



## Model Dinamika Sistem Pengefisienan Biaya Bahan Bakar Untuk Distribusi Sampah Baraya Pisman

Gilbert Paska Ferdianto<sup>1</sup>, Ilham Panuluh Utama<sup>2</sup>, Julian Dwi Saputra<sup>3</sup>,  
Agus Pramitasari Sitanggang<sup>4</sup>, Gracia Juli Bernadita Mungok<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Fakultas Logistik, Teknologi Dan Bisnis, Universitas Logistik Dan Bisnis Internasional, Surabaya, Indonesia

### Article Info

#### Article history:

Received November 5, 2025

Revised November 20, 2025

Accepted November 25, 2025

#### Kata Kunci:

Pemodelan,  
Simulasi,  
Program Sampah,  
AnyLogic,  
Biaya Bahan Bakar

#### Keywords:

Modelling,  
Simulation,  
Waste Program,  
AnyLogic,  
Fuel Costs

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model dinamika sistem untuk mengefisienkan biaya bahan bakar dalam distribusi sampah anorganik oleh Komunitas Baraya Pisman RW 7, Bandung, yang menghadapi kendala distribusi tidak efektif akibat kurangnya koordinasi, keterbatasan armada (saat ini 1 motor dan 1 mobil *pick-up* yang digunakan), tingginya biaya operasional bahan bakar, dan pemilahan sampah yang belum optimal. Dengan menggunakan pemodelan dinamika sistem berbasis simulasi AnyLogic, diuji dua skenario optimasi terhadap biaya bahan bakar tahunan, yang pada kondisi eksisting (Skenario 0) mencapai Rp18.290.206,68. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Skenario 1 (menggunakan 2 motor dan 1 mobil) menghasilkan biaya bahan bakar sebesar Rp10.440.053,982, sementara Skenario 2 (menggunakan 1 mobil *pick-up* tanpa motor) menghasilkan biaya paling efisien, yaitu Rp9.965.888,36. Oleh karena itu, solusi yang paling optimal adalah membatasi penggunaan kendaraan pada mobil *pick-up* Baraya Pisman karena konsumsi bahan bakar yang lebih rendah, dengan tetap mendorong peningkatan infrastruktur, koordinasi antarpihak, serta edukasi masyarakat untuk pemilahan sampah agar distribusi dapat berjalan lebih lancar dan berkelanjutan.

### ABSTRACT

*This study aims to develop a system dynamics model to streamline fuel costs in the distribution of inorganic waste by the Baraya Pisman Community RW 7, Bandung, which faces obstacles in effective distribution due to lack of coordination, limited fleet (currently 1 motorcycle and 1 pick-up truck used), high fuel operational costs, and suboptimal waste sorting. Using system dynamics modeling based on AnyLogic simulation, two optimization scenarios were tested for annual fuel costs, which in existing conditions (Scenario 0) reached Rp18,290,206.68. The simulation results show that Scenario 1 (using 2 motorcycles and 1 car) produces fuel costs of Rp10,440,053.982, while Scenario 2 (using 1 pick-up truck without a motorcycle) produces the most efficient costs, namely Rp9,965,888.36. Therefore, the most optimal solution is to limit the use of vehicles to Baraya Pisman pick-up trucks due to lower fuel consumption, while still encouraging infrastructure improvements, coordination between parties, and public education on waste sorting so that distribution can run more smoothly and sustainably.*

This is an open access article under the [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



*Corresponding Author:*

Gilbert Paska Ferdianto  
Fakultas Logistik Teknologi dan Bisnis, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional  
Bandung, Indonesia  
Email: 182220058@std.ulbi.ac.id

---

## 1. PENDAHULUAN

Kota Bandung menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan sampah, khususnya dalam upaya mengurangi sampah anorganik yang berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) [1]. Program Baraya Pisman bertujuan meningkatkan kesadaran masyarakat dalam memilah sampah agar volume sampah organik dan anorganik dapat dikendalikan secara lebih efektif [2]. Namun, sampah anorganik yang tidak dapat didaur ulang masih menjadi residu yang harus dikelola lebih lanjut. Baraya Pisman RW 7 tengah mengembangkan pendistribusian residu anorganik ke TPS Antapani untuk diolah menjadi briket sebagai sumber energi alternatif [3].

