

Model *Platform On-Demand* untuk Optimasi Rantai Nilai Daur Ulang Perkotaan

Deny Wibisono^{1*}

¹Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta, Jakarta, Indonesia

Email: denywibisono80@gmail.com

(* : coresponding author)

Abstrak– Pengelolaan sampah perkotaan di Indonesia menghadapi fragmentasi rantai nilai, asimetri informasi, ketidakpastian pengumpulan, dan keterbatasan koordinasi antara rumah tangga sebagai sumber material dan pengepul sebagai pelaku utama sektor informal. Penelitian ini mengusulkan model platform on-demand yang mengintegrasikan pendekatan sosio-teknik dengan System Dynamics untuk memperkuat rantai nilai daur ulang secara inklusif dan berkelanjutan. Rancangan penelitian menggunakan mixed-methods explanatory sequential yang terdiri atas eksplorasi sistem, pengujian faktor adopsi menggunakan Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), serta pemodelan dan simulasi System Dynamics. Model sosio-teknik menguji pengaruh perceived ease of use, perceived usefulness, social influence, dan facilitating conditions terhadap behavioral intention, dengan trust dan information transparency diposisikan sebagai moderator. Keluaran behavioral intention kemudian diterjemahkan menjadi adoption rate sebagai antarmuka antara level mikro dan makro. Pada level makro, System Dynamics digunakan untuk merepresentasikan feedback, kapasitas operasional, aliran material, manfaat ekonomi, dan kinerja lingkungan. Artikel ini menghasilkan rancangan model integratif, struktur variabel, mekanisme translasi SEM–SD, dan skenario kebijakan yang dapat diuji pada penelitian empiris berikutnya. Karena artikel bersumber dari proposal penelitian, hasil yang disajikan merupakan hasil konseptual dan metodologis, bukan klaim hasil pengujian empiris.

Kata Kunci: *Platform On-Demand, Circular Economy, Urban Waste, Socio-Technical System, PLS-SEM, System Dynamics*

Abstract– Urban waste management in Indonesia is characterized by fragmented value chains, information asymmetry, uncertain collection, and weak coordination between households as material sources and informal collectors. This study proposes an on-demand platform model integrating a socio-technical perspective with System Dynamics to strengthen an inclusive and sustainable recycling value chain. The research design follows an explanatory sequential mixed-methods approach comprising system exploration, empirical testing of adoption factors using Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM), and System Dynamics modeling and simulation. The socio-technical model examines perceived ease of use, perceived usefulness, social influence, and facilitating conditions as predictors of behavioral intention, while trust and information transparency are positioned as moderators. Behavioral intention is translated into an adoption rate as an interface between micro-level behavior and macro-level system dynamics. The System Dynamics model represents feedback, operational capacity, material flows, economic benefits, and environmental performance. The article produces an integrative model design, variable structure, SEM–SD translation mechanism, and policy scenarios for subsequent empirical testing. Since the article is derived from a research proposal, the presented findings are conceptual and methodological rather than empirical claims.

Keywords: *On-Demand Platform, Circular Economy, Urban Waste, Socio-Technical System, PLS-SEM, System Dynamics*

1. PENDAHULUAN

Ekonomi sirkular menempatkan material sebagai sumber daya yang perlu dipertahankan nilainya selama mungkin melalui pengurangan, penggunaan kembali, perbaikan, dan daur ulang. Pergeseran dari model linear menuju sistem sirkular membutuhkan perubahan pada teknologi, proses bisnis, perilaku, serta tata kelola. Karena itu, pengelolaan sampah perkotaan perlu dipahami sebagai sistem sosio-ekonomi yang melibatkan banyak aktor dan umpan balik (Geissdoerfer et al., 2017; Kirchherr et al., 2022).

Pada konteks negara berkembang, sektor informal mempunyai peran penting dalam pemulihan material. Namun, rantai nilai yang melibatkan rumah tangga, pengepul, dan aktor hilir sering terfragmentasi. Fragmentasi tersebut menghasilkan asimetri informasi mengenai jenis dan volume material, ketidakpastian waktu pengambilan, serta keterbatasan transparansi harga. Penguatan sektor informal perlu mempertimbangkan aspek inklusi sosial dan nilai ekonomi, bukan sekadar peningkatan kapasitas teknis (Gutberlet, 2021; Sasaki et al., 2020).

