

Penerapan Metode *System Dynamics* dalam Perancangan Strategi *Circular Economy* untuk Mengurangi *Food Waste* Pada UMKM Roti Srikandi

Mohammad Syafril Alifianto^{1*}, Abdul Wahid²

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Yudharta Pasuruan, Pasuruan, Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Yudharta Pasuruan, Pasuruan, Indonesia

*Corresponding author: syafrilgagah@gmail.com

Abstrak: Limbah makanan (*food waste*) merupakan permasalahan yang berdampak signifikan terhadap aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan, termasuk pada industri pengolahan roti berskala UMKM. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keterkaitan antar variabel yang memengaruhi timbulan *food waste*, membangun model simulasi *system dynamics*, serta merumuskan strategi *circular economy* yang paling efektif untuk meminimalisir limbah pada UMKM Roti Srikandi. Penelitian menggunakan pendekatan *system dynamics* dengan data primer yang diperoleh melalui wawancara dan observasi terhadap lima responden ahli (empat karyawan dan satu pemilik usaha), serta data sekunder berupa data produksi dan limbah perusahaan selama tiga bulan terakhir. Pengolahan data dilakukan melalui penyusunan *Causal Loop Diagram* (CLD) dan *Stock and Flow Diagram* (SFD) menggunakan perangkat lunak Vensim, kemudian disimulasikan untuk mengamati perilaku sistem produksi dan timbulan limbah selama periode simulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem produksi memiliki *one reinforcing loop* dan dua *balancing loop* yang saling memengaruhi antara persediaan bahan baku, efisiensi produksi, dan akumulasi limbah. Simulasi memperlihatkan bahwa tanpa intervensi, akumulasi limbah terus meningkat seiring pertumbuhan produksi. Tiga skenario *circular economy*, yaitu *reduce*, *reuse*, dan *recycle*, terbukti mampu menekan laju pertumbuhan limbah, dengan penerapan secara terintegrasi memberikan hasil paling optimal. Penelitian ini merekomendasikan penerapan bertahap ketiga strategi tersebut sebagai solusi berkelanjutan bagi UMKM pengolahan roti dalam mengurangi *food waste* sekaligus meningkatkan efisiensi produksi.

Kata kunci: *food waste*, *circular economy*, *system dynamics*, UMKM, industri roti

Abstract: Food waste is a major issue with significant economic, social, and environmental impacts, including in small and medium-sized bakery enterprises. This study aims to identify the relationships among variables affecting food waste generation, develop a system dynamics simulation model, and formulate the most effective circular economy strategy to minimize waste at UMKM Roti Srikandi. A system dynamics approach was applied, using primary data collected through interviews and observations of five expert respondents (four employees and one business owner), along with secondary data on the company's production and waste over the past three months. Data were processed by developing a Causal Loop Diagram (CLD) and a Stock and Flow Diagram (SFD) using Vensim software, which were then simulated to observe the behavior of the production system and waste accumulation over the simulation period. The results show that the production system contains one reinforcing loop and two balancing loops that interact among raw material inventory, production efficiency, and waste accumulation. Simulation results indicate that without intervention, waste accumulation continues to rise alongside production growth. Three circular economy scenarios, namely reduce, reuse, and recycle, were shown to suppress the rate of waste growth, with an integrated implementation producing the most optimal outcome. This study recommends a phased implementation of the three strategies as a sustainable solution for small bakery enterprises to reduce food waste while improving production efficiency.

Keywords: *food waste*, *circular economy*, *system dynamics*, *small and medium enterprises*, *bakery industry*

Pendahuluan

Limbah makanan (*food waste*) telah menjadi tantangan global yang berdampak signifikan pada aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan (Spang et al., 2019). Data *Food and Agriculture Organization* menunjukkan bahwa sekitar sepertiga dari total makanan yang diproduksi untuk konsumsi manusia hilang atau terbuang, dengan jumlah mencapai 1,3 miliar ton per tahun (Joint,

2011). Di Indonesia, laporan (Bappenas, 2022) mencatat *food loss and food waste* sebesar 23–48 juta ton per tahun pada periode 2000–2019, setara dengan kerugian ekonomi Rp213–551 triliun per tahun. Industri pengolahan makanan menyumbang timbulan limbah tersebut melalui sisa proses produksi, produk cacat, dan inefisiensi rantai pasok, dan sebagian besar masih mengadopsi pola ekonomi linier *take-make-dispose* (Sari et al., 2025).