Distribusi sampah anorganik ke TPS Antapani menghadapi kendala pada aspek efisiensi transportasi. Tingginya biaya bahan bakar armada pengangkut menjadi salah satu masalah utama [4]. Rute distribusi yang belum optimal, ketidakseimbangan beban antar kendaraan, serta kemacetan kota menyebabkan konsumsi bahan bakar berlebihan [5]. Jika tidak segera ditangani, biaya operasional akan terus meningkat dan menghambat keberlanjutan program konversi sampah menjadi briket [6].

Untuk mengatasi tantangan tersebut, diperlukan model yang mampu memetakan dinamika sistem distribusi sampah secara menyeluruh. Model ini diharapkan mampu mengidentifikasi penyebab inefisiensi serta memberikan solusi berbasis simulasi untuk menekan biaya bahan bakar [7]. Salah satu pendekatan yang tepat adalah pemodelan dinamika sistem menggunakan perangkat lunak AnyLogic.

AnyLogic memungkinkan integrasi agent-based modeling, discrete event simulation, dan system dynamics dalam satu platform [8]. Dengan perangkat ini, distribusi sampah anorganik di Baraya Pisman RW 7 dapat diuji melalui berbagai skenario untuk menemukan pola distribusi paling efisien, mempertimbangkan variabel seperti jumlah kendaraan, kapasitas angkut, konsumsi bahan bakar, kondisi lalu lintas, dan pola pendistribusian ke TPS Antapani [9].

Pemodelan ini membantu memahami bagaimana faktor-faktor sistem distribusi saling berinteraksi dan memengaruhi total biaya bahan bakar. Simulasi skenario memungkinkan pengujian strategi seperti optimasi rute, penyesuaian jadwal pengangkutan, dan penerapan sistem berbasis data real-time untuk menghindari kemacetan [10]. Dengan demikian, solusi yang dihasilkan dapat langsung diterapkan dalam operasional.

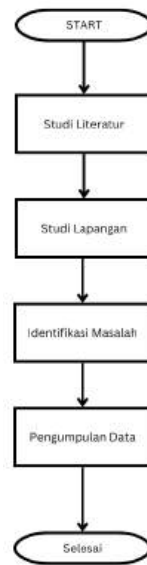
## 2. METODE

### 2.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

*Flowchart* atau diagram alir adalah diagram yang menampilkan langkah-langkah dan keputusan untuk melakukan sebuah proses dari suatu program. Setiap langkah digambarkan dalam bentuk diagram dan dihubungkan dengan garis atau arah panah. *Flowchart* berperan penting dalam memutuskan sebuah langkah atau fungsionalitas dari sebuah proyek pembuatan program yang melibatkan banyak orang sekaligus. Selain itu dengan menggunakan bagan alur proses dari sebuah program akan lebih jelas, ringkas, dan mengurangi kemungkinan untuk salah penafsiran. Penggunaan *flowchart* dalam dunia pemrograman juga merupakan cara yang bagus untuk menghubungkan antara kebutuhan teknis dan non-teknis.

Alur penelitian di Baraya Pisman mengikuti langkah-langkah sistematis yang bertujuan untuk memproses data, memodelkan, dan menghasilkan alternatif solusi yang lebih baik atau model yang diusulkan. Setiap langkah memiliki peran penting dalam memastikan bahwa penelitian dapat

mendukung tujuan yang diinginkan. Berikut merupakan langkah-langkah penelitian dilampirkan dalam Gambar 1 *Flowchart* Penelitian.



Gambar 1. *Flowchart* Penelitian

*Flowchart* penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1 adalah alat yang digunakan sebagai panduan dalam perencanaan dan pelaksanaan penelitian agar dapat memenuhi proyek integrasi 2 dan dapat memecahkan permasalahan yang terjadi pada objek penelitian.