Digitalisasi menawarkan peluang untuk mengurangi friksi koordinasi melalui platform yang mempertemukan permintaan dan penawaran secara real-time. Kajian tentang platform digital dalam ekonomi sirkular menunjukkan bahwa pertukaran informasi, keterhubungan aktor, dan efisiensi jaringan dapat mendukung pemulihan material (Kurniawan et al., 2022; Ranjbari et al., 2024). Dalam konteks Indonesia, digitalisasi juga berpotensi meningkatkan nilai ekonomi material yang sebelumnya tidak tertangkap optimal dalam rantai daur ulang (Kurniawan et al., 2022).

Platform digital tidak otomatis menghasilkan keberhasilan. Adopsi dipengaruhi oleh persepsi manfaat, kemudahan penggunaan, pengaruh sosial, kondisi pendukung, kepercayaan, dan kualitas informasi. Studi partisipasi bank sampah menunjukkan pentingnya kapasitas pengguna, dukungan teknologi, perencanaan, dan edukasi (Ulhasanah et al., 2025). Hal ini memperkuat kebutuhan pendekatan sosio-teknik yang memperlakukan teknologi, manusia, proses, dan konteks organisasi sebagai satu kesatuan (Ghobakhloo et al., 2024).

Perubahan tingkat adopsi juga dapat menghasilkan konsekuensi dinamis. Peningkatan adopsi dapat menaikkan volume material terkelola dan manfaat ekonomi, tetapi dapat menekan kapasitas operasional pengepul. System Dynamics relevan untuk menangkap feedback, keterlambatan, non-linearitas, dan trade-off kebijakan. Studi terbaru menunjukkan bahwa System Dynamics efektif untuk mengevaluasi kombinasi kebijakan, insentif, kapasitas, dan perubahan perilaku dalam sistem daur ulang (Cui et al., 2022; Ma et al., 2023; Du et al., 2025).

Research gap penelitian ini terletak pada fragmentasi literatur: studi sosial menekankan inklusi sektor informal, studi digital menekankan efisiensi platform, sedangkan studi System Dynamics banyak berfokus pada aliran material atau kebijakan makro. Belum banyak rancangan yang menghubungkan faktor adopsi pada level individu dengan perilaku sistem daur ulang pada level makro melalui platform on-demand. Artikel ini bertujuan mengembangkan model integratif yang menjadikan behavioral intention dan adoption rate sebagai antarmuka antara PLS-SEM dan System Dynamics.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian menggunakan paradigma post-positivis dan explanatory sequential mixed methods. Tahap pertama mengeksplorasi sistem eksisting melalui studi literatur, observasi, dan wawancara. Tahap kedua menguji model adopsi secara kuantitatif menggunakan PLS-SEM. Tahap ketiga menerjemahkan hasil empiris ke dalam System Dynamics untuk eksperimen kebijakan. Urutan ini menghubungkan pemahaman kontekstual, pengujian empiris, dan evaluasi konsekuensi sistemik (Creswell & Plano Clark, 2018; Hair et al., 2021).

2.2 Lokasi, Objek, dan Unit Analisis

Studi kasus diarahkan pada Kota Tangerang Selatan. Objek penelitian adalah rumah tangga sebagai sumber dan pemilah sampah anorganik bernilai ekonomi serta pengepul sebagai pelaku utama sektor informal. Unit analisis terdiri atas tingkat individu untuk persepsi, norma, intensi, dan karakteristik adopsi, serta tingkat sistem untuk aliran material, feedback, kapasitas, dan kinerja rantai nilai. Material dibatasi pada plastik, kertas, dan logam; model tidak ditujukan untuk optimasi rute mikro.

2.3 Konstruk PLS-SEM

Model awal mengintegrasikan Technology Acceptance Model dan Unified Theory of Acceptance and Use of Technology dengan konteks sosial-ekonomi sektor informal. Perceived Ease of Use (PEOU), Perceived Usefulness (PU), Social Influence (SI), dan Facilitating Conditions (FC) diposisikan sebagai prediktor Behavioral Intention (BI). Trust dan Information Transparency diposisikan sebagai moderator. PLS-SEM dipilih karena orientasinya pada prediksi, fleksibilitas terhadap model eksploratif, dan kesesuaiannya untuk pengujian hubungan moderasi (Hair et al., 2021).

