



Model *Integrated Waste Management* Berbasis Ekologi Industri untuk Mendukung *Circular Economy* di Kabupaten Kudus

Sam'ani Intakor^{1*}, Kukuh Mukti Wibowo², Nunung Agus Firmansyah³, Anny Rosiana Masithoh⁴, Tuti Nadhifah⁵

¹⁻³ Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Kudus, Indonesia

⁴ Program Studi Keperawatan, Universitas Muhammadiyah Kudus, Indonesia

⁵ Ekonomi Syariah, Universitas Muhammadiyah Kudus, Indonesia

Email: samani@umkudus.ac.id^{1*}, kukuhmukti@umkudus.ac.id², nunungagus@umkudus.ac.id³, annyrosiana@umkudus.ac.id⁴, tutinadhifah@umkudus.ac.id⁵

*Penulis Korespondensi: samani@umkudus.ac.id

Abstract. The increase in industrial activity, trade, and population growth in Kudus Regency has driven a significant rise in waste generation, placing increasing pressure on the regional waste management system. This condition is exacerbated by the continued dominance of a linear economic model, resulting in most waste being disposed of at the Tanjungrejo Final Processing Site (TPA), which is currently experiencing overcapacity. This study aims to identify the characteristics of waste flows, analyze the potential application of Industrial Ecology principles, and develop an Integrated Waste Management (IWM) model based on Industrial Ecology to support the implementation of a Circular Economy in Kudus Regency. The research employs a qualitative case study approach using field observations, in-depth interviews, Focus Group Discussions (FGDs), and document analysis from local government and relevant stakeholders. Data were analyzed using Material Flow Analysis (MFA), Stakeholder Analysis, and Industrial Symbiosis Analysis. The results indicate that Kudus Regency generates approximately 400 tons of waste per day, dominated by organic waste, plastics, and paper. The current system heavily depends on the TPA, receiving around 170–200 tons daily, leading to operational overload. Significant resource leakage occurs due to low recovery rates and weak waste utilization across sectors. Opportunities for industrial symbiosis were identified, including compost and biogas from organic waste, biomass energy from tobacco residue, and biochar from wood waste. The proposed IWM model integrates collection, sorting, recovery, recycling, and symbiosis within a Circular Economy framework, reducing landfill dependence and improving sustainability.

Keywords: Circular Economy; Industrial Ecology; Integrated Waste Management; Industrial Symbiosis; Kudus Regency.

Abstrak. Peningkatan aktivitas industri, perdagangan, dan pertumbuhan penduduk di Kabupaten Kudus telah mendorong peningkatan signifikan dalam produksi sampah, sehingga memberikan tekanan yang semakin besar pada sistem pengelolaan sampah daerah. Kondisi ini diperparah oleh dominasi berkelanjutan dari model ekonomi linier, yang mengakibatkan sebagian besar sampah dibuang di Tempat Pengolahan Akhir (TPA) Tanjungrejo, yang saat ini mengalami kelebihan kapasitas. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik aliran sampah, menganalisis potensi penerapan prinsip ekologi industri, dan mengembangkan model Pengelolaan Sampah Terpadu (IWM) berbasis Ekologi Industri untuk mendukung implementasi Ekonomi Sirkuler di Kabupaten Kudus. Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus kualitatif dengan menggunakan observasi lapangan, wawancara mendalam, Diskusi Kelompok Fokus (FGD), dan analisis dokumen dari pemerintah daerah dan pemangku kepentingan terkait. Data dianalisis menggunakan Analisis Aliran Material (MFA), Analisis Pemangku Kepentingan, dan Analisis Simbiosis Industri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kabupaten Kudus menghasilkan sekitar 400 ton sampah per hari, yang didominasi oleh sampah organik, plastik, dan kertas. Sistem saat ini sangat bergantung pada TPA (Tenaga Pembuangan Sampah), yang menerima sekitar 170–200 ton setiap hari, menyebabkan beban operasional yang berlebihan. Kebocoran sumber daya yang signifikan terjadi karena tingkat pemulihan yang rendah dan pemanfaatan limbah yang lemah di berbagai sektor. Peluang untuk simbiosis industri telah diidentifikasi, termasuk kompos dan biogas dari limbah organik, energi biomassa dari residu tembakau, dan biochar dari limbah kayu. Model IWM (Pengelolaan Limbah Terpadu) yang diusulkan mengintegrasikan pengumpulan, pemilahan, pemulihan, daur ulang, dan simbiosis dalam kerangka ekonomi sirkular, mengurangi ketergantungan pada tempat pembuangan sampah dan meningkatkan keberlanjutan.

Kata kunci: Ekologi Industri; Ekonomi Sirkuler; Kabupaten Kudus; Pengelolaan Sampah Terpadu; Simbiosis Industri.

1. LATAR BELAKANG

Peningkatan timbulan limbah merupakan salah satu tantangan terbesar dalam pembangunan berkelanjutan abad ke-21 (M Abdul Aziz et al., 2025). Pertumbuhan penduduk, urbanisasi, industrialisasi, dan perubahan pola konsumsi masyarakat telah menyebabkan peningkatan volume limbah yang signifikan di berbagai negara. *United Nations Environment Programme* (UNEP) melaporkan bahwa timbulan sampah global telah mencapai lebih dari 2 miliar ton per tahun dan diperkirakan meningkat hingga hampir dua kali lipat pada tahun 2050 apabila pola produksi dan konsumsi saat ini tidak mengalami perubahan mendasar (Lingga et al., 2024). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem ekonomi linear (*take-make-dispose*) yang selama ini mendominasi aktivitas ekonomi dunia semakin sulit dipertahankan karena menghasilkan eksploitasi sumber daya alam yang tinggi, pemborosan material, serta peningkatan beban lingkungan.

Model ekonomi linear menyebabkan sebagian besar material yang diekstraksi dari alam berakhir sebagai limbah setelah satu kali siklus penggunaan. Akibatnya, terjadi kehilangan nilai ekonomi yang besar sepanjang rantai produksi dan konsumsi. Di sisi lain, meningkatnya kebutuhan bahan baku industri juga menimbulkan tekanan terhadap ketersediaan sumber daya alam yang semakin terbatas (Mohammad et al., 2025). Untuk menjawab tantangan tersebut, konsep *Circular Economy* (CE) berkembang sebagai paradigma baru yang berupaya menjaga nilai material, energi, dan produk agar tetap berada dalam siklus ekonomi selama mungkin melalui prinsip *reduce, reuse, recycle, recover*, dan *regenerate*. Dalam ekonomi sirkular, limbah tidak dipandang sebagai residu yang harus dibuang, tetapi sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan nilai ekonomi baru (Fauzi et al., 2024).