## 2.2 Uraian Tiap-Tiap Langkah Metode Penelitian

Berikut penjelasan Gambar 1 mengenai alur penelitian yang dijadikan acuan penelitian yang dilakukan di Baraya Pisman:

### 1) *START*

*Start* merupakan tahap awal yang menandai dimulainya proses penelitian. Tahap ini merupakan rangkaian kegiatan yang akan dilakukan untuk menjawab pertanyaan penelitian atau memecahkan masalah yang telah diidentifikasi. Proses penelitian dimulai dengan menentukan fokus kajian, yaitu pemodelan sistem dinamis menggunakan AnyLogic untuk menurunkan biaya bahan bakar dalam proses pendistribusian sampah pada Baraya Pisman melalui strategi

### 2) Melakukan Studi Literatur

Studi literatur adalah langkah awal yang krusial di mana peneliti mengumpulkan informasi dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, artikel, dan dokumen lain yang relevan dengan topik *green logistics*. Studi literatur bertujuan untuk memahami konteks dan latar belakang penelitian, mengidentifikasi teori-teori yang ada seperti penelitian sebelumnya yang relevan, dan meningkatkan kesadaran tentang isu-isu yang sudah ada serta menemukan celah penelitian yang bisa dijelajahi lebih lanjut. Kemudian peneliti menyusun ringkasan dari informasi yang diperoleh serta merumuskan pertanyaan penelitian berdasarkan literatur yang telah dipelajari

### 3) Melakukan studi lapangan

Studi lapangan dilakukan untuk mengamati kondisi nyata di lokasi penelitian, yaitu di Baraya Pisman. Tahap ini bertujuan untuk menerapkan informasi teoritis dari studi literatur dalam konteks kehidupan nyata dan mengumpulkan data kualitatif atau kuantitatif yang sangat diperlukan untuk menganalisis masalah yang ada. Metodologi yang digunakan pada penelitian adalah observasi dan wawancara, yaitu melakukan pengamatan langsung untuk mengambil catatan tentang fenomena yang terjadi dan berinteraksi dengan masyarakat dan para pekerja di Baraya Pisman untuk menggali perspektif dan pengalaman mereka.

#### 4) Identifikasi Masalah

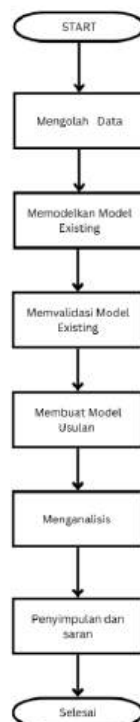
Setelah mengumpulkan data dari studi lapangan, langkah selanjutnya adalah menganalisis data tersebut untuk mengidentifikasi masalah yang ada. Tujuan tahap ini merumuskan masalah penelitian yang jelas, spesifik, dan terukur berdasarkan studi literatur dan penelitian ke lapangan. Tahap ini meliputi menganalisis data yang dikumpulkan dari studi literatur dan studi lapangan untuk mengidentifikasi pola, tren, atau anomali. Merumuskan masalah penelitian dalam bentuk pertanyaan atau pernyataan yang jelas dan terfokus. Menetapkan tujuan penelitian yang spesifik, terukur, dapat dicapai, relevan, dan terikat waktu. Identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui situasi dan kondisi sebenarnya berdasarkan fakta dan teori yang berkaitan dengan permasalahan di Baraya Pisman. Selanjutnya peneliti merumuskan masalah penelitian yang jelas dan terperinci, menjadi landasan untuk langkah selanjutnya.

#### 5) Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan langkah di mana peneliti mengumpulkan informasi lebih lanjut yang diperlukan untuk menjawab pertanyaan penelitian. Bertujuan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan dapat memberikan gambaran lengkap tentang masalah yang diteliti dan dapat memberikan dukungan bukti yang kuat. Pada tahap ini proses pengumpulan informasi dilakukan dengan observasi ke lokasi penelitian dan melakukan wawancara untuk mengumpulkan data tentang proses bisnis Baraya Pisman.

