

Adi Budipriyanto

Pendahuluan

Plastik merupakan salah satu material paling dominan dalam kehidupan modern karena sifatnya yang ringan, kuat, dan murah. *Polyethylene Terephthalate (PET)* adalah salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan, khususnya dalam kemasan minuman sekali pakai. Di Indonesia, konsumsi botol PET mencapai lebih dari satu juta ton per tahun, menjadikannya penyumbang signifikan timbunan sampah plastik nasional. Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Indonesia menghasilkan sekitar 33,82 juta ton sampah pada 2024, dengan 19,76% merupakan sampah plastik di mana sebanyak 6,68% di antaranya adalah sampah plastik PET. Sebagian besar timbunan sampah belum terkelola dengan optimal dan berpotensi mencemari lingkungan, baik daratan maupun perairan. Indonesia menghasilkan sekitar 1,2 juta ton sampah PET setiap tahun, namun hanya sekitar 20 – 30% dari sampah PET tersebut yang terkumpul dan berhasil didaur ulang (KLHK, 2023). Sebagian besar sisanya sekitar 70 – 80% terbuang ke alam, terutama ke sungai dan laut, menyebabkan polusi plastik yang signifikan (*Plastic Waste Management in Indonesia, 2024*).

Untuk mengatasi permasalahan ini, pendekatan ekonomi sirkular (*circular economy*) mulai diperkenalkan sebagai solusi berkelanjutan dalam pengelolaan sampah plastik. Ekonomi sirkular bertujuan untuk menjaga nilai utilitas produk, material, dan sumber daya selama mungkin dalam siklus ekonomi, serta meminimalkan timbunan limbah. Dalam konteks plastik PET, pendekatan ini mencakup rangkaian strategi seperti desain ulang produk, pengumpulan dan pemilahan yang efisien, daur ulang mekanik dan kimia, serta penggunaan kembali dalam sistem tertutup. Memang sampah plastik PET dapat didaur ulang menjadi beberapa produk, di

antaranya adalah *polyester fiber* (PSF), rPET, *strapping & sheet*, dan produk lainnya seperti karpet, *filament*, dan sebagainya. Produk rPET (*recycled PET*) merupakan salah satu produk daur ulang yang memungkinkan penggunaan kembali botol plastik sebagai bahan baku baru, bahkan untuk kemasan makanan dan minuman selama memenuhi standar keamanan pangan (*food grade*).

Di Indonesia, jumlah dan kapasitas industri daur ulang rPET semakin meningkat. Tentu ini merupakan perkembangan yang sangat positif karena akan menyerap semakin banyak sampah plastik sebagai bahan bakunya. Meskipun begitu, sangat penting untuk mengetahui bagaimana sesungguhnya model *supply chain* sampah PET agar dapat mengetahui problematikanya. Apakah timbunan sampah plastik PET mampu memenuhi kebutuhan untuk bahan bakunya? Berapa energi yang dibutuhkan untuk proses daur ulang, dan bagaimana jika dibandingkan dengan PET *virgin*? Tulisan ini bertujuan untuk mengkaji potensi penerapan ekonomi sirkular (*circular economy*) pada pengelolaan sampah plastik PET di Indonesia. Fokus utama diarahkan pada pengembangan rantai nilai daur ulang PET menjadi rPET, tantangan yang dihadapi, serta peluang strategis untuk mendorong keberlanjutan industri plastik nasional. Harapannya, kajian ini dapat memberikan masukan yang konstruktif bagi pengambilan keputusan dalam upaya mewujudkan sistem pengelolaan sampah plastik yang berkelanjutan di Indonesia.

Limbah Plastik dan Dampaknya

Indonesia menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan sampah plastik, karena kontribusi sampah plastik sangat signifikan terhadap pencemaran laut sedangkan tingkat daur ulangnya masih rendah (Koordinasi Nasional Penanganan Sampah Laut, 2024). Limbah plastik memiliki ketahanan terhadap degradasi biologis, sehingga dapat bertahan ratusan tahun di lingkungan. Limbah plastik mayoritas jenis PET yang tidak terkelola dengan baik dapat mencemari perairan, tanah, dan mengganggu ekosistem. Menurut UNEP (2018), sekitar 60% dari semua plastik yang pernah diproduksi masih ada di lingkungan. Karena ringan dan tahan air, plastik PET mudah terbawa ke sungai dan berakhir di laut.

Menurut penelitian Jambeck et al. (2015), Indonesia menyumbang sekitar 1,29 juta ton sampah plastik ke laut setiap tahunnya, menjadikannya penyumbang terbesar kedua secara global. Limbah plastik PET dapat menyumbat saluran air dan merusak habitat mangrove serta ekosistem pesisir, menyebabkan kematian satwa laut akibat terjerat atau menelan plastik, menurunkan kualitas ekosistem laut, dan akhirnya berdampak buruk pada industri perikanan dan pariwisata. Memang plastik PET tidak mudah terurai secara alami, tetapi akan terdegradasi menjadi mikroplastik (partikel <5 mm) akibat sinar Ultra Violet (UV) dan abrasi mekanis. Mikroplastik ini masuk ke rantai makanan melalui ikan dan plankton yang menganggapnya sebagai makanan. Mikroplastik juga menyebabkan pencemaran air tanah dan laut yang berdampak pada pertanian dan kesehatan manusia.

Studi Lebreton et al. (2017) menunjukkan bahwa samudera Pasifik memiliki lebih dari 1,8 triliun potongan plastik, sebagian besar merupakan hasil degradasi PET dan sejenisnya. Jelas, plastik PET yang mencemari darat dan laut menyebabkan gangguan ekologis. Satwa liar seperti burung laut, kura-kura, dan mamalia laut sering ditemukan mati karena memakan atau terperangkap limbah plastik. Plastik PET yang terdegradasi akan menyerap bahan kimia beracun dari lingkungannya (seperti *polychlorinated biphenyl* atau PCB, pestisida) dan dapat menumpuk dalam jaringan hewan laut. Menurut Rochman et al. (2013), plastik yang tertelan oleh ikan dapat menyebabkan kerusakan hati dan stres oksidatif, serta mengganggu proses metabolismenya.

Selain itu, limbah PET yang menumpuk di lahan terbuka dapat menghambat infiltrasi air dan udara di dalam tanah, merusak struktur tanah dan mengurangi kesuburan, menyebabkan kontaminasi logam berat dan zat aditif dari plastik ke dalam tanah, dan akhirnya memengaruhi kualitas tanaman. Menurut laporan UNEP (2018), mikroplastik ternyata juga ditemukan dalam pupuk organik hasil kompos dari limbah domestik sehingga memperparah penyebarannya ke lahan pertanian.

Penelitian Terkait Ekonomi Sirkular dalam Penerapannya

Konsep ekonomi sirkular menekankan prinsip "*reduce, reuse, recycle*" yang bertujuan untuk menjaga nilai utilitas material tetap berada dalam siklus ekonomi selama mungkin (Ellen MacArthur Foundation, 2016). Dalam konteks plastik, pendekatan ekonomi sirkular menjadi sangat penting mengingat sifat dari plastik adalah tidak mudah terurai dan potensi pencemarannya terhadap lingkungan sangat besar. Oleh karena itu, model ekonomi sirkular akan sangat prospektif mengatasi masalah pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh plastik. Hal ini berkebalikan dengan model ekonomi linear yang dominan saat ini, di mana rangkaian proses produksi, konsumsi, dan pembuangan telah menyebabkan peningkatan signifikan jumlah sampah plastik global, termasuk di Indonesia.