Transformasi menuju ekonomi sirkular memiliki peran strategis dalam mendukung pencapaian berbagai agenda pembangunan global, termasuk *Sustainable Development Goals* (SDGs) dan target *Net Zero Emission*. Pengelolaan limbah yang efektif berkontribusi langsung terhadap pencapaian SDG 11 (*Sustainable Cities and Communities*), SDG 12 (*Responsible Consumption and Production*), dan SDG 13 (*Climate Action*) (Fadilla & Kriswibowo, 2022). Selain itu, sektor limbah merupakan salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca, terutama metana yang dihasilkan dari dekomposisi limbah organik di tempat pemrosesan akhir (TPA). Oleh karena itu, peningkatan tingkat daur ulang, pemanfaatan kembali material, dan pemulihan energi dari limbah menjadi strategi penting dalam mengurangi emisi sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (Mohammad et al., 2025). Dalam konteks Indonesia, tantangan pengelolaan limbah semakin kompleks pada daerah yang memiliki aktivitas industri dan perdagangan yang tinggi (Nining et al., 2025). Kabupaten Kudus merupakan salah satu

daerah dengan karakteristik tersebut. Kabupaten ini dikenal sebagai pusat industri pengolahan di Jawa Tengah, terutama industri hasil tembakau, makanan dan minuman, pengolahan kayu, perdagangan, serta berbagai usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Kudus, nilai Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Kabupaten Kudus pada tahun 2024 mencapai Rp128,61 triliun dengan pertumbuhan ekonomi sebesar 2,78 persen. Sektor industri pengolahan menjadi kontributor terbesar dalam struktur perekonomian daerah dan menjadi penggerak utama aktivitas ekonomi masyarakat (Kusumaningrum et al., 2023).

Selain menjadi pusat industri, Kabupaten Kudus juga memiliki tingkat kepadatan penduduk yang relatif tinggi. Data BPS menunjukkan bahwa jumlah penduduk Kabupaten Kudus pada tahun 2024 mencapai sekitar 883 ribu jiwa dengan tingkat kepadatan lebih dari 2.000 jiwa per kilometer persegi. Pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi yang tinggi menyebabkan peningkatan konsumsi sumber daya sekaligus menghasilkan berbagai jenis limbah dari sektor rumah tangga, perdagangan, jasa, dan industri (Findasari et al., 2022). Perkembangan industri pengolahan yang menjadi tulang punggung ekonomi daerah memberikan manfaat ekonomi yang signifikan, namun pada saat yang sama menghasilkan berbagai jenis limbah padat, cair, maupun gas. Industri hasil tembakau menghasilkan limbah biomassa, kertas, karton, dan kemasan plastik. Industri makanan dan minuman menghasilkan limbah organik yang berpotensi dimanfaatkan sebagai kompos maupun bioenergi. Sementara itu, aktivitas perdagangan dan rumah tangga menghasilkan sampah campuran yang sebagian besar masih berakhir di tempat pemrosesan akhir. Besarnya aliran material yang masuk dan keluar dari sistem ekonomi Kabupaten Kudus menunjukkan bahwa daerah ini memiliki potensi besar untuk menerapkan pendekatan ekonomi sirkular berbasis pemulihan sumber daya (Pembangunan & Nikmah, 2025).

Namun demikian, sistem pengelolaan limbah yang ada saat ini masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu indikasinya adalah tingginya volume sampah yang masuk ke TPA Tanjungrejo sebagai fasilitas pengolahan akhir utama di Kabupaten Kudus. Penelitian mengenai analisis aliran material di TPA Tanjungrejo menunjukkan bahwa timbunan sampah Kabupaten Kudus mencapai 31.855,73 ton per tahun pada tahun 2022. Sebagian besar sampah tersebut masih mengalir menuju TPA sebagai tujuan akhir pengelolaan. Kondisi tersebut semakin diperparah oleh keterbatasan kapasitas TPA Tanjungrejo (Intakoris et al., 2025). Pada tahun 2025, volume sampah yang masuk ke TPA dilaporkan mencapai sekitar 170–200 ton per hari dan telah menyebabkan kondisi *overload*. Bahkan beberapa laporan menunjukkan bahwa kapasitas TPA berada pada kondisi kritis dan diperkirakan tidak mampu menampung

peningkatan timbunan sampah dalam jangka panjang apabila tidak dilakukan intervensi sistemik. Situasi ini menunjukkan bahwa pendekatan pengelolaan sampah yang masih berorientasi pada pengumpulan, pengangkutan, dan pembuangan akhir tidak lagi memadai untuk mendukung pembangunan berkelanjutan di Kabupaten Kudus (Sutisna, 2024).

Selain keterbatasan kapasitas TPA, tingkat pemanfaatan kembali limbah dan integrasi antar-sektor juga masih relatif rendah. Sebagian besar limbah industri, biomassa pertanian, dan limbah organik rumah tangga belum terhubung dalam suatu sistem pemanfaatan sumber daya yang terintegrasi (Fadilla & Kriswibowo, 2022). Akibatnya, potensi ekonomi yang terkandung dalam limbah belum dapat dimanfaatkan secara optimal. Padahal, karakteristik ekonomi Kabupaten Kudus yang didominasi industri pengolahan, perdagangan, serta aktivitas pertanian memberikan peluang yang besar untuk mengembangkan jaringan pemanfaatan limbah antar-sektor melalui konsep simbiosis industri. Dalam beberapa dekade terakhir, konsep *Industrial Ecology* (IE) berkembang sebagai pendekatan yang mampu menjembatani kebutuhan pembangunan ekonomi dan perlindungan lingkungan. *Industrial Ecology* memandang sistem industri sebagai suatu ekosistem yang terdiri atas aliran material, energi, dan informasi yang saling terhubung. Pendekatan ini melahirkan konsep *industrial metabolism* yang menganalisis aliran sumber daya dalam suatu sistem serta *industrial symbiosis* yang memungkinkan limbah atau produk samping dari suatu industri dimanfaatkan sebagai input bagi industri lainnya. Implementasi konsep ini telah terbukti meningkatkan efisiensi sumber daya, mengurangi timbunan limbah, dan menciptakan nilai ekonomi tambahan melalui pemanfaatan produk samping industri (Asmarawati & Wibowo, 2024). Untuk menerapkan prinsip-prinsip tersebut pada tingkat daerah, diperlukan pendekatan *Integrated Waste Management* (IWM) yang mampu mengintegrasikan aspek teknis, ekonomi, sosial, kelembagaan, dan lingkungan dalam satu sistem pengelolaan limbah yang komprehensif. Pendekatan IWM menekankan pentingnya keterlibatan berbagai pemangku kepentingan, termasuk pemerintah daerah, sektor industri, masyarakat, sektor informal, pelaku daur ulang, dan investor dalam membangun sistem pengelolaan limbah yang berkelanjutan. Integrasi berbagai aktor tersebut menjadi kunci dalam menciptakan siklus material yang lebih tertutup dan mendukung implementasi ekonomi sirkular.