Sebagai alternatif dari pola linier tersebut, konsep *circular economy* (CE) menawarkan pendekatan restoratif dan regeneratif yang bertujuan mempertahankan nilai produk, komponen, dan material selama mungkin di dalam sistem (MacArthur, 2013). (Kirchherr et al., 2017) merumuskan CE melalui kerangka 4R, yaitu *reduce*, *reuse*, *recycle*, dan *recovery*, sebagai upaya sistematis untuk meminimalisir input sumber daya sekaligus timbulan limbah. Namun demikian, transisi menuju sistem sirkular pada industri makanan bersifat kompleks karena melibatkan variabel yang saling bergantung, seperti fluktuasi permintaan, kapasitas produksi, efisiensi proses, dan tingkat kecacatan produk, sehingga pengambilan keputusan secara konvensional cenderung kurang akurat.

UMKM Roti Srikandi, yang berlokasi di Kecamatan Pandaan, Kabupaten Pasuruan, merupakan salah satu industri pengolahan roti tawar dengan kapasitas produksi sekitar 1.000 pcs per hari. Dari proses produksi tersebut dihasilkan limbah berupa sisa potongan pinggiran roti sebanyak kurang lebih 5 kg per hari. Kompleksitas dan sifat dinamis dari sistem produksi ini menuntut pendekatan pemodelan yang mampu menangkap hubungan sebab-akibat antarvariabel dari waktu ke waktu. *System Dynamics* (SD) dipilih karena mampu memodelkan sistem kompleks yang ditandai adanya umpan balik (*feedback loops*), keterlambatan waktu (*time delays*), dan hubungan non-linear (Sweeney & Sterman, 2000). Melalui simulasi SD, pengambil keputusan dapat melihat dampak jangka panjang suatu kebijakan sebelum diterapkan secara nyata (Forrester, 1961), sehingga strategi *circular economy* (CE) yang paling optimal, baik berupa investasi teknologi daur ulang, optimasi proses, maupun pengolahan produk sampingan, dapat ditentukan tanpa mengorbankan profitabilitas usaha (Prihartini et al., 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi dan menganalisis keterkaitan antarvariabel dalam sistem produksi dan pengelolaan limbah yang memengaruhi timbulan *food waste*, (2) membangun model simulasi *system dynamics* yang valid untuk merepresentasikan perilaku sistem produksi dan timbulan limbah, dan (3) menganalisis berbagai skenario strategi *circular economy* guna menentukan rekomendasi strategi yang paling efektif diterapkan pada industri pengolahan roti skala UMKM.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis pemodelan *System Dynamics* untuk menganalisis perilaku sistem produksi dan pengelolaan limbah pada UMKM Roti Srikandi di

Kecamatan Pandaan, Kabupaten Pasuruan, yang dilaksanakan pada 30 Maret hingga 30 April 2026, dengan subjek penelitian terdiri atas lima responden ahli yaitu empat karyawan dan satu pemilik usaha yang dipilih melalui teknik purposive sampling berdasarkan keterlibatan langsung dalam proses produksi. Data primer dikumpulkan melalui wawancara mendalam mengenai faktor-faktor penyebab timbulan *food waste* serta observasi langsung terhadap alur produksi dan pengelolaan limbah, sementara data sekunder berupa data produksi, penggunaan bahan baku, dan volume limbah selama tiga bulan terakhir diperoleh dari dokumentasi perusahaan dan studi literatur, dengan penerapan etika penelitian berupa *informed consent* dan anonimitas informan sebagai bentuk tanggung jawab peneliti. Instrumen utama yang digunakan adalah perangkat lunak Vensim untuk membangun model kualitatif berupa *Causal Loop Diagram* (CLD) yang menggambarkan hubungan sebab-akibat dan *feedback loop* antarvariabel, kemudian dikembangkan menjadi model kuantitatif *Stock and Flow Diagram* (SFD) yang diisi dengan parameter dari data sekunder, divalidasi melalui perbandingan hasil simulasi dengan data historis serta pengecekan konsistensi logika sistem, dan selanjutnya disimulasikan untuk mengevaluasi kondisi eksisting (*baseline*) sebelum diuji dengan tiga skenario circular economy yaitu *reduce*, *reuse*, dan *recycle*. Teknik analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi setiap skenario terhadap kondisi *baseline* berdasarkan indikator keberhasilan berupa penurunan jumlah *food waste*, efisiensi penggunaan bahan baku, dan stabilitas sistem produksi, sehingga dapat ditentukan strategi *circular economy* yang paling efektif dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah untuk diterapkan pada industri pengolahan roti skala UMKM.