### 2.2.1 Langkah-Langkah Pengolahan Data dan Pemodelan

Flowchart yang disajikan pada Gambar 2 menggambarkan sebuah alur penelitian yang sistematis dan terstruktur. Diagram ini menyajikan langkah-langkah kunci dalam proses penelitian, dimulai dari tahap awal pengumpulan dan pengolahan data hingga tahap akhir penarikan kesimpulan dan pemberian saran. Alur ini dirancang untuk memandu peneliti melalui serangkaian tahapan logis, memastikan bahwa setiap aspek penting dari penelitian dipertimbangkan dan dilaksanakan dengan cermat.



Gambar 1. Flowchart Pengolahan Data Dan Pemodelan

Berikut penjelasan Gambar 2 mengenai alur penelitian yang dijadikan acuan penelitian yang dilakukan di Baraya Pisman:

1) Mengolah data

Proses ini melibatkan pengumpulan data yang relevan dari berbagai sumber. Dengan tujuan meningkatkan kualitas data dan memastikan bahwa data yang digunakan adalah akurat dan dapat dipercaya.

2) Memodelkan model *existing*

Pada tahap ini, peneliti mengkaji model yang sudah ada. Model ini digunakan sebagai dasar atau referensi untuk perbandingan. Dengan tujuan memahami struktur dan fungsionalitas dari model yang ada, serta bagaimana model tersebut beroperasi dalam konteks yang lebih luas. Langkah ini dilakukan dengan memodelkan dan mensimulasikan proses pengolahan sampah yang berlangsung di Baraya Pisman menggunakan *website* SCM Globe.

3) Memvalidasi model *existing*

Model yang sudah ada diuji untuk memastikan bahwa model tersebut valid dan dapat diandalkan. Ini dilakukan dengan menganalisis output model dan membandingkannya dengan data yang sebenarnya. Untuk menjamin bahwa model dapat memberikan hasil yang konsisten dan akurat saat diterapkan dalam situasi nyata. Validasi merupakan langkah untuk memastikan keakuratan model yang telah dibuat.

4) Membuat model usulan

Berdasarkan pemahaman terhadap model *existing* dan hasil validasinya, peneliti kemudian mengembangkan model usulan atau model baru yang diharapkan dapat memperbaiki atau meningkatkan sistem yang ada. Melakukan pembuatan model usulan untuk mengetahui usul atau skenario mana yang paling berpengaruh terhadap efisiensi biaya bahan bakar untuk pendistribusian sampah Baraya Pisman.

5) Menganalisis

Peneliti melakukan analisis mendalam terhadap performa model yang diusulkan dibandingkan dengan model *existing*. Metode analisis yang digunakan bisa berupa statistik, visualisasi data, dan lainnya. Untuk mendapatkan insight yang jelas mengenai potensi keuntungan dari model yang diusulkan. Analisis dilakukan berdasarkan hasil model pengolahan limbah di Baraya Pisman. Pada tahap ini dilakukan diskusi mengenai permasalahan dan kemungkinan solusinya.

6) Kesimpulan dan saran

Berdasarkan hasil analisis, peneliti membuat kesimpulan mengenai temuan penelitiannya. Kesimpulan merupakan jawaban atas pertanyaan penelitian berdasarkan hasil analisis dan menyimpulkan setiap pembahasan yang telah dilakukan. Saran memberikan rekomendasi untuk penelitian selanjutnya atau tindakan yang relevan untuk perbaikan atau pengembangan lebih lanjut berdasarkan hasil penelitian.

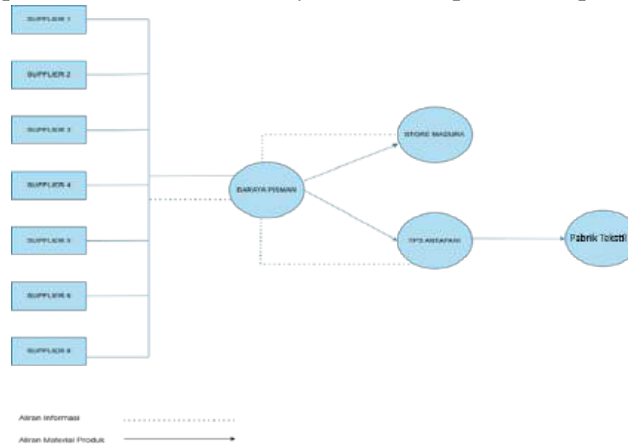
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.3 Pembuatan Program/ Model Simulasi dengan *Software* Komputer