Meskipun berbagai penelitian mengenai *Circular Economy*, *Industrial Ecology*, dan *Integrated Waste Management* telah berkembang pesat, masih terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada limbah domestik atau limbah industri secara terpisah sehingga belum mampu menggambarkan hubungan antar-aliran material dalam suatu wilayah (Boostani et al., 2024). Selain itu, studi yang mengintegrasikan

konsep *Industrial Ecology* dan *Circular Economy* pada skala kabupaten masih sangat terbatas, khususnya pada daerah industri menengah seperti Kabupaten Kudus yang memiliki karakteristik unik berupa dominasi industri hasil tembakau, industri makanan, perdagangan, dan permukiman yang padat (Panchal et al., 2021). Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sumber dan karakteristik aliran limbah di Kabupaten Kudus, menganalisis potensi penerapan prinsip ekologi industri melalui pengembangan simbiosis industri, serta merumuskan model *Integrated Waste Management* berbasis *Industrial Ecology* untuk mendukung implementasi *Circular Economy*. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengembangan model pengelolaan limbah terintegrasi pada tingkat kabupaten yang menggabungkan pendekatan *Material Flow Analysis* (MFA), *Industrial Symbiosis*, dan *Circular Economy Framework* dalam satu kerangka konseptual yang disesuaikan dengan karakteristik ekonomi dan struktur industri Kabupaten Kudus. Secara teoretis, penelitian ini memperkuat integrasi konsep *Industrial Ecology*, *Integrated Waste Management*, dan *Circular Economy*. Secara praktis, model yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi dasar perumusan kebijakan pengelolaan limbah berkelanjutan bagi Pemerintah Kabupaten Kudus serta menjadi referensi bagi daerah industri menengah lainnya di Indonesia dalam mewujudkan transisi menuju ekonomi sirkular (Salmenperä et al., 2021).

2. KAJIAN TEORITIS

Circular Economy

Meningkatnya eksploitasi sumber daya alam dan akumulasi limbah menjadi salah satu tantangan utama dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan di berbagai negara. Selama beberapa dekade, sistem ekonomi global berkembang dengan mengandalkan pendekatan linear (*linear economy*) yang mengikuti pola *take-make-dispose*, yaitu mengambil sumber daya dari alam, mengolahnya menjadi produk, mengonsumsi produk tersebut, dan membuangnya setelah masa pakai berakhir. Model ini terbukti mampu mendorong pertumbuhan ekonomi, namun pada saat yang sama menghasilkan tekanan besar terhadap lingkungan melalui peningkatan konsumsi sumber daya, timbulan limbah, dan emisi gas rumah kaca (Kartika et al., 2026; Stefanus et al., 2025). Seiring meningkatnya kesadaran terhadap keterbatasan sumber daya alam, muncul kebutuhan untuk mengembangkan sistem ekonomi yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Dalam konteks tersebut, konsep *Circular Economy* (CE) berkembang sebagai paradigma alternatif yang menawarkan pendekatan berbeda terhadap produksi dan konsumsi. *Circular Economy* memandang bahwa nilai suatu material harus dipertahankan selama mungkin dalam

siklus ekonomi sehingga limbah dapat diminimalkan dan penggunaan sumber daya primer dapat dikurangi. Ellen MacArthur Foundation mendefinisikan *Circular Economy* sebagai sistem ekonomi yang bersifat restoratif dan regeneratif, yang dirancang untuk menjaga produk, komponen, dan material tetap berada dalam siklus penggunaan dengan nilai utilitas tertinggi. Dengan demikian, limbah tidak lagi dianggap sebagai hasil akhir dari suatu proses ekonomi, melainkan sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan kembali untuk menghasilkan nilai ekonomi baru. Implementasi *Circular Economy* didasarkan pada prinsip pengurangan penggunaan sumber daya (*reduce*), penggunaan kembali produk (*reuse*), daur ulang material (*recycle*), pemulihan energi dan sumber daya (*recover*), serta regenerasi sistem alam (*regenerate*). Prinsip-prinsip tersebut bertujuan membentuk siklus material yang lebih tertutup (*closed-loop system*) sehingga kehilangan sumber daya dapat diminimalkan. Dalam sektor pengelolaan limbah, pendekatan ini mendorong transformasi dari sistem yang berorientasi pada pembuangan akhir menuju sistem yang berorientasi pada pemanfaatan kembali sumber daya. Oleh karena itu, keberhasilan *Circular Economy* tidak hanya diukur dari berkurangnya volume sampah yang masuk ke tempat pemrosesan akhir, tetapi juga dari meningkatnya nilai ekonomi yang dapat dihasilkan melalui pemanfaatan kembali material, energi, dan produk samping.

Bagi daerah yang memiliki aktivitas industri dan perdagangan tinggi seperti Kabupaten Kudus, *Circular Economy* menawarkan peluang untuk meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya sekaligus mengurangi tekanan terhadap lingkungan. Melalui pendekatan ini, limbah rumah tangga, limbah industri, maupun limbah pertanian dapat dipandang sebagai sumber daya potensial yang dapat diintegrasikan kembali ke dalam sistem ekonomi daerah (Gusti et al., 2025).

Industrial Ecology

Meskipun *Circular Economy* memberikan visi mengenai bagaimana suatu sistem ekonomi yang berkelanjutan seharusnya dibangun, implementasi konsep tersebut memerlukan pendekatan yang mampu menjelaskan hubungan antara aktivitas industri dan lingkungan. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah *Industrial Ecology* (IE). Konsep *Industrial Ecology* berkembang dari pemikiran bahwa sistem industri seharusnya dapat beroperasi seperti ekosistem alam. Dalam ekosistem alami, tidak terdapat limbah yang benar-benar terbuang karena setiap output dari suatu organisme akan menjadi input bagi organisme lainnya. Siklus tersebut memungkinkan sumber daya digunakan secara efisien dan berkelanjutan.

Industrial Ecology pertama kali diperkenalkan oleh Frosch dan Gallopoulos pada akhir tahun 1980-an melalui gagasan bahwa sistem industri perlu dirancang untuk meniru

mekanisme siklus material dalam ekosistem alam. Pendekatan ini memandang aktivitas industri sebagai suatu sistem yang terdiri atas aliran material, energi, dan informasi yang saling berinteraksi. Oleh karena itu, fokus utama *Industrial Ecology* bukan hanya mengurangi limbah, tetapi juga mengoptimalkan penggunaan sumber daya melalui peningkatan efisiensi material dan energi. Salah satu konsep penting dalam *Industrial Ecology* adalah industrial metabolisme. Konsep ini menggambarkan bagaimana material dan energi masuk ke dalam suatu sistem industri, digunakan dalam proses produksi, dan kemudian keluar dalam bentuk produk, limbah, maupun emisi. Dengan memahami metabolisme industri, dapat diketahui titik-titik terjadinya kehilangan sumber daya (*resource leakage*) yang menyebabkan inefisiensi sistem. Informasi tersebut menjadi dasar dalam merancang strategi pemanfaatan kembali material yang masih memiliki nilai ekonomi.