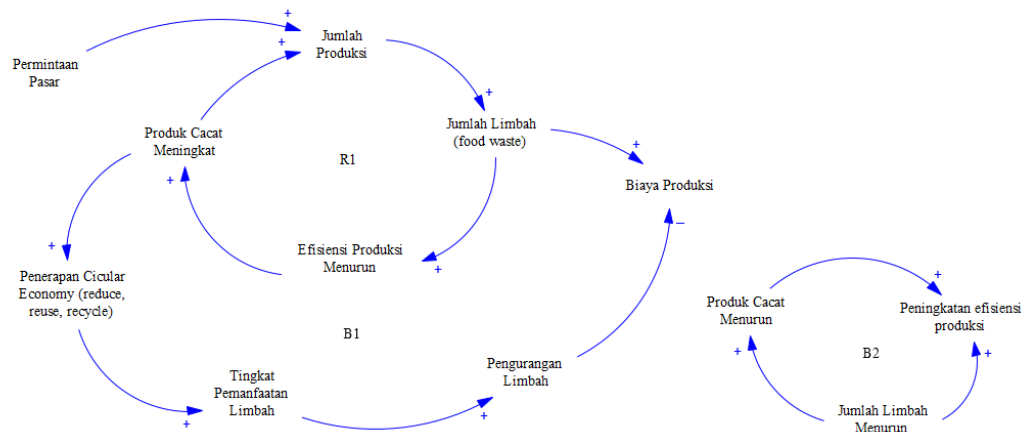
Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil wawancara dan observasi terhadap lima responden ahli, teridentifikasi sembilan variabel yang saling berhubungan dan membentuk sistem dinamis yang memengaruhi timbulan food waste pada UMKM Roti Srikandi, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel yang Memengaruhi Timbulan Food Waste

Variabel Input	Variabel Proses	Variabel Output
Jumlah bahan baku	Efisiensi produksi	Jumlah produk jadi
Jumlah produksi	Tingkat cacat produk	Jumlah food waste
Permintaan pasar	Keterampilan tenaga kerja	Pemanfaatan limbah

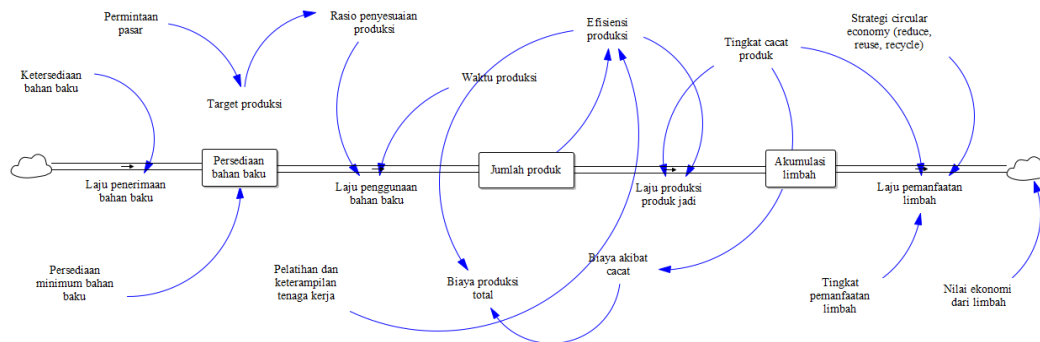
Dari data variabel yang diperoleh di atas, selanjutnya akan diolah menjadi causal loop diagram menggunakan vensim. Hasilnya dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Causal Loop Diagram Variabel Sebab Akibat