Sirkular ekonomi dalam konteks limbah plastik PET telah menjadi fokus utama di banyak penelitian, baik dari sudut pandang teknis, sosial, maupun kebijakan. Salah satu pendekatan teknis yang sering dikaji adalah penggunaan *material flow analysis (MFA)* untuk memetakan aliran limbah dan potensi daur ulang, seperti ditunjukkan dalam studi Alifa et al. (2024) dan Amin et al. (2022). MFA membantu mengidentifikasi titik-titik kritis dalam sistem pengumpulan dan pengolahan limbah PET di kota-kota besar seperti Jakarta dan Metro. Dalam hal proses daur ulang, terdapat dua pendekatan utama yaitu mekanik dan kimia. Studi Farida et al. (2024) dan Yuniar (2025) mengembangkan model *reverse logistic* untuk meningkatkan efisiensi daur ulang mekanik, sedangkan Abedsoltan et al. (2022) mengeksplorasi teknik hidrolisis dan penggunaan *machine learning* dalam optimasi daur ulang kimia menjadi Asam Tereftalat (*Terephthalic Acid*-TPA). Belakangan ini, pendekatan inovatif melalui metode fotokatalitik juga dikaji sebagai solusi daur ulang berbasis reaksi atmosferik yang lebih ramah lingkungan.

Dari sudut pandang sosial, ternyata perilaku konsumen memainkan peran penting. Penelitian Yuniar (2024), menggunakan *Theory of Planned Behavior (TPB)*, mengidentifikasi bahwa sikap, norma moral, dan kesadaran terhadap konsekuensi lingkungan berperan mendorong masyarakat untuk berpartisipasi dalam program

daur ulang PET. Selain itu, studi Amirudin *et al.* (2023) menunjukkan pentingnya skema *deposit-refund* untuk meningkatkan tingkat pengembalian botol PET oleh konsumen. Sedangkan dari sudut pandang kebijakan, Subekti (2023) melakukan perbandingan antara regulasi *Extended Producer Responsibility* (EPR) di Indonesia dengan negara lain seperti Tiongkok dan Uni Eropa. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem EPR di Indonesia masih lemah dan perlu diperkuat agar produsen bertanggung jawab atas siklus hidup produknya. Studi Gustiawati *et al.* (2023) mengusulkan integrasi sektor informal ke dalam sistem resmi pengelolaan sampah sebagai solusi untuk memperluas jangkauan pengumpulan limbah PET.

Penelitian terkait inovasi dalam penerapan ekonomi sirkular tak kurang jumlahnya. Sebagai contoh, misalnya, inovasi pada konversi PET menjadi produk bernilai tambah seperti *activated carbon* (Agus & Sar Manik, 2024) dan penerapan PET daur ulang dalam kemasan medis (Keul *et al.*, 2024). Adapun penelitian mengenai daur ulang PET menjadi rPET umumnya berfokus pada dua pendekatan utama, yaitu daur ulang mekanik dan daur ulang kimia. Daur ulang mekanik yang melibatkan proses pencucian, pencacahan, dan pelelehan ulang PET telah banyak diterapkan, karena biayanya relatif rendah dan teknologinya tersedia luas. Namun, kualitas rPET hasil daur ulang mekanik dapat menurun akibat degradasi termal dan kontaminasi, sehingga terbatas penggunaannya untuk produk *non-food grade*. Studi Welle (2011) menunjukkan bahwa rPET dapat mencapai kualitas *food-grade* apabila diproses dengan sistem pembersihan canggih seperti teknologi *solid-state polymerization* (SSP).

Untuk mengatasi keterbatasan daur ulang PET secara mekanik, daur ulang kimia menjadi solusi yang menjanjikan. Daur ulang kimia memecah PET kembali menjadi monomer penyusunnya, seperti *asam tereftalat* (TPA) dan *etilen glikol* (EG), dan kemudian dapat digunakan untuk memproduksi PET baru dengan kualitas setara *virgin material*. Studi Abedsoltan *et al.* (2022) berupaya mengintegrasikan *machine learning* untuk mengoptimalkan proses hidrolisis kimia PET menjadi TPA, meningkatkan efisiensinya, dan menurunkan kebutuhan energinya. Meskipun teknologi ini menjanjikan, tantangan utama masih terletak pada biaya tinggi dan skala industri yang terbatas.

Keterlibatan Industri dalam Penerapan Ekonomi Sirkular

Penerapan ekonomi sirkular di beberapa negara industri maju telah cukup sukses dijalankan dengan tujuannya untuk mengurangi pemborosan, meningkatkan daur ulang, dan menciptakan sistem pengelolaan plastik yang berkelanjutan. Uni Eropa (UE) merupakan pemimpin dalam penerapan ekonomi sirkular dengan target penggunaan 10 juta ton plastik daur ulang pada tahun 2025. Jerman menerapkan *deposit refund system (DRS)* untuk memotivasi pengumpulan botol PET (Karin *et al.*, 2021). Perancis menerapkan kebijakan *Extended Producer Responsibility (EPR)* yang memotivasi produsen untuk mengelola daur ulang kemasan. Beberapa negara bagian Amerika Serikat menerapkan kebijakan EPR dan kemitraan publik-swasta untuk memotivasi pengumpulan dan pemrosesan limbah plastik di fasilitas daur ulang (National Association for PET Container Resources, 2020). Sedangkan Jepang secara aktif mengintegrasikan kebijakan EPR dengan sistem *reverse logistics* untuk mengefisienkan pengumpulan kembali botol PET dari konsumen dan mendaur ulang menjadi rPET.

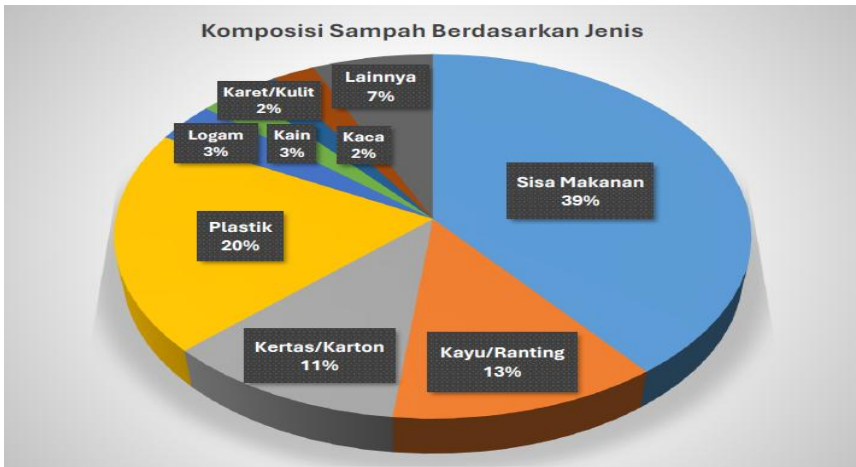
Di Indonesia, peran industri dalam penerapan ekonomi sirkular ditunjukkan beberapa produsen yang mulai mengadopsi rPET untuk produk kemasan mereka, terutama di sektor minuman. Misalnya, inisiatif Amandina Bumi Nusantara yang memproduksi botol berbahan 100% rPET dengan dukungan Coca-Cola. Keberhasilan ini menjadi contoh penting mengenai integrasi daur ulang dalam rantai pasok industri. Meskipun begitu, kontrol kualitas terhadap hasil akhirnya tidak kalah penting. Dalam bidang aplikasi medis, misalnya, pentingnya penekanan pada kebutuhan sterilisasi dan kontrol kualitas dalam penggunaan rPET tak bisa dikompromikan (Keul *et al.*, 2024). Memang pada konteks Indonesia, integrasi daur ulang dalam rantai pasok industri masih menghadapi tantangan yang tidak ringan. Penyebabnya adalah sistem pengumpulan sampah yang belum optimal, kontaminasi limbah rumah tangga, dan keterbatasan infrastruktur daur ulang. Untuk mengatasinya, integrasi sektor informal dan peningkatan regulasi yang diorientasikan pada peningkatan pasokan PET berkualitas bagi industri rPET bisa merupakan strategi yang tepat (Gustiawati *et al.*, 2023). Tentu saja permintaan pasar

produk berkelanjutan yang diupayakan untuk terus-menerus tumbuh dapat menjadi dorongan bagi industri rPET nasional untuk bertransformasi dan berkembang pesat.