Pembuatan model simulasi adalah proses pengembangan representasi digital atau matematis dari suatu sistem atau proses nyata dengan tujuan untuk menganalisis, mengevaluasi, dan mengoptimalkan kinerjanya dalam berbagai kondisi. Model simulasi memungkinkan pengguna untuk menguji berbagai skenario, mengidentifikasi pola, dan memahami dampak dari setiap variabel tanpa harus melakukan eksperimen langsung di dunia nyata, yang sering kali memakan biaya dan waktu yang besar. Dalam penelitian ini, pembuatan Program/ Model Simulasi menggunakan *Software* Komputer bernama AnyLogic. Perangkat Lunak Simulasi AnyLogic adalah perangkat lunak simulasi terkemuka untuk aplikasi industri dan bisnis, digunakan di seluruh dunia oleh lebih dari 40% perusahaan Fortune 100 saat ini. Model simulasi AnyLogic memungkinkan analis, insinyur, dan manajer untuk mendapatkan wawasan yang lebih dalam dan mengoptimalkan sistem dan proses yang kompleks di berbagai sektor industri, termasuk di sektor logistik.

### 3.3.1 Struktur Model Rantai Pasokan

Berdasarkan hasil pengumpulan data yang dilakukan di Komunitas Baraya Pisman, komunitas memiliki skema pendistribusian sampahnya yang melibatkan beberapa pihak dalam rantai pasoknya. Model rantai pasok sampah dari Komunitas Baraya Pisman dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 3. Model Rantai Pasokan Distribusi Sampah Baraya Pisman

Berdasarkan model rantai pasok sampah Komunitas Baraya Pisman yang ditampilkan pada Gambar 1 berikut penjelasan lengkapnya:

#### a. *Supplier* – Baraya Pisman

Aliran rantai pasok distribusi sampah di Komunitas Baraya Pisman dimulai dari Supplier 1 hingga 8, kecuali Supplier 7, yang dalam konteks ini merujuk pada setiap RT yang ada di RW 05, kecuali RT 07. Setiap rumah tangga di RT yang termasuk dalam sistem ini berperan sebagai pemasok utama sampah, baik sampah anorganik maupun organik, yang nantinya akan dikelola oleh Baraya Pisman. Untuk memastikan kelancaran dalam pengumpulan dan distribusi sampah, komunitas telah menetapkan jadwal pengangkutan rutin, yaitu setiap hari dari pukul 07:00 WIB hingga 12:00 WIB. Dalam proses distribusi ini, sampah dikumpulkan dari setiap RT sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan menggunakan kendaraan operasional komunitas, yang terdiri dari motor sampah dan mobil *pick-up*. Sampah yang telah dikumpulkan kemudian dibawa ke pengolahan Baraya Pisman untuk dipilah dan diolah lebih lanjut.

Setelah sampah yang diangkut dari setiap rumah di RW 07, kecuali RT 07, tiba di lokasi pengolahan Baraya Pisman, tahap selanjutnya yang dilakukan adalah pemilahan sampah. Proses ini bertujuan untuk memisahkan antara sampah organik dan anorganik, sehingga masing-masing jenis sampah dapat dikelola sesuai dengan karakteristiknya. Sampah organik akan langsung diarahkan untuk diolah menjadi pakan magot atau mikroorganisme lokal (MOL) yang dapat dimanfaatkan dalam pertanian dan peternakan.

#### b. Baraya Pisman – *Store* Madura

Sampah anorganik di lokasi pengolahan Baraya Pisman yang telah dipilah menjadi sampah anorganik bernilai jual selanjutnya akan disalurkan ke pihak yang dapat mendaur ulang atau memanfaatkannya kembali. Sampah jenis ini, seperti botol plastik, kardus, dan logam, akan dikumpulkan dalam jumlah tertentu sebelum akhirnya dijual ke toko pengepul atau *Store* Madura.