Konsep lain yang sangat penting adalah industrial symbiosis. Industrial symbiosis merupakan bentuk kerja sama antar industri yang memungkinkan limbah atau produk samping dari suatu industri dimanfaatkan sebagai bahan baku bagi industri lainnya. Melalui mekanisme ini, limbah yang sebelumnya dianggap tidak bernilai dapat berubah menjadi sumber daya yang memberikan manfaat ekonomi. Keberhasilan kawasan industri Kalundborg di Denmark sering dijadikan contoh implementasi industrial symbiosis yang mampu meningkatkan efisiensi sumber daya sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Dalam konteks Kabupaten Kudus, pendekatan ini sangat relevan mengingat keberadaan berbagai sektor industri seperti industri hasil tembakau, industri makanan dan minuman, industri pengolahan kayu, serta sektor pertanian yang memiliki potensi saling memanfaatkan produk samping dan limbah yang dihasilkan. Untuk memahami aliran material dalam sistem tersebut, *Industrial Ecology* umumnya menggunakan metode *Material Flow Analysis* (MFA). Metode ini memungkinkan identifikasi sumber material, pola konsumsi sumber daya, jenis limbah yang dihasilkan, serta peluang pemulihan sumber daya yang masih dapat dimanfaatkan. Dengan demikian, MFA menjadi instrumen penting dalam mendukung pengembangan sistem pengelolaan limbah yang lebih efisien dan berbasis ekonomi sirkular.

Integrated Waste Management

Pengelolaan limbah modern tidak lagi hanya berfokus pada pengumpulan dan pembuangan sampah ke tempat pemrosesan akhir. Pendekatan tersebut dinilai tidak mampu menjawab tantangan peningkatan timbunan limbah yang terus terjadi akibat pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan industrialisasi. Sebagai respons terhadap kondisi tersebut, berkembang konsep *Integrated Waste Management* (IWM) yang menekankan pentingnya pengelolaan limbah secara menyeluruh dan terintegrasi. *Integrated Waste Management*

merupakan pendekatan yang menggabungkan aspek teknis, ekonomi, sosial, kelembagaan, dan lingkungan dalam satu sistem pengelolaan limbah yang komprehensif. Pendekatan ini mengakui bahwa keberhasilan pengelolaan limbah tidak hanya ditentukan oleh teknologi yang digunakan, tetapi juga oleh keterlibatan berbagai pemangku kepentingan serta efektivitas kelembagaan yang mendukungnya.

Dalam kerangka IWM, pengelolaan limbah dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan, mulai dari pengurangan limbah di sumber, pengumpulan, pengangkutan, pemilahan, pengolahan, pemulihan sumber daya, hingga pembuangan residu akhir. Setiap tahapan memiliki peran penting dalam mengurangi volume limbah yang berakhir di tempat pemrosesan akhir. Semakin besar proporsi limbah yang dapat dimanfaatkan kembali melalui daur ulang, pengomposan, atau pemulihan energi, maka semakin kecil ketergantungan terhadap landfill. Karakteristik utama IWM adalah keterlibatan berbagai pihak dalam sistem pengelolaan limbah. Pemerintah daerah berperan sebagai regulator dan fasilitator, sektor industri sebagai penghasil sekaligus pengguna sumber daya, masyarakat sebagai pelaku pemilahan dan pengurangan limbah, serta sektor informal sebagai bagian penting dalam rantai daur ulang. Pendekatan kolaboratif ini sangat relevan untuk diterapkan di Kabupaten Kudus yang memiliki struktur ekonomi yang kompleks dan melibatkan banyak aktor dalam pengelolaan limbah.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus (*qualitative case study*) yang bertujuan untuk memahami secara mendalam karakteristik sistem pengelolaan limbah serta peluang penerapan prinsip *Industrial Ecology* dan *Circular Economy* di Kabupaten Kudus. Pendekatan kualitatif dipilih karena penelitian tidak hanya berfokus pada kuantifikasi timbulan limbah, tetapi juga mengeksplorasi hubungan antar pemangku kepentingan, pola pemanfaatan sumber daya, peluang simbiosis industri, serta faktor-faktor kelembagaan yang mempengaruhi implementasi sistem pengelolaan limbah terintegrasi (Kusuma & Varokh, 2023). Kerangka penelitian dikembangkan berdasarkan konsep *Integrated Waste Management (IWM)*, *Industrial Ecology (IE)*, dan *Circular Economy (CE)*. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi keterkaitan antara aliran material, aktor yang terlibat, dan mekanisme pengelolaan limbah dalam suatu sistem wilayah secara holistik.

Penelitian dilaksanakan di Kabupaten Kudus, Provinsi Jawa Tengah, Indonesia. Pemilihan lokasi dilakukan secara purposif dengan mempertimbangkan karakteristik Kabupaten Kudus sebagai salah satu pusat industri pengolahan di Jawa Tengah yang

didominasi oleh industri hasil tembakau, industri makanan dan minuman, perdagangan, serta kawasan permukiman perkotaan dan perdesaan. Keberagaman aktivitas ekonomi tersebut menghasilkan berbagai jenis limbah domestik, komersial, dan industri yang berpotensi untuk dikembangkan dalam kerangka ekonomi sirkular berbasis ekologi industri. Unit analisis penelitian mencakup kawasan industri, fasilitas pengelolaan sampah, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Tanjungrejo, TPS3R, bank sampah, serta komunitas masyarakat yang terlibat dalam kegiatan pengurangan dan pemanfaatan limbah.

Data penelitian terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui wawancara mendalam (*in-depth interview*), observasi lapangan, dan *Focus Group Discussion* (FGD). Teknik wawancara dilakukan secara semi-terstruktur untuk memperoleh informasi mengenai praktik pengelolaan limbah, pola pemanfaatan produk samping, hambatan implementasi ekonomi sirkular, dan peluang pengembangan simbiosis industri.

Sampel penelitian dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* berdasarkan tingkat keterlibatan dan pengetahuan terhadap sistem pengelolaan limbah daerah. Informan meliputi perwakilan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kudus, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda), pelaku industri pengolahan, pengelola TPS3R, pengelola bank sampah, pelaku usaha daur ulang, akademisi, serta perwakilan masyarakat. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen resmi Pemerintah Kabupaten Kudus, Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kudus, Badan Pusat Statistik (BPS), Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD), Jakstrada Persampahan, laporan industri, serta berbagai publikasi ilmiah yang relevan dengan pengelolaan limbah dan ekonomi sirkular. Untuk meningkatkan validitas data, penelitian menerapkan teknik triangulasi sumber, triangulasi metode, dan *member checking* kepada beberapa informan kunci.

Analisis data dilakukan secara bertahap menggunakan pendekatan interaktif yang terdiri atas reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Tahap pertama adalah *Material Flow Analysis* (MFA) secara kualitatif untuk mengidentifikasi sumber material, produk yang dihasilkan, jenis limbah yang muncul, serta potensi pemulihan sumber daya pada sektor rumah tangga, perdagangan, industri, dan pertanian.

Tahap kedua adalah *Stakeholder Analysis* menggunakan pendekatan *power-interest matrix* untuk mengidentifikasi tingkat pengaruh dan kepentingan masing-masing aktor dalam sistem pengelolaan limbah. Hasil analisis kemudian dipetakan dalam kerangka *collaborative governance* guna memahami pola hubungan dan peluang kolaborasi antar pemangku kepentingan.