Implementasi ekonomi sirkular dalam pengelolaan sampah plastik memerlukan kolaborasi antara berbagai pemangku kepentingan, yaitu sektor publik yang diwakili pemerintah, sektor swasta yang diwakili perusahaan, dan masyarakat. Kolaborasi yang dilakukan melalui desain jaringan *reverse logistic* yang efektif ternyata dapat mengurangi secara signifikan biaya dan emisi gas rumah kaca dalam pengelolaan sampah plastik di Jakarta (Ardi *et al.*, 2023). Kemitraan antara sektor publik dan swasta dapat menjadi kunci untuk meningkatkan efisiensi proses pengumpulan dan proses daur ulang sampah plastik (Amirudin *et al.*, 2023). Memang perilaku konsumen (masyarakat) memainkan peran yang tidak kalah penting dalam keberhasilan program daur ulang plastik PET. Niat konsumen untuk berpartisipasi dalam program daur ulang ternyata dipengaruhi oleh sikap personal, norma moral, dan kesadaran terhadap konsekuensi lingkungan (Farida *et al.*, 2024).

Komposisi Sampah dan Sampah Plastik di Indonesia

Berdasarkan data dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional Kementerian Lingkungan Hidup (<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>), jumlah timbulan sampah nasional tahun 2024 adalah sebesar 33.820..687,54 ton yang terdiri dari sampah sisa makanan, sampah plastik, sampah kayu/ranting, sampah kertas/karton, dan sampah jenis lainnya. Komposisi masing-masing jenis sampah ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Komposisi Jenis Sampah Nasional
(Sumber: <https://sipsn.kemenvh.go.id/sipsn/public/data/komposisi>)

Lima besar komposisi sampah secara berurutan adalah sampah sisa makanan 39,31%, sampah plastik 19,76%, sampah kayu/ranting 12,53%, sampah kertas/karton, 11,21%, sisanya adalah sampah berbagai jenis (logam, kain, kaca, karet/kulit, dan lain-lain). Untuk jenis sampah plastik, secara umum dapat dikelompokkan menjadi 7 (tujuh) yaitu PET (*Polyethylene Terephthalate*), HDPE (*High-Density Polyethylene*), PVC (*Polyvinyl Chloride*), LDPE (*Low-Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PS (*Polystyrene*), jenis plastik lainnya. Tabel 1 menunjukkan data komposisi jenis sampah plastik tahun 2024.

Tabel 1. Komposisi Sampah Plastik Tahun 2024

Jenis Plastik	Perkiraan Komposisi
LDPE & HDPE	35-40%
PET	15-20%
PP	10-15%
PS	5-10%
PVC	3-5%
<i>Multilayer</i>	10-15%
Lainnya	2-5%

Berdasarkan komposisi tersebut, sampah plastik PET di Indonesia diperkirakan sebesar 996.492,13 ton sampai dengan 1.328.656,17 ton. Menurut data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), hanya sekitar 20% dari sampah plastik berhasil dikumpulkan dan dikelola untuk daur ulang. Dalam hal PET, angka ini bisa sedikit lebih tinggi di daerah-daerah dengan sistem pengelolaan sampah yang lebih baik, namun umumnya berkisar antara 15% hingga 25% (KLHK, 2023). Sebagian besar sampah PET yang tidak terkumpul akan berakhir di tempat pembuangan sampah yang tidak terkelola dengan baik atau terbuang ke alam, termasuk sungai dan laut. Data tersebut didukung oleh laporan dari *Plastic Waste Management in Indonesia* (2024) yang menunjukkan bahwa sekitar 70 – 80% sampah plastik yang tidak terkelola akan terbuang ke alam, baik dalam bentuk sampah yang terabaikan di tempat pembuangan akhir (TPA) maupun yang bocor ke sungai dan laut.

Jika estimasi moderat digunakan, yaitu 20% sampah PET di Indonesia dapat terkumpul dan didaur ulang (berdasarkan data KLHK), maka dari total 13,08 juta ton sampah PET, yang berhasil dikumpulkan sebesar 2,616,000 ton sedangkan yang terbuang ke alam sebesar 10,464,000 ton. Sampah plastik PET dapat didaur ulang untuk menghasilkan berbagai jenis produk. Secara umum produk yang dihasilkan dapat dikategorikan menjadi *polyester fiber* (PSF), rPET untuk botol/kemasan, *strapping sheet*, dan jenis lainnya (karpet, *filament*). Tabel 2 menunjukkan distribusi umum produk olahan dari PET daur ulang.

Tabel 2. Distribusi Umum Produk Olahan dari PET

Produk	Est. Persentase (%) PET
<i>Polyester Fiber</i> (PSF)	50 - 60
rPET untuk botol/kemasan	20 – 30
<i>Strapping sheet</i>	10 – 15
Lainnya	5 - 10

Ekosistem Rantai Pasok Bahan Baku Industri Daur Ulang Plastik PET di Indonesia

Indonesia saat ini memiliki kapasitas daur ulang PET sebesar 286.000 ton per tahun (Kemenperin, 2023), namun sebagian besar masih digunakan untuk produk non-pangan. Beberapa perusahaan telah melakukan proses produksi dari PET menjadi *recycled PET* (rPET) untuk *food grade* yang memenuhi standar internasional (Siaga Indonesia, 2024). Upaya ini merupakan bagian dari komitmen industri untuk mengurangi jejak plastik dan mendukung target pengurangan sampah nasional sebesar 30% pada tahun 2025. Meskipun terdapat perkembangan positif, beberapa masalah masih signifikan menghambat pertumbuhan industri rPET di Indonesia. Masalah tersebut antara lain: terbatasnya sistem pengumpulan dan pemilahan sampah yang efisien, rendahnya kesadaran masyarakat akan nilai ekonomis botol bekas, serta ketidakseimbangan harga antara PET *virgin* dan rPET yang membuat produsen enggan beralih ke rPET (Yudha *et al.*, 2024).