#### c. Baraya Pisman – TPS Antapani

Sampah anorganik yang telah dicacah secara kasar di lokasi pengolahan Baraya Pisman selanjutnya akan diangkut ke lokasi pengolahan terakhir, yaitu TPS Antapani. Proses ini merupakan bagian dari tahapan pengelolaan sampah residu yang tidak memiliki nilai jual, tetapi masih dapat dimanfaatkan

sebagai bahan bakar alternatif. Setelah tiba di TPS Antapani, residu kasar yang dibawa dari Baraya Pisman akan melewati tahap pencacahan ulang agar ukurannya lebih halus dan seragam.

Setelah proses pencacahan selesai, residu halus tersebut akan melalui proses pengolahan lebih lanjut menjadi briket. Briket yang dihasilkan memiliki karakteristik sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan batu bara, bahkan Baraya Pisman menyatakan bahwa tingkat pembakaran yang dihasil oleh briket mereka hampir setara dengan batu bara, sehingga dapat digunakan oleh industri-Industri.

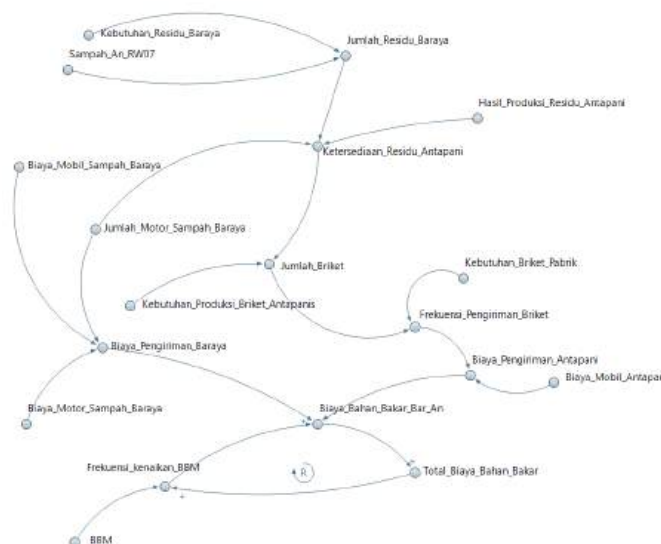
d. TPS Antapani – Pabrik Tekstil X

Residu yang diterima oleh TPS Antapani dari Baraya Pisman akan langsung diproses menjadi briket melalui tahapan pencacahan, pencetakan, dan pengeringan. Setelah briket selesai diproduksi, langkah berikutnya adalah pengemasan ke dalam karung untuk memudahkan penyimpanan dan distribusi. Proses pengemasan ini dilakukan secara sistematis guna memastikan setiap karung berisi briket dengan berat yang seragam, sehingga memudahkan dalam proses penjualan dan pengangkutan ke lokasi tujuan.

Setelah proses pengemasan selesai, briket akan langsung dimuat ke dalam mobil *pick-up* Antapani untuk didistribusikan ke Pabrik Tekstil X, yang merupakan salah satu pelanggan tetap briket. Sesampainya di Pabrik Tekstil X, sebelum proses bongkar muat dilakukan, mobil *pick-up* Antapani yang membawa briket akan ditimbang terlebih dahulu untuk mencatat berat awal kendaraan beserta muatannya. Setelah seluruh briket diturunkan, mobil *pick-up* akan ditimbang kembali untuk mengetahui berat bersih briket yang telah dikirimkan. Pencatatan berat ini menjadi langkah penting dalam memastikan akurasi jumlah briket yang diterima oleh Pabrik Tekstil X.

3.3.2 Casual Loop Diagram (CLD)

*Casual Loop Diagram* dilakukan untuk mengetahui adanya kondisi umpan balik dalam suatu sistem, hubungan umpan balik atau sebab akibat yang terbentuk terdiri dari dua atau lebih variabel. Maka dilakukan pembuatan CLD (*Casual loop diagram*) pada sistem Baraya Pisman untuk mengetahui bagaimana berbagai variabel dalam suatu sistem saling berhubungan secara kausal dasar yang dihipotesiskan sebagai refrensi perilaku sistem dari waktu ke waktu.