Tabel 1. Struktur Konstruk Model Sosio-Teknik

Konstruk	Peran	Hubungan
PEOU	Prediktor	PEOU → BI
PU	Prediktor	PU → BI
SI	Prediktor	SI → BI
FC	Prediktor	FC → BI
Trust	Moderator	PU/SI → BI
Information Transparency	Moderator	PU/SI → BI
BI	Antarmuka	BI → Adoption Rate

2.4 Integrasi PLS-SEM dan System Dynamics

Titik integrasi utama adalah translasi BI menjadi Adoption Rate. Mekanisme yang dirancang terdiri atas translasi konstruk, kalibrasi parameter, dan integrasi moderator. Koefisien jalur yang telah lolos evaluasi model pengukuran dan struktural dapat digunakan sebagai bobot dampak yang dinormalisasi. Trust dan information transparency diterjemahkan sebagai conditional multipliers. Secara konseptual, fungsi adopsi ditulis:

$$AR(t) = f[BI_base \times M_trust \times M_transparency \times (1 - Adoption_Fraction)]$$

Persamaan tersebut bukan hasil estimasi final. Nilai parameter baru ditentukan setelah data empiris tersedia dan model PLS-SEM memenuhi kriteria reliabilitas, validitas, dan signifikansi yang dipersyaratkan.

2.5 Pemodelan System Dynamics

Model SD dibangun melalui Causal Loop Diagram (CLD) dan Stock and Flow Diagram (SFD). Variabel utama meliputi tingkat adopsi, volume sampah terkelola, manfaat ekonomi, kapasitas operasional, efisiensi logistik, kepuasan pengguna, dan sampah yang berakhir di TPA. Reinforcing loop R1 menghubungkan adopsi → volume terkelola → manfaat ekonomi → persepsi kegunaan → adopsi. Balancing loop B1 merepresentasikan tekanan kapasitas: peningkatan volume mendekati kapasitas pengepul, meningkatkan waktu respons atau menurunkan kualitas layanan, lalu menekan kepuasan dan adopsi. Struktur ini konsisten dengan penggunaan SD untuk mengevaluasi kebijakan dalam sistem daur ulang (Eslami et al., 2023; Ma et al., 2023).

2.6 Verifikasi, Validasi, dan Skenario

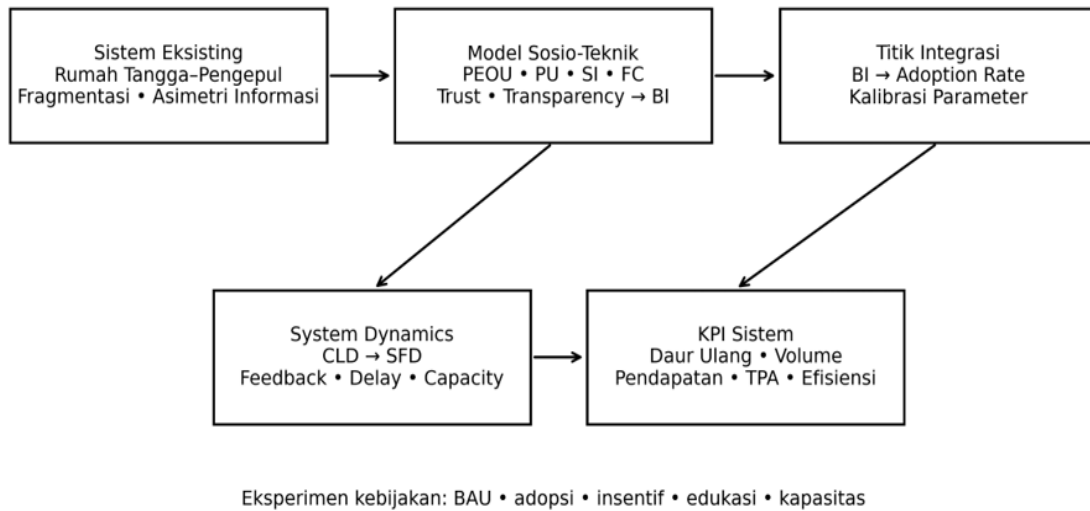
Verifikasi dilakukan melalui pemeriksaan struktur, konsistensi unit, dan uji ekstrem. Validasi perilaku diarahkan pada kemampuan model merepresentasikan pola sistem yang masuk akal, sedangkan validasi struktur dilakukan melalui pemeriksaan hubungan kausal bersama ahli. Skenario meliputi business-as-usual, variasi adopsi, insentif ekonomi, edukasi, dan peningkatan kapasitas pengepul. Tujuannya adalah mengidentifikasi pola perilaku, trade-off, dan leverage points, bukan menghasilkan prediksi deterministik.