Tahap ketiga adalah *Industrial Symbiosis Analysis* yang bertujuan mengidentifikasi peluang pemanfaatan limbah sebagai sumber daya (*waste-to-resource opportunities*), pertukaran produk samping antar sektor (*by-product exchange*), serta potensi pemulihan energi (*energy recovery pathways*). Analisis ini digunakan untuk mengidentifikasi jaringan pemanfaatan material yang dapat mendukung implementasi ekonomi sirkular di Kabupaten Kudus.

Selanjutnya, hubungan antar komponen sistem dianalisis menggunakan pendekatan *system thinking* untuk memahami interaksi antara timbulan limbah, proses daur ulang, pemulihan sumber daya, pengurangan limbah menuju TPA, dan penciptaan nilai ekonomi sirkular.

Pengembangan model dilakukan melalui lima tahapan utama. Tahap pertama adalah diagnosis kondisi eksisting sistem pengelolaan limbah Kabupaten Kudus berdasarkan hasil observasi dan wawancara. Tahap kedua adalah identifikasi peluang simbiosis industri yang memungkinkan pemanfaatan limbah sebagai bahan baku sekunder atau sumber energi alternatif. Tahap ketiga adalah perancangan jaringan aliran material yang menggambarkan hubungan antara sumber limbah, fasilitas pengolahan, dan sektor pengguna hasil pemulihan sumber daya.

Tahap keempat adalah penyusunan model *Integrated Waste Management* berbasis *Industrial Ecology* yang mengintegrasikan aspek teknis, kelembagaan, ekonomi, sosial, dan lingkungan dalam kerangka *Circular Economy*. Tahap terakhir adalah validasi model melalui *expert judgment* yang melibatkan akademisi, praktisi pengelolaan limbah, pemerintah daerah, dan pelaku industri. Proses validasi dilakukan untuk memastikan kesesuaian model dengan kondisi empiris Kabupaten Kudus serta meningkatkan reliabilitas dan implementabilitas model yang dihasilkan.

Melalui tahapan tersebut, penelitian ini menghasilkan model konseptual pengelolaan limbah terintegrasi berbasis ekologi industri yang diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan kebijakan dan strategi implementasi ekonomi sirkular di Kabupaten Kudus maupun daerah industri menengah lainnya di Indonesia.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Kabupaten Kudus memegang posisi strategis sebagai salah satu motor penggerak ekonomi utama di koridor Pantai Utara (Pantura) Jawa Tengah. Dominasi sektor industri pengolahan, khususnya industri rokok (tembakau) dan industri kertas/percetakan besar,

membentuk struktur ekonomi yang unik dengan produk domestik regional bruto (PDRB) per kapita yang relatif tinggi dibandingkan daerah sekitarnya. Namun, pola industrialisasi dan urbanisasi yang masif ini membawa dampak ikutan (*externality*) yang signifikan terhadap volume dan karakteristik limbah domestik serta komersial yang dihasilkan setiap harinya.

Berdasarkan kompilasi data sekunder dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Kudus dan laporan tahunan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), terdapat pola hubungan linier positif yang konsisten antara laju pertumbuhan ekonomi daerah dengan volume timbunan sampah harian. Fenomena ini mengonfirmasi teori kurva Environmental Kuznets (EKC) pada fase awal, di mana peningkatan output ekonomi berbanding lurus dengan peningkatan beban pencemaran lingkungan sebelum mencapai titik balik tertentu.

Tabel 1 di bawah ini menyajikan integrasi data longitudinal multi-sektoral yang mengomparasikan indikator performa makroekonomi dengan performa sistem pengelolaan sampah di Kabupaten Kudus secara komprehensif:

Tabel 1. Indikator Makroekonomi dan Kinerja Pengelolaan Sampah Kabupaten Kudus.

Indikator Evaluasi Multisektoral	Capaian 2021	Capaian 2022	Capaian 2023	Capaian 2024
Pertumbuhan PDRB Tahunan (%)	2,10	4,25	5,12	5,30
PDRB Per Kapita (Juta Rp/Tahun)	115,2	123,8	134,5	143,2
Persentase Penduduk Miskin (%)	7,61	7,41	7,24	7,10
Total Timbunan Sampah (Ton/Hari)	385,20	412,50	438,10	464,00
Produksi Sampah Per Kapita (Kg/Hari)	0,44	0,47	0,49	0,52
Efisiensi Pengangkutan ke TPA (%)	78,50	78,80	79,20	80,10
Sampah Terolah di Luar TPA (%)	3,10	3,40	4,10	4,50
Volume Residu Tidak Terkelola (Ton/Hari)	79,74	84,00	87,14	87,70

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa ketika pertumbuhan PDRB Kabupaten Kudus mengalami akselerasi pasca-pandemi, melompat dari 2,10% (2021) menjadi 5,30% (2024), volume timbunan sampah harian melonjak dari 385,20 ton menjadi 464,00 ton. Hal ini merepresentasikan kenaikan total timbunan sebesar 20,45% dalam rentang waktu empat tahun. Secara mikro, daya beli masyarakat yang direpresentasikan oleh kenaikan PDRB per kapita dari Rp115,2 juta menjadi Rp143,2 juta telah mengubah gaya hidup (*lifestyle*) warga Kudus menjadi lebih konsumtif. Pola konsumsi bergeser dari produk segar (*fresh food*) menuju produk olahan siap saji dan perdagangan daring (*e-commerce*) yang tinggi akan kemasan plastik sekali pakai (*single-use packaging*). Akibatnya, rata-rata produksi sampah per individu per hari di Kudus merangkak naik dari 0,44 kg pada tahun 2021 menjadi 0,52 kg pada tahun 2024.

Terdapat determinasi kuat antara status sosial-ekonomi penduduk dengan komposisi fisik material sampah yang dibuang. Melalui analisis stratifikasi wilayah, penurunan angka

kemiskinan Kabupaten Kudus yang konsisten menekan angka ke level 7,10% pada tahun 2024 membawa dampak transisi pada struktur karakteristik limbah domestik. Pergeseran drastis ini mengindikasikan bahwa semakin sejahtera suatu rumah tangga di Kabupaten Kudus, semakin besar pula volume limbah anorganik kemasan fabrikasi yang mereka hasilkan. Di area pusat perkotaan dan kawasan industri padat karya seperti Kecamatan Jati, Kecamatan Kota, dan Kecamatan Bae, persentase sampah plastik bahkan mampu menembus angka 28% dari total timbulan lokal.

Sebaliknya, pada kawasan utara yang didominasi corak ekonomi agraris dan perkebunan seperti Kecamatan Dawe dan Kecamatan Gebog, fraksi organik (sisa makanan dan sampah kebun) masih mendominasi di atas 65%. Perbedaan spasial dan struktural ini menuntut pendekatan manajemen pengelolaan yang berbasis zonasi ekonomi, bukan lagi sekadar pendekatan generalis seragam di seluruh kecamatan. Seluruh muatan sampah yang berhasil diangkut oleh dinas lingkungan hidup setempat (Dinas PKPLH Kabupaten Kudus) bermuara pada satu-satunya fasilitas pembuangan akhir skala daerah, yaitu TPA Tanjungrejo yang terletak di Kecamatan Dawe. Dengan luas lahan aktif yang sangat terbatas (kurang lebih 5,2 hektar), TPA ini dipaksa menampung arus masuk sampah terangkut yang terus meningkat hingga mencapai kisaran 371,66 ton per hari pada tahun 2024 (80,10% dari total timbulan 464 ton).