Hubungan sebab-akibat antarvariabel tersebut digambarkan melalui *Causal Loop Diagram* (CLD) yang menunjukkan satu *reinforcing loop* (R1) dan dua *balancing loop* (B1 dan B2). Pada *reinforcing loop*, peningkatan permintaan pasar mendorong peningkatan jumlah produksi, yang kemudian meningkatkan potensi timbulan *food waste*, peningkatan limbah ini menaikkan biaya produksi, menurunkan efisiensi produksi, dan pada gilirannya menambah tingkat cacat produk yang kembali memperbesar limbah, sehingga tanpa intervensi sistem akan terus menghasilkan limbah dalam jumlah yang semakin besar seiring meningkatnya aktivitas produksi (Rahmi & Anikusuma, 2026). *Balancing loop* B1 menggambarkan bahwa peningkatan limbah mendorong penerapan strategi *circular economy* (*reduce, reuse, recycle*) yang meningkatkan pemanfaatan limbah sehingga menekan jumlah limbah terbuang (Ergantara, 2017), sementara *balancing loop* B2 menunjukkan bahwa penurunan limbah berdampak pada penurunan produk cacat yang selanjutnya meningkatkan efisiensi produksi dan kembali menekan timbulan limbah, sehingga tercipta siklus perbaikan berkelanjutan (Rahmi & Anikusuma, 2026). Struktur CLD ini menegaskan bahwa strategi *circular economy* berperan penting dalam mengubah pola sistem dari linear menjadi lebih berkelanjutan (Sari et al., 2025).

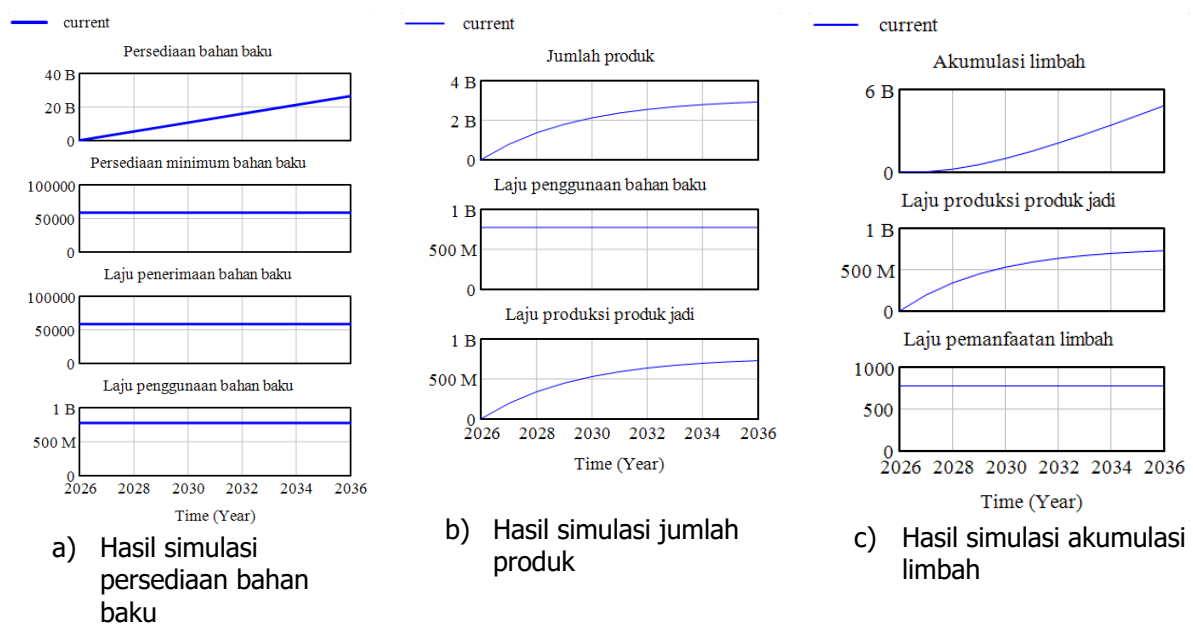
Model kualitatif tersebut selanjutnya diterjemahkan menjadi *Stock and Flow Diagram* (SFD) yang menggambarkan hubungan kuantitatif antara persediaan bahan baku, proses produksi, jumlah produk jadi, dan akumulasi limbah (Setianto, 2016). Stock and flow diagram dapat dilihat pada gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Stock And Flow Diagram Permasalahan Food Waste