3. ANALISA DAN PEMBAHASAN

3.1 Posisi Model Terhadap *Research Gap*

Sintesis proposal memetakan empat kelompok pengetahuan: circular economy dan urban waste systems; rantai nilai dan sektor informal; transformasi digital dan socio-technical systems; serta platform on-demand dan System Dynamics. Studi sosial cenderung menekankan inklusi dan trust, studi digital menekankan efisiensi dan keterhubungan, sedangkan model SD sering berfokus pada aliran material atau kebijakan makro. Model yang diusulkan mengisi celah tersebut dengan menjadikan proses adopsi sebagai mekanisme penghubung perilaku individu dan kinerja sistem.

3.2 Arsitektur Konseptual *Platform*



Gambar 1. Model Integratif *Socio-Technical-PLS-SEM-System Dynamics*

Arsitektur platform dirancang memiliki User Interface Layer untuk request-pickup dan informasi material; Matching and Dispatch Layer untuk mempertemukan permintaan dengan pengepul berdasarkan lokasi dan kapasitas; serta Transaction and Analytics Layer untuk pencatatan transaksi, insentif, rating, dan monitoring. Blueprint ini bukan pengembangan perangkat lunak komersial, tetapi representasi sistem yang menyediakan mekanisme bagi variabel sosio-teknik dan SD.

3.3 Hipotesis dan Mekanisme Kausal

Tabel 2. Hipotesis Model Integratif

Hipotesis	Pernyataan
H1	PEOU, PU, SI, dan FC berpengaruh positif terhadap BI adopsi platform.
H2	Trust dan Information Transparency memperkuat pengaruh PU dan SI terhadap BI.
H3	Model SD berbasis adoption rate hasil integrasi PLS-SEM meningkatkan kinerja sistem dibandingkan BAU pada KPI utama.

3.4 KPI Evaluasi

Tabel 3. Indikator Kinerja untuk Evaluasi Skenario

Dimensi	KPI	Arah Evaluasi
Lingkungan	Tingkat daur ulang; pengurangan sampah ke TPA	Meningkat
Material	Volume material terkelola	Meningkat, dengan batas kapasitas
Ekonomi	Pendapatan rata-rata pengepul	Meningkat
Operasional	Efisiensi logistik; waktu respons	Efisiensi naik; waktu turun
Sosial	Partisipasi, kepuasan, inklusi	Meningkat

3.5 Skenario Kebijakan

Empat kelompok intervensi dipertimbangkan: adopsi bertahap, insentif ekonomi, edukasi/kampanye, dan peningkatan kapasitas pengepul. Skenario kombinasi penting karena intervensi tunggal dapat menghasilkan efek terbatas ketika terdapat interdependensi. Literatur SD menunjukkan bahwa kombinasi kebijakan dapat memberikan hasil yang lebih baik daripada kebijakan tunggal dalam konteks daur ulang (Cui et al., 2022; Ma et al., 2023; Du et al., 2025).

4. IMPLEMENTASI

4.1 Tahapan Implementasi

Tabel 4. Tahapan Implementasi Model Penelitian

Tahap	Kegiatan	Output
I. Eksplorasi	Literatur, observasi, wawancara, pemetaan aktor	Variabel dan CLD awal
II. Empiris	Instrumen, survei, PLS-SEM	Model pengukuran, jalur, BI
III. Integrasi	BI → adoption rate; kalibrasi	Antarmuka SEM–SD
IV. Simulasi	SFD, verifikasi, validasi, skenario	KPI dan pola sistem
V. Rekomendasi	Perbandingan skenario	Blueprint dan kebijakan

4.2 Implikasi Teknik Industri

Rancangan ini menempatkan masalah persampahan sebagai persoalan rekayasa sistem. Perspektif Teknik Industri terlihat pada pemetaan rantai nilai, desain proses layanan, pengelolaan kapasitas, integrasi informasi, pengukuran kinerja, dan eksperimen kebijakan. Platform berfungsi sebagai subsistem digital yang memengaruhi aliran informasi dan material, sementara SD digunakan untuk memahami konsekuensi jangka menengah-panjang dari perubahan keputusan dan kebijakan.

4.3 Keterbatasan

Artikel ini berasal dari proposal penelitian sehingga belum memiliki data survei, koefisien jalur PLS-SEM, parameter terkalibrasi, maupun output simulasi numerik. Karena itu, tidak ada angka kinerja atau signifikansi statistik yang boleh diperlakukan sebagai temuan. Generalisasi juga terbatas pada konteks Kota Tangerang Selatan, material anorganik bernilai ekonomi, serta fokus rumah tangga dan pengepul.