Tingkat pengumpulan sampah PET yang rendah, yang hanya mencapai 20% hingga 30%, mengindikasikan perlunya perbaikan sistem pemilahan sampah dan peningkatan kesadaran masyarakat untuk memasok lebih banyak bahan baku agar daur ulang dapat dijalankan dengan efisien (*Plastic Waste Management in Indonesia*, 2024). Proses daur ulang PET memang sangat bergantung pada ketersediaan bahan baku berupa botol plastik bekas yang dikumpulkan dari berbagai sumber. Struktur rantai pasok bahan baku daur ulang PET ini ternyata sangat kompleks, mencerminkan karakteristik sistem pengelolaan sampah di Indonesia yang masih didominasi oleh sektor informal. Untuk menjamin pasokan yang stabil dan berkualitas dalam produksi rPET, pemetaan dan penguatan model rantai pasok bahan baku daur ulang PET menjadi krusial.

Model rantai pasok tradisional berbasis sektor informal merupakan model paling umum dan mendominasi penyediaan bahan baku daur ulang PET di Indonesia. Model ini melibatkan pemulung sebagai pengumpul utama botol PET bekas dari berbagai lokasi, termasuk tempat pembuangan akhir (TPA), jalanan, kawasan niaga,

dan area publik lainnya. Botol-botol tersebut kemudian dijual ke pengepul yang selanjutnya mendistribusikannya ke pengumpul besar atau *aggregator*. Dari *aggregator*, botol PET dapat diproses langsung atau dikirimkan ke pabrik daur ulang. Meskipun model pengumpulan seperti itu telah berlangsung lama dan menjadi tulang punggung pasokan, keterbatasan utamanya adalah tiadanya standarisasi kualitas, tingginya tingkat kontaminasi, dan adanya risiko ketidakstabilan pasokan akibat persaingan harga antar pembeli.

Model rantai pasok berbasis bank sampah dan koperasi formal swadaya masyarakat dalam pengumpulan bahan baku merupakan model alternatif yang lebih terkoordinasi. Dalam model ini, masyarakat menyetorkan botol PET yang telah dipilah dari rumah tangga atau institusi lainnya ke bank sampah. Saat ini sudah ada lebih dari 11.000 bank sampah yang tercatat oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2023), namun skala kontribusinya pada kuantitas pasokan PET untuk didaur ulang masih terbatas. Meskipun demikian, model ini menawarkan keuntungan dalam bentuk kualitas bahan baku yang lebih bersih serta peningkatan kesadaran masyarakat dalam melakukan pemilahan sampah sebelum dikumpulkan.

Model rantai pasok berbasis *Closed-Loop* dan *Extended Producer Responsibility* (EPR) merupakan model yang lebih menekankan peran produsen daripada konsumen. Seiring diterapkannya kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR), beberapa produsen termotivasi untuk mengembangkan sistem pengumpulan bahan baku sendiri sebagai bagian dari upaya membangun ekonomi sirkular. Model ini biasanya dilakukan dalam bentuk kemitraan dengan perusahaan daur ulang, LSM, atau melalui pembentukan unit pengumpulan internal. Contoh penerapan nyata model ini, misalnya kolaborasi antara Danone-Aqua dan Veolia, dan kolaborasi antara Coca-Cola Europacific Partners dan Dynapack Asia. Produsen mengumpulkan botol PET dari produk mereka sendiri, kemudian mengolahnya menjadi rPET yang dapat digunakan ulang dalam kemasan baru. Model ini menawarkan konsistensi pasokan dan kontrol kualitas, namun tentunya memerlukan investasi infrastruktur dan operasional yang tidak sedikit.

Model yang paling inovatif untuk rantai pasok bahan baku saat ini adalah model rantai pasok berbasis digital dan *marketplace* daur ulang. *Startup* berbasis digital seperti *Waste4Change*, *Duitin*, dan *Rekosistem* telah menawarkan dan mengoperasikannya. Mereka mengembangkan *platform digital* untuk menjembatani konsumen (rumah tangga, kantor, restoran) dengan pengumpul sampah. Model ini mengandalkan aplikasi yang memungkinkan pengguna memesan penjemputan botol PET dan sampah jenis lainnya yang telah dipilah, serta menciptakan sistem pelacakan dan transparansi dalam operasionalnya. Meskipun skala kontribusinya masih terbatas, penerapan model ini menjanjikan efisiensi logistik dan peningkatan *traceability* bahan baku, sekaligus mengedukasi konsumen dalam rantai nilai daur ulang.

Menurut studi GA Circular (2020) dan World Bank (2021), kontribusi masing-masing model terhadap total pasokan botol PET bekas untuk daur ulang di Indonesia diperkirakan sebagai berikut: sektor informal (pemulung, pengepul): $\pm 70\text{--}80\%$; bank sampah dan koperasi/komunitas formal: $\pm 10\text{--}15\%$; sistem produsen (EPR/*closed-loop*): $\pm 5\text{--}10\%$; platform digital dan *startup*: $< 1\%$. Beberapa tantangan utama yang masih harus dihadapi di sisi hulu industri daur ulang PET ini meliputi: fragmentasi rantai pasok akibat tidak adanya integrasi sistem, ketiadaan standar kualitas dan harga acuan bahan baku, kontaminasi tinggi pada botol bekas dari sumber campuran, ketergantungan pada aktor informal tanpa adanya perlindungan sosial, dan minimnya insentif bagi masyarakat untuk memilah sampah PET. Untuk menjamin keberlanjutan pasokan bahan baku, perlu dilakukan penguatan diantaranya melalui: pembentukan sistem insentif berbasis EPR, digitalisasi rantai pasok dan pelacakan bahan baku, pembinaan dan formalisasi sektor informal, serta kolaborasi lintas aktor (produsen, pemerinah daerah, masyarakat).

Kebijakan Industri dan Model Bisnis Daur Ulang PET di Indonesia

Pemerintah telah menetapkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. 75 Tahun 2019 Tentang Peta Jalan Pengurangan Sampah oleh Produsen. Peraturan ini mewajibkan

produsen untuk mengurangi sampah kemasan plastik dan melaksanakan *Extended Producer Responsibility* (EPR). Dalam peraturan ini, pemerintah juga mendorong kolaborasi antara produsen dengan industri daur ulang. Namun peraturan ini belum mengatur insentif fiskal seperti *tax holiday*, *tax allowance*, atau subsidi energi yang secara eksplisit diperuntukkan industri daur ulang PET. Meskipun demikian, melalui Kementerian Perindustrian, pemerintah telah memberikan insentif kepada pelaku industri yang menggunakan mesin dan teknologi ramah lingkungan untuk mengajukan fasilitas Bea Masuk Ditanggung Pemerintah (BMDTP) atau keringanan Pajak Penjualan atas Barang Mewah (PPnBM) di sektor industri hijau. Selain insentif tersebut, terdapat peluang pengajuan proyek daur ulang dalam skema *green financing* atau pembiayaan rendah karbon yang dikelola oleh Kementerian Keuangan (Kemenkeu) dan Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas).

Untuk merealisasikan Permen 75/2019, khususnya terkait dengan *Extended Producer Responsibility* (EPR) dan menciptakan ekonomi sirkular, beberapa model bisnis rPET telah dikembangkan. Di Indonesia, dikenal lima kategori model bisnis yaitu: (1) model industri murni daur ulang (*pure recycler*); (2) model kolaboratif (*close-loop partnership/Brand-Recycler Collaboration*); (3) model konsorsium atau aliansi mutipihak; (4) model kontrak pembelian rPET; dan (5) model investasi langsung atau *joint venture*. Pada **model bisnis pure recycler**, perusahaan fokus pada proses daur ulang tanpa keterikatan langsung dengan merek produsen. Mereka membeli bahan baku daur ulang PET dari *aggregator* atau pengepul, lalu mengolahnya menjadi rPET dalam bentuk *flakes* atau *pellet* dan menjualnya ke berbagai industri, termasuk industri tekstil, kemasan, dan otomotif. Contoh perusahaan yang menerapkan model ini adalah PT Tridi Oasis Group dan PT Inoplas Makmur Sentosa.