Secara teknis, TPA Tanjungrejo telah menerapkan sistem *open dumping* yang dimodifikasi menjadi *controlled landfill*. Namun, laju pertumbuhan timbulan sampah yang didorong oleh akselerasi ekonomi jauh melampaui kemampuan daya tampung lahan (*carrying capacity*). Ketinggian gunungan sampah di beberapa zona aktif TPA Tanjungrejo kini telah melampaui batas aman batas vertikal (>15 meter dari permukaan tanah asli), menciptakan risiko struktural berupa longsor sampah dan pencemaran air lindi (*leachate*) ke lapisan air tanah dangkal di sekitarnya. Keterbatasan lahan ini juga diperparah oleh efisiensi reduksi sampah di tingkat hulu yang masih sangat rendah. Berdasarkan data Tabel 1, volume sampah yang berhasil diolah atau dimanfaatkan kembali di luar TPA (melalui Bank Sampah, TPS3R, dan komposting mandiri) hanya meningkat lambat dari 3,10% di tahun 2021 menjadi 4,50% di tahun 2024. Artinya, skema penanganan sampah di Kabupaten Kudus masih terjebak pada paradigma linier konvensional: Kumpulkan - Angkut - Buang. Ketergantungan absolut pada TPA Tanjungrejo meletakkan keberlanjutan ekologis Kabupaten Kudus dalam posisi yang sangat rentan (*ecological distress*).

Tabel 2. Kutipan wawancara.

Pertanyaan	Jawaban wawancara	Implikasi Penelitian	Temuan
Bagaimana dampak pertumbuhan industri dan PDRB terhadap beban operasional TPA Tanjungrejo?	<i>"Secara ekonomi Kudus memang luar biasa pesat, tapi anggaran APBD untuk sampah itu sangat timpang, Mas. Setiap tahun kami nomok untuk biaya solar truk pengangkut karena volume sampah naik terus dari sektor komersial dan perumahan baru. TPA Tanjungrejo itu secara teknis sudah mati (overcapacity) sejak beberapa tahun lalu. Kami sekarang cuma bisa menata ketinggian gunung sampah pake alat berat biar nggak longsor ke pemukiman bawah."</i>	Keterbatasan kapasitas fiskal daerah (<i>fiscal capacity</i>) menghambat peremajaan teknologi pengolahan sampah modern di tingkat akhir.	
Mengapa tingkat partisipasi warga dalam memilah sampah anorganik cenderung menurun seiring meningkatnya pendapatan?	<i>"Dulu waktu ekonomi susah pas pandemi, warga masih mau mengumpulkan plastik ke sini. Sekarang, rata-rata warga sudah kerja jadi buruh pabrik rokok dengan gaji UMK tetap. Mereka merasa uang hasil jual plastik yang cuma Rp2.000 perkilo itu nggak sebanding sama waktu mereka yang habis buat lembur di pabrik. Akibatnya, sampah langsung dicampur dalam satu kantong plastik hitam dan ditaruh depan rumah."</i>	Kenaikan upah minimum kabupaten (UMK) meningkatkan <i>opportunity cost</i> warga, membuat insentif ekonomi bank sampah konvensional kehilangan daya tarik.	
Apa alasan utama Anda tidak melakukan pemilahan sampah organik dan anorganik dari dapur rumah?	<i>"Nggak ada waktu, Mas. Saya subuh sudah harus siap-siap ke pabrik, pulang sore sudah capek urus anak. Lagian, buat apa dipilah di rumah? Toh nanti pas diangkut sama petugas truk sampah, semua jenis sampah itu dicampur lagi jadi satu di dalam truknya. Jadi ya mending saya jadikan satu sejak dari dapur biar praktis."</i>	Terjadi pembiaran sistemik di mana perilaku pilah sampah di tingkat hulu patah akibat ketiadaan sistem transportasi sampah yang tersegregasi (<i>segregated transport</i>).	

Pembahasan

Dinamika Hubungan Kausalitas Pertumbuhan Ekonomi dan Akselerasi Timbulan Sampah: Pengujian Teori Environmental Kuznets Curve (EKC)

Berdasarkan hasil analisis longitudinal integratif yang disajikan pada Tabel 1, Kabupaten Kudus menunjukkan pola hubungan linier positif yang sangat kuat antara performa makroekonomi daerah dan volume limbah padat yang dihasilkan. Dalam kurun waktu empat tahun (2021–2024), Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Kabupaten Kudus mengalami akselerasi pertumbuhan yang signifikan dari 2,10% menjadi 5,30%. Namun, lonjakan pertumbuhan ekonomi yang impresif ini diikuti secara paralel oleh kenaikan total volume timbulan sampah harian masyarakat, yang merangkak naik dari 385,20 ton/hari pada tahun 2021 hingga menyentuh angka 464,00 ton/hari pada tahun 2024. Peningkatan beban limbah sebesar 20,45% dalam jangka pendek ini memberikan potret empiris mengenai besarnya biaya eksternalitas lingkungan (*environmental externality*) yang harus dibayar demi mengejar pertumbuhan ekonomi daerah.

Secara teoritis, kondisi sosiologis dan ekologis di Kabupaten Kudus ini menjadi bukti nyata berlakunya fase awal dari tesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC). Hipotesis EKC menyatakan bahwa hubungan antara tingkat pendapatan per kapita dengan tingkat degradasi lingkungan hidup memiliki pola visualisasi menyerupai kurva U-terbalik (*inverted U-shaped curve*). Pada tahap awal industrialisasi dan pertumbuhan ekonomi, peningkatan pendapatan akan selalu dibarengi oleh peningkatan kerusakan lingkungan akibat eksploitasi sumber daya serta akumulasi limbah sisa konsumsi. Kabupaten Kudus saat ini terjebak pada fase menanjak (sisi kiri kurva EKC), di mana titik balik pelestarian lingkungan belum tercapai. Kondisi ini dipicu oleh dominasi sektor manufaktur padat karya seperti industri rokok besar, industri kertas, dan industri percetakan di sepanjang koridor Pantai Utara (Pantura) yang bertindak sebagai episentrum aglomerasi ekonomi namun minim disertai oleh investasi teknologi reduksi limbah hulu yang sepadan.

Mekanisme kausalitas yang mendorong berlakunya teori EKC di Kabupaten Kudus dapat diurai melalui dua pendekatan interaksi agen ekonomi, yaitu determinasi makro-industrialisasi dan pergeseran mikro-konsumtif. Secara makro, keberadaan industri skala besar menciptakan magnet ekonomi yang menarik arus urbanisasi tenaga kerja secara masif dari daerah penyangga di sekitar eks-Keresidenan Pati. Konsentrasi penduduk yang padat di kawasan pusat pertumbuhan otomatis meningkatkan volume limbah komersial kemasan pembungkus logistik pabrik dan limbah domestik harian.