Persediaan bahan baku sebagai stok utama dipengaruhi oleh laju penerimaan bahan baku serta persediaan minimum yang menjaga stabilitas proses produksi, sementara laju penggunaan bahan baku dipengaruhi oleh target produksi, rasio penyesuaian produksi, serta keterampilan tenaga kerja. Bahan baku yang digunakan kemudian diproses menjadi produk jadi dengan tingkat keberhasilan yang ditentukan oleh efisiensi produksi, sedangkan tingkat cacat produk yang muncul selama proses berkontribusi langsung terhadap akumulasi limbah. Akumulasi limbah dalam model ini tidak diperlakukan semata sebagai sisa produksi, melainkan sebagai sumber daya yang masih memiliki nilai ekonomi melalui laju pemanfaatan limbah yang dipengaruhi oleh strategi *reduce*, *reuse*, dan *recycle*.

Hasil simulasi kondisi eksisting menunjukkan bahwa persediaan bahan baku, jumlah produk, dan akumulasi limbah bersifat dinamis dan terus bertumbuh selama periode simulasi apabila sistem produksi tetap berjalan pada pola linear tanpa pemanfaatan limbah, sebagaimana dapat dilihat pada gambar 3 dan dirangkum pada tabel 2 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik Hasil Simulasi

Pada tahap awal simulasi, persediaan bahan baku relatif stabil karena laju pemasukan masih mampu memenuhi kebutuhan produksi, namun seiring meningkatnya permintaan pasar dan kapasitas produksi, penggunaan bahan baku terus meningkat dan mendorong pertumbuhan jumlah produk maupun akumulasi limbah secara bersamaan.

Tabel 2. Ringkasan Tren Hasil Simulasi Kondisi Eksisting

Tahun Simulasi	Persediaan Bahan Baku	Jumlah Produk	Akumulasi Limbah
2026 (baseline)	58.656	14.650	14.650
2029	Meningkat tajam	Meningkat tajam	Meningkat tajam
2036 (akhir simulasi)	Terus bertumbuh	Terus bertumbuh	Terus bertumbuh

Kondisi eksisting UMKM Roti Srikandi memproduksi rata-rata 1.000 pcs roti tawar per hari atau setara 50 kg, dengan limbah sisa potongan pinggiran roti sebanyak 5 kg per hari atau sekitar 10% dari total produksi, sebagaimana terlihat konsisten pada rekapitulasi tiga bulan terakhir pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Limbah Produksi UMKM Roti Srikandi Selama Tiga Bulan Terakhir

Bulan	Total Produksi	Jumlah Limbah	Persentase Limbah
Januari 2026	1.300 kg	130 kg	10%
Februari 2026	1.200 kg	120 kg	10%
Maret 2026	600 kg	60 kg	10%

Berdasarkan pola tersebut, dikembangkan tiga skenario *strategi circular economy* sebagai bentuk intervensi terhadap sistem produksi linear. Skenario *reduce* berfokus pada pencegahan timbulan limbah sejak tahap awal produksi melalui peningkatan efisiensi proses, perbaikan kerja, dan pengurangan tingkat produk cacat; secara teori, *reduce* merupakan langkah paling awal dalam *circular economy* (CE) yang mencegah limbah sebelum terbentuk sehingga relatif mudah diimplementasikan tanpa investasi besar (Kilemile, 2025). Skenario *reuse* memanfaatkan kembali limbah yang dihasilkan tanpa melalui pengolahan kompleks, misalnya sisa roti sebagai pakan ternak atau bahan tambahan produk lain, sehingga memperpanjang siklus hidup material dengan biaya rendah (Alamelu & Sudha, 2025). Skenario *recycle* mengolah limbah menjadi produk turunan bernilai ekonomi seperti tepung roti, sejalan dengan prinsip *closed-loop system* yang mengembalikan material ke dalam siklus produksi sebagai sumber daya baru (Kalmykova et al., 2018).