Pada model bisnis *closed-loop partnership* (atau model integrasi vertikal *Brand-Recycler Collaboration*), daur ulang diinisiasi oleh produsen besar yang berkomitmen pada prinsip ekonomi sirkular dan tanggung jawab atas siklus hidup produknya. Produsen tersebut bekerja sama langsung dengan perusahaan daur ulang PET untuk memastikan botol bekas mereka dikumpulkan dan diolah menjadi rPET

food-grade, lalu digunakan kembali sebagai botol baru. Model ini menerapkan ekonomi sirkular penuh (*circular packaging*), di mana produsen tidak hanya membeli rPET, tapi juga mengamankan sumber bahan bakunya. Model ini sudah banyak diterapkan perusahaan di Indonesia, seperti Veolia–Danone yang menghasilkan rPET dari botol Aqua dan menggunakannya kembali dalam produksi botol baru dan juga PT Dynapack Asia yang bermitra dengan PT. Coca-Cola untuk membangun pabrik rPET *food-grade*.

Model bisnis konsorsium atau aliansi multipihak dikembangkan dengan cara beberapa *stakeholder* membentuk aliansi atau konsorsium untuk membangun sistem pengumpulan dan daur ulang bersama. Pendekatan ini melibatkan kolaborasi lintas aktor antara produsen, pemerintah, LSM, perusahaan rintisan, komunitas pengumpul sampah, pemulung, bank sampah, pemerintah daerah, dan perusahaan daur ulang. Rantai nilai dibangun secara partisipatif dengan berbagi risiko dan manfaat. Salah satu contoh penerapan model ini adalah *Indonesia Packaging Recovery Organization* (IPRO). IPRO didirikan oleh produsen untuk mendukung implementasi EPR melalui pengumpulan dan pemrosesan sampah kemasan mereka. Contoh lainnya adalah Aliansi Nasional untuk Plastik Daur Ulang (ANPD), Program “*Recycle Lab*” dan Plastikku yang melibatkan *startup* digital dan pemerintah daerah.

Adapun pada model bisnis berbasis kontrak pembelian rPET, produsen tidak membangun fasilitas daur ulang sendiri, tetapi melakukan *offtake agreement* jangka panjang dengan perusahaan rPET. Model ini memberikan jaminan pasar bagi perusahaan daur ulang dan sekaligus jaminan pasokan bagi produsen. Model ini cocok untuk produsen menengah yang tidak memiliki kapasitas untuk melakukan investasi langsung fasilitas daur ulang. Sedangkan model bisnis berbasis investasi langsung atau *joint venture*, produsen besar ikut menanamkan modal di fasilitas daur ulang, baik secara penuh maupun melalui *joint venture*. Mereka melakukan kendali mutu dan memberikan kepastian pasokan jangka panjang.

Efisiensi Produksi dan Efisiensi Konsumsi Energi dalam Industri Daur Ulang PET

Tingkat efisiensi produksi dalam industri daur ulang yang mengonversi sampah PET menjadi rPET sangat tergantung pada kualitas bahan baku, kualitas produk akhir yang diinginkan, serta teknologi dan kualitas proses produksinya. Dalam praktiknya, setiap satu ton sampah botol PET (*bottle-grade post-consumer PET waste*) umumnya menghasilkan sekitar 0,75 hingga 0,85 ton rPET *flakes*, jika bahan baku cukup bersih dan proses produksinya menggunakan teknologi cuci panas (*hot wash*) dengan sistem pemisahan lanjutan. Jika produk yang diinginkan adalah rPET *food-grade pellets*, dibutuhkan proses tambahan seperti *solid-state polymerization (SSP)* atau *vacuum decontamination*. Karena proses tambahan konversi dari rPET *flakes* ke rPET *food grade* itulah, efisiensinya turun dengan rata-rata konversi satu ton sampah PET menghasilkan $\pm$ 0,65 hingga 0,75 ton rPET *food-grade*.

Faktor lain yang dapat memengaruhi efisiensi produksi rPET adalah (1) tingkat kontaminasi bahan baku, seperti botol yang masih mengandung sisa cairan atau tercampur dengan bahan metal; (2) tingkat pemilahan bahan baku, yaitu proses pemilahan botol sampai menghasilkan botol yang tidak tercampur dengan plastik jenis lain; dan (3) tingkat kecanggihan teknologi daur ulang, misalnya teknologi dengan sistem otomatis, sensor optik, dan proses dikontaminasi yang akurat. Setelah mengetahui tingkat efisiensi produksinya, estimasi kapasitas produksi industri rPET secara nasional dapat dihitung. Jika volume sampah plastik PET yang dihasilkan secara nasional sekitar 13.08 juta ton per tahun, dan seluruh sampah PET itu didaur ulang dengan efisiensi produksi (konversi) sekitar 70%, maka potensi rPET yang dihasilkan adalah sekitar 9.15 juta ton per tahun. Angka kapasitas produksi rPET ini cukup besar dan dapat ditingkatkan jika sistem pengumpulan dan pemilahan sampah diperbaiki, sehingga Indonesia betul-betul dapat mengurangi ketergantungan pada plastik PET *virgin*.

Dalam hal tingkat efisiensi konsumsi energi, penggunaan jenis teknologi yang digunakan dalam proses konversi dari PET menjadi rPET menjadi sangat menentukan. Meskipun demikian, teknologi

konvensional proses daur ulang mekanik masih menawarkan keuntungan signifikan dalam efisiensi konsumsi energi dibandingkan dengan produksi PET *virgin* dari bahan baku fosil. Proses daur ulang mekanik meliputi tahapan pengumpulan, pencucian, penggilingan, pengeringan, dan ekstrusi menjadi pelet rPET. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh PlasticsEurope (2022), energi yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 ton rPET melalui proses daur ulang mekanik berkisar antara 0,7 hingga 1,1 megawatt jam (MWh) atau sekitar 2.500 hingga 4.000 megajoule (MJ). Sedangkan produksi PET *virgin* dari minyak bumi memerlukan energi yang jauh lebih tinggi, yaitu sekitar 6 hingga 8 MWh per ton, atau sekitar 20.000 hingga 30.000 MJ (WRAP, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa produksi rPET dapat menghemat energi hingga 75–85% dibandingkan dengan PET *virgin*. Tabel 3 menunjukkan estimasi tingkat konsumsi energi dari berbagai produk plastik beserta teknologi proses daur ulang yang diterapkan.

Selain efisiensi konsumsi energi, penggunaan rPET juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon secara signifikan. Menurut Ellen MacArthur Foundation (2020), emisi gas rumah kaca dapat dikurangi sebesar 1,5 hingga 2,5 ton CO₂ per ton PET yang didaur ulang. Perhitungan emisi CO₂ yang dihasilkan dari proses daur ulang dapat menggunakan estimasi emisi yang dihasilkan per satuan energi yang dikonsumsi dan bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi yang dikonsumsi itu, yaitu menggunakan faktor emisi karbon dari sumber energi yang digunakan (batu bara, gas alam, atau listrik). Dengan kata lain, perhitungan emisi CO₂ memerlukan faktor emisi dari listrik atau bahan bakar yang digunakan dalam proses. Faktor emisi listrik di Indonesia adalah sekitar 0,9 kg CO₂/kWh (rata-rata, bisa berbeda tergantung pada campuran energi listrik yang digunakan). Jika listrik yang digunakan berasal dari pembangkit berbasis batubara, faktor emisi dapat lebih tinggi, sekitar 0,95 - 1,0 kg CO₂/kWh. Jadi, emisi CO₂ pada proses daur ulang mekanik yang mengonsumsi energi 0,7 – 1,1 MWh/ton produk rPET dengan asumsi faktor emisi sebesar 0,9 kg CO₂/kWh adalah 630 – 990 kg CO₂ per ton rPET.