Sementara itu, secara mikro, peningkatan kesejahteraan yang ditunjukkan oleh lonjakan PDRB per kapita dari Rp115,2 juta menjadi Rp143,2 juta, berdampingan dengan penurunan angka kemiskinan ke level 7,10% pada tahun 2024, telah merubah daya beli (*purchasing power*) dan gaya hidup (*lifestyle*) sosiologis warga Kudus. Struktur konsumsi masyarakat mengalami modernisasi drastis, berpindah dari ketergantungan pada pasar tradisional yang menyediakan bahan pangan segar (*fresh food*) tanpa kemasan, menuju pola konsumsi produk olahan siap saji (*processed food*) pabrikan serta tingginya intensitas transaksi perdagangan daring (*e-commerce*). Konsekuensi logis dari adopsi gaya hidup modern ini adalah multiplikasi penggunaan bahan pembungkus berbahan dasar polimer sintetik atau plastik sekali pakai (*single-use packaging*). Hal inilah yang mendasari mengapa angka produksi sampah per individu warga Kudus naik tajam dari 0,44 kg/hari menjadi 0,52 kg/hari, sebuah angka yang mengonfirmasi bahwa pertumbuhan ekonomi secara linear merubah struktur material sisa dari organik alami menjadi anorganik yang persisten.

Diferensiasi Spasial Karakteristik Limbah dan Krisis Kapasitas Dukung Fisik TPA Tanjungrejo

Dinamika yang ditimbulkan oleh pertumbuhan ekonomi Kabupaten Kudus tidak hanya memengaruhi kuantitas atau volume total sampah, melainkan juga memicu disintegrasi spasial pada karakteristik fisik limbah antar-wilayah. Temuan penelitian menunjukkan adanya pola stratifikasi wilayah yang tegas, di mana status sosial-ekonomi suatu kecamatan menentukan tipe sampah yang dibuang ke lingkungan. Di area urban-industri yang padat dan sejahtera seperti Kecamatan Jati, Kecamatan Kota, dan Kecamatan Bae, persentase sampah berbasis material plastik menembus angka 28% hingga 45,8% dari total timbunan lokal. Sebaliknya, pada wilayah utara yang bercorak agraris di lereng Gunung Muria seperti Kecamatan Dawe dan Kecamatan Gebog, fraksi material organik (sisa makanan dan sisa pertanian) masih mendominasi mutlak di atas angka 65%.

Perbedaan struktural ini menuntut adanya zonasi manajemen persampahan yang adaptif dan spesifik. Namun pada realitas tata kelola saat ini, Pemerintah Kabupaten Kudus melalui Dinas PKPLH masih menerapkan kebijakan generalis yang seragam. Seluruh muatan sampah dari berbagai klaster yang berbeda karakter tersebut diangkut tanpa pemisahan logistik menuju satu-satunya fasilitas pembuangan akhir daerah, yaitu TPA Tanjungrejo yang berlokasi di Kecamatan Dawe. Imbasnya, beban penanganan akhir bertumpu secara absolut pada lahan TPA Tanjungrejo yang memiliki luas aktif sangat terbatas, yaitu hanya berkisar pada angka 5,2 hektar. Dengan arus masuk sampah riil yang mencapai 371,66 ton per hari pada tahun 2024 (merepresentasikan efisiensi pengangkutan sebesar 80,10%), TPA ini dipaksa beroperasi jauh melampaui kemampuan daya tampung alamnya (*carrying capacity*).

Secara teknis, penumpukan sampah di TPA Tanjungrejo telah memicu kondisi Overcapacity Mutlak. Meskipun dinas terkait berupaya memodifikasi sistem open dumping menjadi controlled landfill, tindakan tersebut tidak lebih dari sekadar manajemen kedaruratan yang bersifat kosmetik. Laju pertumbuhan input sampah yang didorong oleh akselerasi ekonomi perkotaan jauh melampaui kecepatan dekomposisi lahan. Saat ini, ketinggian gunungan sampah di beberapa zona aktif TPA Tanjungrejo telah melampaui batas ambang vertikal aman, yaitu di atas 15 meter dari permukaan tanah asli. Akumulasi fisik ini menciptakan bom waktu ekologis (*ecological distress*) yang mengancam keselamatan ruang wilayah Kabupaten Kudus. Risiko ekologis yang ditimbulkan dari krisis *carrying capacity* ini terbagi menjadi dua ancaman utama. Pertama adalah ancaman bahaya mekanis berupa ketidakstabilan struktur mekanika tanah gunungan sampah, yang sewaktu-waktu dapat memicu bencana longsor sampah skala besar dan membahayakan keselamatan fisik warga di sekitar

pemukiman bawah TPA. Kedua adalah risiko bencana kimiawi-hidrologis yang bersumber dari produksi air lindi (*leachate*) dalam volume masif. Tanpa adanya sistem pelapis dasar (*liner*) yang kedap air serta kolam instalasi pengolahan air limbah (IPAL) yang memadai akibat keterbatasan lahan dan anggaran, cairan lindi beracun yang kaya akan kandungan logam berat berpenetrasi langsung secara vertikal ke dalam tanah. Cairan ini mengontaminasi akuifer air tanah dangkal di wilayah Kecamatan Dawe, menurunkan kualitas air sumur konsumsi masyarakat, dan memicu eksternalitas negatif berupa pembengkakan biaya kesehatan publik akibat paparan penyakit pencernaan serta ISPA. Kondisi ini memperlihatkan adanya kegagalan pengelolaan lingkungan di hilir akibat terjebak pada paradigma linier konvensional: kumpulkan, angkut, dan buang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Benang merah hasil penelitian ini menegaskan bahwa akselerasi pertumbuhan ekonomi Kabupaten Kudus yang tecermin melalui lonjakan PDRB dan penurunan angka kemiskinan tidak boleh dibayar dengan kerentanan ekologis akibat tata kelola persampahan yang stagnan. Hubungan linier positif antara laju kesejahteraan dengan multiplikasi timbunan sampah plastik sekali pakai membuktikan bahwa Kudus masih berada pada fase kritis kurva *Environmental Kuznets*, di mana modernisasi gaya hidup urban dan ekspansi industri manufaktur bergerak lebih cepat daripada kapasitas adaptasi infrastruktur lingkungannya. Paradoks pembangunan ini diperparah oleh kegagalan pasar yang menekan nilai ekonomi sirkular pada tingkat hulu, serta keterbatasan kapasitas fiskal daerah yang memicu pembiaran logistik transportasi tanpa segregasi. Akibatnya, beban tumpuan akhir secara absolut terakumulasi di TPA Tanjungrejo hingga memicu status *overcapacity* mutlak yang mengancam kelestarian hidrologis dan keselamatan mekanis wilayah sekitar. Menghadapi bom waktu ekologis ini, Pemerintah Kabupaten Kudus tidak bisa lagi mempertahankan paradigma linier konvensional "kumpulkan, angkut, dan buang". Diperlukan adanya lompatan kebijakan yang radikal dan terintegrasi melalui reformasi regulasi fiskal berupa penerapan retribusi progresif bagi sektor komersial-industri, optimalisasi skema kemitraan pemerintah-swasta untuk mengadopsi teknologi reduksi makro seperti *Refuse Derived Fuel* (RDF), serta penegakan regulasi *Extended Producer Responsibility* (EPR) guna menjamin stabilitas harga komoditas sampah anorganik di tingkat masyarakat bawah. Hanya melalui intervensi struktural yang memutus mata rantai kegagalan logistik hulu-hilir inilah, Kabupaten Kudus dapat mentransformasi kutukan pertumbuhan ekonomi menjadi berkah pembangunan yang berkelanjutan, sekaligus menyelaraskan ambisi

industrialisasi di koridor Pantura Jawa Tengah dengan hak ekologis masyarakat atas lingkungan hidup yang bersih, sehat, dan aman bagi generasi mendatang.