Hasil analisis menunjukkan bahwa ketiga skenario tersebut secara konsisten mampu menekan laju pertumbuhan akumulasi limbah dibandingkan kondisi *baseline*, dengan skenario *reduce* memberikan dampak paling cepat terlihat karena bekerja pada sumber limbah, skenario *reuse* memberikan keuntungan tambahan dengan biaya implementasi rendah, dan skenario *recycle* memberikan dampak penurunan limbah paling besar dalam jangka panjang meski membutuhkan

investasi teknologi tambahan. Penerapan ketiga skenario secara terintegrasi terbukti memberikan hasil paling optimal karena saling melengkapi, *reduce* menekan sumber limbah, *reuse* memanfaatkan limbah yang masih tersisa, dan *recycle* mengolah sisa limbah menjadi produk bernilai tambah, sehingga sistem produksi yang semula linear dapat bertransformasi menjadi sistem yang lebih sirkular, produktif, dan berkelanjutan (Lim et al., 2024).

Temuan ini memperkuat penelitian-penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa penerapan *circular economy* pada sektor pangan mampu mengurangi limbah, meningkatkan efisiensi sumber daya, serta membuka peluang ekonomi baru (Geissdoerfer et al., 2017). Selain manfaat lingkungan dan ekonomi berupa penghematan biaya bahan baku dan penciptaan aliran pendapatan dari produk sampingan (Murray et al., 2017), penerapan CE pada skala UMKM juga berpotensi memberikan dampak sosial melalui penciptaan peluang kerja baru di sektor pengolahan limbah, meskipun keberhasilannya tetap bergantung pada kualitas pekerjaan yang tercipta dan keterlibatan seluruh pemangku kepentingan secara adil dan inklusif (Suarez et al., 2023).

Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa struktur keterkaitan antarvariabel dalam sistem produksi dan pengelolaan limbah UMKM Roti Srikandi saling memengaruhi antara variabel input berupa jumlah bahan baku, jumlah produksi, dan permintaan pasar, variabel proses berupa efisiensi produksi, tingkat cacat produk, dan keterampilan tenaga kerja, serta variabel output berupa jumlah produk jadi, jumlah *food waste*, dan pemanfaatan limbah, yang membentuk satu *reinforcing loop* dan dua *balancing loop* dalam sistem. Model simulasi *system dynamics* yang dibangun melalui *Stock and Flow Diagram* terbukti mampu merepresentasikan perilaku sistem produksi dan timbulan limbah secara dinamis, menunjukkan bahwa pola produksi linear tanpa pengelolaan limbah akan menyebabkan akumulasi limbah yang terus bertumbuh seiring meningkatnya aktivitas produksi. Adapun tiga skenario strategi *circular economy*, yaitu *reduce* yang menekan limbah sejak sumbernya melalui peningkatan efisiensi produksi, *reuse* yang memanfaatkan kembali limbah bernilai guna dengan biaya rendah, dan *recycle* yang mengolah limbah menjadi produk baru bernilai jual, terbukti efektif menekan timbulan *food waste*, dengan penerapan ketiga strategi secara terintegrasi memberikan hasil paling optimal bagi UMKM Roti Srikandi untuk bertransformasi dari sistem produksi linear menjadi sistem yang lebih sirkular dan berkelanjutan. Bagi UMKM disarankan untuk meningkatkan pengelolaan persediaan bahan baku dan proses produksi guna mengurangi produk cacat serta menerapkan strategi *reduce*, *reuse*, dan *recycle* secara berkelanjutan, sementara penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan model dengan menambahkan variabel lain seperti biaya produksi, keuntungan usaha, dan perilaku konsumen agar simulasi memberikan hasil yang lebih kompleks dan mendekati kondisi nyata, serta mengeksplorasi skenario kebijakan lain yang lebih inovatif pada industri pengolahan pangan secara

lebih luas.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada pihak UMKM Roti Srikandi atas izin, akses data, dan kesediaannya menjadi responden dalam penelitian ini, serta kepada dosen pembimbing dan Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Yudharta Pasuruan atas bimbingan dan dukungan yang diberikan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini.