Tabel 3. Konsumsi Energi Berbagai Produk Daur Ulang PET

Produk Daur Ulang	Proses Utama	Estimasi Energi (MWh/ton)	Catatan
rPET (<i>food-grade</i>)	Pencucian intensif, pengeringan, ekstrusi	0,7 - 1,1	Kualitas tinggi, standar FDA/EFSA
<i>Polyester Staple Fiber</i> (PSF)	Pencucian ringan, pencacahan, pelelehan serat	0,5 - 0,9	Tidak perlu standar <i>food grade</i>
PET <i>flakes</i> (untuk ekspor/ industri)	Pencacahan, pencucian	0,2 – 0,4	Produk setengah jadi
<i>Strapping band/ PET sheet</i>	Pelelehan, <i>molding</i> /ekstrusi lembaran	0,6 – 1,0	Tergantung aplikasi akhir
Karpet/ <i>Geotekstil</i>	<i>Non-woven processing</i>	0,4 – 0,8	Hemat energi karena tanpa ekstrusi
Daur ulang kimia	Depolimerisasi & repolimerisasi	1,5 – 2,5	Masih dalam pengembangan di banyak negara

Sebenarnya teknologi proses daur ulang kimia sudah mulai dikembangkan karena memiliki potensi untuk menghasilkan rPET yang kualitasnya mendekati PET *virgin*. Namun, teknologi ini masih tergolong boros dalam penggunaan energi, dengan kebutuhan energi mencapai 1,5 hingga 2,5 MWh per ton, karena adanya proses dipolimerisasi dan repolimerisasi yang kompleks serta memerlukan

bahan kimia tambahan. Oleh karena itu, daur ulang mekanik sampai saat ini tetap menjadi metode yang paling umum dan hemat energi dalam pengolahan sampah PET di Indonesia. Produksi rPET tidak hanya mengurangi limbah plastik tetapi juga menghemat energi dan emisi karbon dibandingkan produksi plastik baru dari bahan baku fosil.

Struktur Biaya Produksi dalam Industri Daur Ulang PET

Proses produksi rPET merupakan salah satu tahapan penting penerapan ekonomi sirkular dalam pengelolaan sampah plastik, dan oleh karena itu memerlukan peninjauan menyeluruh tidak saja secara teknis melainkan juga ekonomi. Tinjauan ekonomi menunjukkan bahwa biaya produksi rPET per ton berkisar di antara USD 450-750 (setara dengan Rp 7–11 juta per ton), tergantung pada skala fasilitas, teknologi yang digunakan, dan efisiensi rantai pasok. Komponen biaya terbesar ternyata berasal dari pembelian bahan baku daur ulang PET pasca konsumsi, nilainya mencapai 40–50% dari total biaya. Harga bahan baku ini sangat dipengaruhi oleh tingkat ketersediaan, kualitas botol, dan sistem pengumpulan yang diterapkan. Sumber utama pasokannya adalah dari pemulung, bank sampah, atau pengepul, yang umumnya menjual botol PET dalam bentuk bal dengan harga sekitar USD 200–350 per ton (GA Circular, 2020).

Komponen lainnya meliputi biaya operasional (listrik, air, bahan kimia untuk pencucian), biaya tenaga kerja, dan biaya pemeliharaan mesin. Untuk menghasilkan rPET *food-grade* yang dapat digunakan dalam kemasan pangan, diperlukan biaya operasional tambahan (tambahan beban biaya energi dan investasi teknologi) karena ada proses tambahan seperti *Solid State Polycondensation (SSP)* untuk meningkatkan *intrinsic viscosity (IV)* dan menjamin keamanan pangan. Komponen penting lainnya adalah biaya sertifikasi dan pengujian kualitas, terutama bila produk ditujukan untuk kebutuhan ekspor atau untuk produsen multinasional yang mewajibkan standar internasional FDA (AS), EFSA (Eropa), atau Standar Nasional Indonesia (SNI). Biaya pengemasan dan logistik, terutama untuk distribusi antar wilayah, juga perlu diperhitungkan.

Namun jika dibandingkan dengan biaya produksi PET *virgin* yang berkisar di antara USD 900–1.200 per ton, produksi rPET jelas lebih kompetitif secara ekonomi dan juga lebih ramah lingkungan, terutama jika sistem pengumpulan bahan bakunya dikelola secara efisien. Meskipun demikian, volatilitas harga bahan baku akibat fluktuasi permintaan pasar dan konsistensi kualitas bahan baku tetap menjadi tantangan utama yang dapat memengaruhi stabilitas struktur biaya, daya saing, dan keberlanjutan produksi rPET dibandingkan dengan produksi PET *virgin*. Tabel 4 menyajikan uraian struktur biaya utama dalam proses produksi rPET, khususnya rPET *food-grade*, dan perbandingannya dengan total biaya produksi PET *virgin*.

Tabel 4. Struktur Biaya Produksi rPET *versus* Total Biaya Produksi PET *Virgin*

Komponen Biaya	Rincian	Estimasi Biaya (USD/ton)
Bahan baku	Sampah botol PET pasca konsumsi (biasanya dibeli dari pengepul/bank sampah)	200 – 350
Operasional	Listrik, air, bahan kimia pencuci, pengolahan limbah	100 – 150
Tenaga Kerja	Pekerja produksi, teknisi, <i>Quality Control</i>	40 – 80
Pemeliharaan mesin	Suku cadang, <i>service</i> rutin, <i>down time</i>	20 – 40
Investasi dan penyusutan mesin	Mesin <i>hot wash</i> , ekstruder, SSP (<i>solid state polycondensation</i>)	30 – 70
Sertifikasi & pengujian	Uji <i>food-grade</i> (FDA, EFSA, SNI), laboratorium	10 – 20
Kemasan & logistik	Pengemasan pelet rPET, pengiriman ke pelanggan	30 - 50

Total biaya produksi rPET <i>food grade</i>	Biaya produksi rPET <i>food grade</i> yang variabilitasnya tergantung pada pasokan bahan baku	450 – 1200
Total biaya produksi PET <i>virgin</i>	Biaya produksi PET <i>virgin</i> yang variabilitasnya tergantung pada harga minyak dan resin	900 – 1200

Kendala dan Tantangan Industri Daur Ulang Sampah Plastik PET di Indonesia

Proses daur ulang sampah PET di Indonesia, masih mengalami berbagai kendala dan tantangan, diantaranya: (1) tingkat pengumpulan sampah PET yang rendah; (2) kualitas bahan baku yang tidak konsisten; (3) kapasitas industri daur ulang terbatas; (4) keterbatasan teknologi; (5) kurangnya standar kualitas rPET nasional; (6) rendahnya kolaborasi dan insentif ekonomi; dan (7) preferensi industri terhadap PET *virgin*. Data terakhir menunjukkan bahwa tingkat pengumpulan sampah PET untuk daur ulang di Indonesia hanya sekitar 15-30% (GA Circular, 2020). Proses pemisahannya di sumber pengumpulan (rumah tangga, restoran, kantor) pun masih sangat minim. Sehingga, banyak sampah PET tercampur baur dengan limbah makanan, minyak, dan bahan material non-PET yang akibatnya menurunkan efisiensi daur ulang dan meningkatkan biaya pencucian. Akibat lainnya adalah tidak semua PET dapat digunakan untuk rPET *food-grade* karena keterbatasan pemurnian kontaminan. Jadi, selain kuantitas bahan baku (sampah PET) yang masih rendah, kualitasnya yang buruk dan tidak konsisten juga menyulitkan industri daur ulang sampah PET untuk berkembang baik.