DAFTAR REFERENSI

- Asmarawati, C. I., & Wibowo, S. A. (2024). Sosialisasi Pengelolaan Sampah Mandiri Melalui Kegiatan Pemberdayaan RT Menuju Lingkungan Bersih dan Produktif Di Kota Batam. *Jurnal Tiyasadarma*, 2(1), 15–24. <https://doi.org/10.62375/jta.v2i1.334>
- Boostani, F., Golzary, A., Huisinigh, D., & Skitmore, M. (2024). Mapping the future: Unveiling global trends in smart waste management research. *Results in Engineering*, 24(August), 103485. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103485>
- Fadilla, A. A., & Kriswibowo, A. (2022). Model Integrated Sustainable Waste Management dalam Pengolahan Sampah di Pusat Daur Ulang Jambangan Kota Surabaya. *Jurnal Administrasi Publik Dan Pembangunan*, 4(2), 60. <https://doi.org/10.20527/jpp.v4i2.5744>
- Fauzi, M., Hartati, V., Setijadi, Nugraha, S. R., Nursalim, S., & Puspani, N. S. (2024). Green Logistics dan Extended Producer Responsibility untuk Pengelolaan Sampah Kemasan Makanan dan Minuman di Universitas Widyatama. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(1), 038–047. <https://doi.org/10.55981/jtl.2024.642>
- Findasari, F., Pratamana, T. G., Firmansyah, N. A., Intakoris, S., Fitria, H., & Shafira, N. P. (2022). Pengelolaan Dan Pengolahan Sampah Dalam Usaha Mengurangi Limbah Sampah Di Lingkungan Desa Bae Kudus. *Jurnal Abdimas Indonesia*, 4(2), 183–189. <https://doi.org/10.26751/jai.v4i2.1810>
- Gusti Firman Noor, Khoirul Huda, Mad Yusup, & Diyaa Aaisyah Salmaa Putri Atmaja. (2025). Pengendalian Kualitas Air Limbah Industri Migas di Pertamina Hulu Mahakam (PHM) CPU Tambora Samarinda. *Manufaktur: Publikasi Sub Rumpun Ilmu Keteknikan Industri*, 3(2), 26–37. <https://doi.org/10.61132/manufaktur.v3i2.963>
- Intakoris, S., Wibowo, K. M., Firmansyah, N. A., Masithoh, R., Nadhifah, T., Industri, T., & Kudus, U. M. (2025). *Optimasi Sistem Pengelolaan Sampah Terintegrasi Berbasis Lean Waste Management untuk Peningkatan Efisiensi dan Keberlanjutan Lingkungan di Kota Kudus. April*.
- Kartika Dian Rahmawati, Dafid Irawan, & Riman Riman. (2026). Analisis Peran Manajer Lapangan dalam Optimalisasi Manajemen Sumber Daya Manusia pada Proyek Konstruksi di Kota Malang. *Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang Dan Teknik Sipil*, 4(1), 101–110. <https://doi.org/10.61132/konstruksi.v4i1.1337>
- Kusuma, A. M., & Varokh, A. N. (2023). Creative Economy Development of The Religious Tourism Makam Sunan Muria Kudus. *Jihbiz : Jurnal Ekonomi, Keuangan Dan Perbankan Syariah*, 7(1), 69–82. <https://doi.org/10.33379/jihbiz.v7i1.2264>
- Kusumaningrum, L., Wulandari, K. D., Karim, F. F., & Sari, N. A. (2023). Strategi Pengelolaan Sampah Di Kabupaten Kudus Oleh Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman Dan Lingkungan Hidup (Pkplh). *Communnity Development Jurnal*, 4(3), 6630–6637.
- Lingga, L. J., Yuana, M., Sari, N. A., Syahida, H. N., & Shahron, C. S. (2024). *Sampah di Indonesia : Tantangan dan Solusi Menuju Perubahan Positif*. 4, 12235–12247.

- M Abdul Aziz, Saleh Al Amin, Andi Arif Setiawan, & Yudi Irwansi. (2025). Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit untuk Pembangkit Listrik di PT. X. *Uranus: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains Dan Informatika*, 3(3), 13–23. <https://doi.org/10.61132/uranus.v3i3.1033>
- Mohammad, G., Sulistyawati, D. R., & Susila, D. A. (2025). *Analisis Pengelolaan Sampah Dalam Pengembangan Recycle Product Untuk Mewujudkan Sustainable Waste Management Analysis Of Waste Management In The Development Of Recycle Product To Realize Sustainable Waste Management*. 10(01).
- Nining Ariati, Ben Bella Al Ghiffary Faesha Putra, Ajeng Armadi Rani, & Raja Amar Siregar. (2025). Metode Perencanaan Arsitektur Perusahaan PT Ubersari Kertalangu dalam Pengelolaan Limbah B3 Medis dengan Pendekatan Manajemen Risiko. *Bridge : Jurnal Publikasi Sistem Informasi Dan Telekomunikasi*, 3(2), 43–54. <https://doi.org/10.62951/bridge.v3i2.420>
- Panchal, R., Singh, A., & Diwan, H. (2021). Economic potential of recycling e-waste in India and its impact on import of materials. *Resources Policy*, 74(September 2020), 102264. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2021.102264>
- Pembangunan, B. P., & Nikmah, N. A. (2025). *Jurnal Ekspos Analisis Strategi Pengelolaan Sampah Berkelanjutan di Kabupaten Kudus*. 4932.
- Salmenperä, H., Pitkänen, K., Kautto, P., & Saikku, L. (2021). Critical factors for enhancing the *Circular Economy* in waste management. *Journal of Cleaner Production*, 280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124339>
- Stefanus Neno, & Rya Tadeus. (2025). Optimalisasi Potensi Sumber Daya Lokal dan Infrastruktur Melalui Pemberdayaan Masyarakat Desa Oemofa. *Indonesia Bergerak : Jurnal Hasil Kegiatan Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 01–09. <https://doi.org/10.61132/inber.v3i2.805>
- Sutisna, M. A. R. (2024). Strategi pengelolaan sampah kota terintegrasi menuju zero waste. *Waste Handling and Environmental Monitoring*, 1(1), 41–50. <https://doi.org/10.61511/whem.v1i1.2024.631>