Referensi

- Alamelu, R. P. R., & Sudha, S. S. M. (2025). Theories , techniques and strategies of sustainable circular economy : a systematic literature review. *Discover Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01161-5>
- Bappenas. (2022). *GRASP 2030: NFA Ajak Semua Pihak Kolaborasi Tekan Food Loss and Waste (FLW)*. Badan Pangan Nasional. file:///C:/Users/user/Downloads/Badan Pangan Nasional - GRASP 2030_ NFA Ajak Semua Pihak Kolaborasi Tekan Food Loss and Waste (FLW) - Blog.html
- Ergantara, R. I. (2017). MODEL SISTEM PRODUKSI BIOETANOL BERKELANJUTAN. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, Dan Sains*, 1(1).
- Forrester, A. T. (1961). Photoelectric mixing as a spectroscopic tool. *Journal of the Optical Society of America*, 51(3), 253–259.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy–A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- Joint, F. A. O. (2011). Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Caramel Colours. Combined Compendium of Food Additive Specification, Monograph*, 11, 1817–7077.
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., & Rosado, L. (2018). Resources , Conservation & Recycling Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation & Recycling*, 135(February 2017), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>
- Kilemle, W. (2025). *Transforming Food Systems : A Review of Sustainable Approaches to Minimize Food Loss and Waste*. 1–26. <https://doi.org/10.1002/fsn3.71167>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.
- Lim, C. M., Isaias, A., Huaco, V., & Chen, W. N. (2024). Food circular economy and safety considerations in waste management of urban manufacturing side streams. *Npj Science of Food*. <https://doi.org/10.1038/s41538-024-00309-3>
- MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 23–44.
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380.
- Prihartini, I., Minarsi, A., Baskoro, S. E., Juansa, A., Sutawi, S., Gustina, G., & Anitasari, M. (2025). *Ekonomi Sirkular: Konsep, teori dan Penerapan*. Star Digital Publishing.
- Rahmi, E., & Anikusuma, L. E. (2026). *Penerapan Ekonomi Sirkular Dalam Pengelolaan Sampah Penerapan Sistem Dinamik Dengan Causal Loop Diagram Untuk Kota Berkelanjutan*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Sari, U., Rusdiantini, S., Novianti, S., & Maulidiah, M. (2025). Ekonomi sirkular dalam industri manufaktur: Strategi untuk mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi. *Jurnal Ekonomi & Bisnis*, 13(2), 230–239.
- Setianto, N. A. (2016). Penyusunan Stock and Flow Dynamic Model Berdasarkan Pemodelan Kualitatif Causal Loop Diagram pada Usaha Peternakan Sapi Skala Kecil. *Prosiding Seminar Teknologi Dan Agribisnis Peternakan (STAP)*, 4, 20–27.
- Spang, E. S., Moreno, L. C., Pace, S. A., Achmon, Y., Donis-Gonzalez, I., Gosliner, W. A., Jablonski-Sheffield, M. P., Momin, M. A., Quested, T. E., & Winans, K. S. (2019). Food loss and waste: measurement, drivers, and solutions. *Annual Review of Environment and Resources*, 44(1), 117–156.

- Suarez, L. J., Jesús, V., Carreón, R., Corona, B., & Worrell, E. (2023). The Social Impacts of Circular Strategies in the Apparel Value Chain ; a Comparative Study Between Three Countries. In *Circular Economy and Sustainability* (Vol. 3, Issue 2). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s43615-022-00203-8>
- Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review: The Journal of the System Dynamics Society*, 16(4), 249–286.