Di sisi proses produksinya pun, industri daur ulang sampah PET di Indonesia terkendala. Kapasitas terpasang nasional masih terbatas hanya sekitar 286.000 ton/tahun padahal timbulan sampah PET jauh lebih tinggi, bahkan lebih dari 800.000 ton/tahun. Sebaran sampahnya pun luas dan menyulitkan, di mana tidak semua daerah sumber sampah PET memiliki akses ke fasilitas daur ulang PET skala industri. Teknologi daur ulang yang diterapkan juga masih terbatas dengan

banyaknya fasilitas daur ulang yang masih bersifat dasar (*low-tech*) dan belum mampu menghasilkan rPET *food-grade* sesuai standar BPOM, SNI, atau sertifikasi internasional (FDA, EFSA). Kalau pun mampu menghasilkan rPET *food-grade*, standar teknis nasional yang tegas untuk produk rPET belum ada, baik untuk packaging, tekstil, atau kemasan pangan, sehingga menyulitkan produsen dalam menjual dan mengembangkan produk berbasis rPET secara luas.

Di sisi inisiatif kolaborasi antar *stakeholders* untuk menguatkan industri daur ulang sampah PET juga masih terkendala. Semangat kemitraan antara produsen kemasan plastik, pemerintah, komunitas pemulung (*waste picker*), dan industri daur ulang belum begitu kuat. Sehingga, insentif ekonomi untuk kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR) belum bisa berjalan optimal, terbukti dengan banyaknya produsen yang belum tergerak untuk aktif menarik kembali kemasan produk pasca konsumsi. Situasi tersebut semakin buruk ketika preferensi industri terhadap PET *virgin* yang kualitasnya lebih konsisten tidak juga surut, sementara harga PET *virgin* yang fluktuatif kadang-kadang bisa lebih murah dibandingkan rPET akibat adanya subsidi bahan baku fosil. Sungguh, kendala dan tantangan industri daur ulang sampah plastik PET di Indonesia tidaklah ringan.

Pentingnya Kesadaran untuk Tetap Menggalakkan Industri Daur Ulang Sampah Plastik PET di Indonesia

Agar dapat mengetahui pentingnya kesadaran masyarakat untuk tetap menggalakkan industri daur ulang sampah plastik PET, Tabel 5 berikut ini perlu diperhatikan dengan cermat.

Dari perbandingan dampak di atas, jelas daur ulang plastik PET menjadi rPET jauh lebih bernilai dibandingkan dengan membiarkan sampah plastik PET terbuang ke alam. Pengurangan polusi plastik di alam dan pengurangan ketergantungan pada bahan baku PET *virgin* adalah suatu keuntungan yang sangat besar. Meskipun ada emisi CO₂ terkait energi dalam proses daur ulang rPET, emisi CO₂ dari produksi plastik *virgin* jauh lebih tinggi. Oleh karena itu, dari perspektif pengurangan jejak karbon, daur ulang plastik lebih menguntungkan dibandingkan membiarkan sampah plastik membusuk di alam.

Tabel 5. Perbandingan Dampak Membiarkan Sampah Plastik PET versus Mendaur Ulangnya Menjadi rPET

Dampak	Membiarkan Sampah Plastik PET di Alam	Mendaur ulang Sampah Plastik PET Menjadi rPET
Dampak Lingkungan	Menimbulkan polusi air dan tanah yang merusak ekosistem & <i>biodiversity</i>	Mengurangi produksi plastik baru dan polusi yang ditimbulkannya
Emisi CO ₂	6.000–7.000 kg CO ₂ /ton pada produksi PET <i>virgin</i>	630–990 kg CO ₂ /ton pada produksi rPET dari PET
Konsumsi Energi	6–8 MWh per ton PET <i>virgin</i> yang diproduksi	0,7–1,1 MWh per ton rPET yang diproduksi mekanik
Biaya Ekonomi & Sosial	Biaya produksi PET <i>virgin</i> kadang bisa lebih murah, tergantung fluktuasi harga bahan baku fosil. Tetapi biaya ekonomi & sosial jangka panjang bagi masyarakat sangat besar.	Biaya produksi rPET tidak selalu lebih murah, karena perlu investasi untuk teknologi dan rantai pasok bahan baku. Tetapi biaya ekonomi & sosial jangka panjang bagi masyarakat sangat menguntungkan.
Keberlanjutan jangka panjang	Sangat merugikan masyarakat luas	Sangat menguntungkan masyarakat luas

Meskipun dalam perspektif mikro, perusahaan yang menggunakan atau memproduksi produk berbahan plastik bisa saja memperoleh keuntungan jangka pendek dengan biaya produksi PET *virgin* yang kadang-kadang bisa relatif murah, terutama ketika harga bahan baku fosil sedang turun. Namun dalam perspektif makro dan jangka panjang, sangat besar biaya ekonomi dan sosial yang harus dibayarkan masyarakat luas akibat produksi terus menerus PET *virgin* yang kemudian dibiarkan terbuang begitu saja ke alam pasca

konsumsi. Industri daur ulang plastik PET menjadi rPET selalu memberikan keuntungan ekonomi dan sosial bagi masyarakat luas, baik jangka pendek maupun jangka panjang. Karena, industri daur ulang tidak hanya memberi manfaat lingkungan, tetapi juga dapat menciptakan lapangan kerja dan mengurangi biaya pembersihan jangka panjang yang ditimbulkan oleh sampah plastik yang mencemari alam. Secara keseluruhan, daur ulang PET jauh lebih mendukung keberkelanjutan hidup jangka panjang masyarakat luas daripada terus menerus membuang plastik ke alam. Oleh karena itu, penting bagi setiap individu, baik yang bekerja di sektor publik, sektor swasta maupun masyarakat sipil, untuk terus menerus meningkatkan kesadaran lingkungan dan mendukung upaya menggalakkan industri daur ulang plastik PET di Indonesia.

Penutup

Penerapan konsep ekonomi sirkular (*circular economy*) dalam pengelolaan sampah plastik PET di Indonesia menawarkan solusi strategis terhadap krisis sampah plastik yang kian mengkhawatirkan. Meskipun Indonesia memproduksi sekitar 1,2 juta ton sampah PET per tahun, hanya 20–30% yang berhasil dikumpulkan dan didaur ulang. Hal ini menunjukkan perlunya transformasi sistemik dalam pengelolaan sampah, mulai dari peningkatan sistem pengumpulan dan pemilahan, integrasi sektor informal, hingga penguatan kebijakan *Extended Producer Responsibility* (EPR). Transformasi PET menjadi *recycled PET* (rPET) tidak hanya mengurangi polusi dan dampak lingkungan, tetapi juga menawarkan efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon hingga 75–85% dibandingkan produksi PET *virgin*.