5. KESIMPULAN

Artikel ini mengembangkan rancangan model platform on-demand untuk optimasi rantai nilai daur ulang perkotaan melalui integrasi socio-technical, PLS-SEM, dan System Dynamics. Kontribusi utamanya adalah menjadikan behavioral intention dan adoption rate sebagai antarmuka antara faktor perilaku pada level individu dan dinamika kinerja sistem pada level makro. Model PLS-SEM menguji PEOU, PU, SI, dan FC terhadap BI dengan trust dan information transparency sebagai moderator, sedangkan SD merepresentasikan feedback antara adopsi, volume material, manfaat ekonomi, kapasitas, efisiensi, dan dampak lingkungan.

Tahap berikutnya harus memprioritaskan pengumpulan data empiris, pengujian kualitas model PLS-SEM, kalibrasi adoption rate, verifikasi dan validasi SD, serta simulasi skenario kebijakan. Dengan demikian, artikel ini merupakan rancangan model yang siap diuji dan dikembangkan menjadi artikel hasil penelitian setelah data empiris tersedia.

REFERENCES

- Chen, C., Wen, Z., Wang, Y., Zhang, W., & Zhang, T. (2022). Multi-objective optimization of technology solutions in municipal solid waste treatment system coupled with pollutants cross-media metabolism issues. *Science of the Total Environment*, 807, 150664. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150664>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed.). SAGE.
- Cui, Y., Chang, I.-S., Yang, S., Yu, X., Cao, Y., & Wu, J. (2022). A novel dynamic business model to quantify the effects of policy intervention on solid waste recycling industry: A case study on phosphogypsum recycling in Yichang, China. *Journal of Cleaner Production*, 355, 131779. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131779>
- Du, L., Chang, R., Yuan, H., Zuo, J., & Zillante, G. (2025). Synergizing awareness and policy: A system dynamics approach to reducing illegal waste dumping. *Environmental Development*, 56, 101296. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101296>
- Eslami, S., Kabir, G., & Ng, K. T. W. (2023). Waste generation modeling using system dynamics with seasonal and educational considerations. *Sustainability*, 15(13), 9995. <https://doi.org/10.3390/su15139995>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Fathi, M., Rejeb, A., Foroughi, B., & Nikbin, D. (2024). Beyond Industry 4.0: A systematic review of Industry 5.0 technologies and implications for social, environmental and economic sustainability. *Asia-Pacific Journal of Business Administration*. <https://doi.org/10.1108/APJBA-08-2023-0384>
- Gutberlet, J. (2021). Waste pickers at the heart of the circular economy: A perspective of inclusive recycling from the Global South. *Worldwide Waste*, 3(1). <https://doi.org/10.5334/wwwj.50>
- Hair, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., & Ray, S. (2021). *Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2022). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 178, 106053. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106053>
- Kurniawan, T. A., Othman, M. H. D., Hwang, G. H., & Gikas, P. (2022). Unlocking digital technologies for waste recycling in Industry 4.0 era: A transformation towards a digitalization-based circular economy in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 357, 131911. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131911>



- Ma, M., Tam, V. W. Y., Le, K. N., & Osei-Kyei, R. (2023). A system dynamics model for assessing impacts of policies on supply and demand of recycled aggregate. *Journal of Building Engineering*, 75, 107050. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107050>
- Ranjbari, M., Shams Esfandabadi, Z., Siebers, P. O., Pisano, P., & Quatraro, F. (2024). Digitally enabled food sharing platforms towards effective waste management in a circular economy: A system dynamics simulation model. *Technovation*, 130, 102939. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102939>
- Rittl, L. G. F., Zaman, A., & de Oliveira, F. H. (2025). Digital transformation in waste management: Disruptive innovation and digital governance for zero-waste cities in the Global South as keys to future sustainable development. *Sustainability*, 17(4), 1608. <https://doi.org/10.3390/su17041608>
- Sasaki, S., Watanabe, K., Lee, K., Widyaningsih, N., Baek, Y., & Araki, T. (2020). Recycling contributions of dumpsite waste pickers in Bantar Gebang, Indonesia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 1662–1671. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01060-z>
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill.
- Ulhasanah, N., Suhardono, S., Lee, C.-H., Faza, A. S., Zahir, A., & Suryawan, I. W. K. (2025). Modelling participation in waste bank initiatives at public transport hubs to advance circular economy development. *Discover Sustainability*, 6, 153. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-00940-4>
- Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478.