Teknologi daur ulang mekanik dan kimia memang telah berkembang, namun tantangan utama masih berupa keterbatasan infrastruktur, kualitas bahan baku, serta volatilitas harga PET *virgin* yang kadang lebih murah dari rPET. Di sini ditunjukkan bahwa keberhasilan implementasi ekonomi sirkular di sektor sampah plastik PET sangat bergantung pada kolaborasi lintas sektor yang meliputi pemerintah, industri, masyarakat, dan *startup* digital, untuk membangun rantai pasok yang efisien dan transparan. Selain itu, dukungan regulasi yang tegas, insentif fiskal, serta peningkatan

kesadaran konsumen menjadi kunci dalam menciptakan ekosistem daur ulang PET yang berkelanjutan di Indonesia. Dengan potensi produksi rPET yang bisa mencapai 9 juta ton per tahun jika sistem pengumpulan bahan baku dan daur ulang dioptimalkan, Indonesia memiliki peluang besar untuk mengurangi ketergantungan terhadap plastik PET *virgin*, menurunkan emisi karbon, serta menciptakan ekonomi hijau yang inklusif dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Abedsoltan, F., et al. (2022). Machine learning optimization in chemical recycling of PET via hydrolysis. *Journal of Cleaner Production*, 350, 131407.
- Agus, A., & Sar Manik, R. (2024). Pemanfaatan limbah plastik PET sebagai karbon aktif untuk filtrasi air bersih. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(1), 12–21.
- Alifa, N. A., et al. (2024). Material flow analysis untuk sistem daur ulang PET di Jakarta. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(2), 145–158.
- Amin, R. A., et al. (2022). Model pengelolaan limbah plastik berbasis ekonomi sirkular di Kota Metro. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 18(3), 201–210.
- Amirudin, A., Inoue, C., & Grause, G. (2023). Rethinking waste management in Indonesia using public-private partnership framework: A case study of Akhmad Amirudin PET bottle waste management. *Nature Environment and Pollution Technology*, 22(1), 29–38. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2023.v22i01.003>
- Amirudin, M., et al. (2023). Penerapan skema deposit-refund untuk peningkatan pengumpulan PET. *Waste Management & Research*, 41(5), 334–342.
- Ardi, R., Nurkamila, S., Citraningrum, D. L., & Zahari, T. N. (2023). Reverse logistics network design for plastic waste management in Jakarta: Robust optimization method. *International Journal of Technology*, 14(7), 1560–1569. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i7.6681>
- Danone-AQUA. (2023). *Amandina Bumi Nusantara: Membangun ekosistem daur ulang plastik tertutup*. Retrieved from <https://www.danone.co.id>

- Ellen MacArthur Foundation. (2016). *The new plastics economy: Rethinking the future of plastics*. <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- Ellen MacArthur Foundation. (2020a). *Circular Economy for Plastics: Opportunities and Challenges*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2020b). *The Circular Economy in Detail: Plastic Packaging*. Retrieved from <https://ellenmacarthurfoundation.org>
- Farida, Y. (2025). *Model logistik balik untuk daur ulang PET di Surabaya* [Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Farida, Y., Siswanto, N., & Vanany, I. (2024). Reverse logistics toward a circular economy: Consumer behavioral intention toward polyethylene terephthalate (PET) recycling in Indonesia. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 10, 100807. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100807>
- GA Circular. (2020). *PET Recycling Landscape in Indonesia*. Retrieved from <https://gacircular.com>
- GIZ Indonesia. (2020). *Assessment of Plastic Waste Recycling Value Chain in Indonesia*.
- Gustiawati, A., et al. (2023). Kolaborasi sektor informal dan formal dalam pengelolaan sampah plastik di Indonesia. *Jurnal Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan*, 13(4), 265–275.
- Jambeck, J. R., et al. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771.
- Kagawa, S., et al. (2019). Circular Economy in Japan: Policies, Challenges, and Strategies. *Sustainability*, 11(7), 2042.
- Karin, B., et al. (2021). The Circular Economy and PET Recycling: A European Perspective. *Resources, Conservation & Recycling*, 166, 105-115.

- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2019). *Peta Jalan Pengurangan Sampah oleh Produsen*. <https://sipsn.menlhk.go.id>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2023a). *Data sampah plastik Indonesia 2023: Status pengelolaan dan kebijakan nasional*. <https://klhk.go.id>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2023b). *Data timbulan sampah nasional 2023*. <https://sipsn.menlhk.go.id>
- Kementerian Perindustrian. (2023). *Industri daur ulang plastik perkuat ekonomi sirkular nasional*. <https://m.industry.co.id>
- Keul, H., et al. (2024). Recycled PET for medical applications: Challenges and opportunities. *Polymer Degradation and Stability*, 214, 110401.
- Koordinasi Nasional Penanganan Sampah Laut. (2024). *Taking plastics full circle: Creating a sustainable future in Indonesia*. <https://sampahlaut.id/2024/05/03/taking-plastics-full-circle-creating-a-sustainable-future-in-indonesia/>
- Lebreton, L. C. M., et al. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nature Communications*, 8, 15611.
- NAPCOR. (2020). *The Impact of Extended Producer Responsibility (EPR) on PET Recycling in the U.S.* <https://www.napcor.com>
- Plastic Waste Management in Indonesia. (2024). *The challenge of plastic waste in Indonesia: Current status and future outlook*. <https://sampahlaut.id>
- PlasticsEurope. (2022). *Plastics – the Facts 2022*. <https://plasticseurope.org>
- Purwanto, H. (2022). Studi persepsi konsumen terhadap daur ulang plastik di Yogyakarta. *Jurnal Ekonomi Lingkungan*, 9(2), 97–106.

- Rochman, C. M., et al. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3, 3263.
- Siaga Indonesia. (2024). *Bumi Indus Padma Jaya jadi pabrik daur ulang PET lokal pertama berteknologi food grade*. <https://siagaindonesia.id>
- Starkey, R., & Parkin, S. (2020). *Sustainable Development in Practice: Case Studies for Engineers and Scientists*.
- Subekti, T. (2023). Comparative study of EPR implementation for plastic packaging in China, the EU, and Indonesia. *Environmental Policy and Governance*, 33(1), 45–60.
- UNEP. (2018). *Single-use plastics: A roadmap for sustainability*.
- Veolia. (2022). *Recycled PET and circular economy in Asia*. <https://www.veolia.com>
- Welle, F. (2011). Twenty years of PET bottle to bottle recycling—An overview. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(11), 865–875.
- World Bank. (2021). *Market Study for Recycled Plastics in Indonesia: Overview of Supply and Demand*. <https://www.worldbank.org>
- WRAP. (2021). *Comparative LCA study of rPET and virgin PET*. <https://wrap.org.uk>
- Yudha, R. A., Suparno, H., & Prasetyo, A. D. (2024). Demands and Material Flow of Recycled Polyethylene Terephthalate (PET) in Indonesia. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20634.88002>
- Yuniar, D. (2024). Analisis perilaku konsumen terhadap daur ulang PET menggunakan Theory of Planned Behavior. *Jurnal Ilmu Sosial dan Humaniora*, 11(1), 23–34.

Yuniar, D. (2025). *Optimasi sistem reverse logistics pada industri daur ulang PET* [Disertasi, Universitas Indonesia].