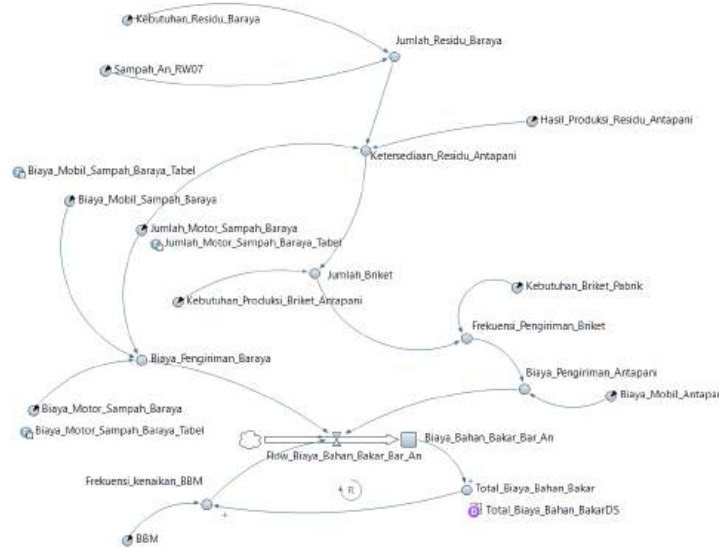


Gambar 4. *Causal Loop Diagram* (CLD)

3.3.3 *Stock Flow Diagram* (SFD)

*Stock Flow Diagram* Merupakan alat yang di gunakan untuk mengvisualisasikan aliran dan akumulasi dalam sistem dinamis, stok mengakumulasi dari variabel tertentu, *flow* mengindikasikan laju perubahan atau transfer antara stok yang berbeda. Maka dari itu pada sistem baraya pisman, *flow* dan

stock untuk mengakumulasi biaya bahan bakar dari pengiriman baraya ke antapani dan pengiriman dari antapani ke pabrik yang outputnya untuk mengetahui biaya bahan bakar.



Gambar 5. Stock Flow Diagram (SFD)

a. biaya transportasi dan produksi.

2. Uji Verifikasi

Verifikasi merupakan proses pemeriksaan kesesuaian antara logika operasional model (program komputer) dengan logika diagram alur. Verifikasi model dilakukan dengan memeriksa apakah struktur model sudah benar dengan mengecek setiap error dan memperbaikinya. Dalam pemodelan Verifikasi merupakan suatu proses dalam mengukur kebenaran dan keakurasian sesuatu. Dalam pemodelan, verifikasi digunakan untuk melihat apakah model tersebut telah logis atau benar. Pada Model SFD pada Gambar 3.7, verifikasi model dapat dilakukan melalui beberapa kriteria, termasuk verifikasi perilaku model, verifikasi penerapan skenario, dan verifikasi struktur model. Selain itu, pada model SFD diatas saat *anylogic* di-*running* (dijalankan) tidak ditemukan kondisi error, maka dapat disimpulkan bahwa SFD tersebut telah logis atau benar.

3. Uji Validasi Dengan Mean Absolute Percent Error (MAPE)

Validitas berasal dari kata *validity* yang mempunyai arti sejauh mana ketepatan dan kecermatan suatu alat ukur dalam melakukan fungsi ukurannya (Azwar 1986). Selain itu validitas adalah suatu ukuran yang menunjukkan bahwa variabel yang diukur memang benar-benar variabel yang hendak diteliti oleh peneliti (Cooper dan Schindler, dalam Zulganef, 2006).

MAPE adalah ukuran statistik yang membantu menentukan seberapa akurat prediksi atau prakiraan dalam kaitannya dengan nilai aktual. Dalam model prakiraan, seperti analisis deret waktu, sangat penting untuk mengukur kinerja model, dan MAPE menawarkan cara praktis untuk melakukannya. MAPE menyatakan kesalahan sebagai persentase, sehingga memudahkan untuk menafsirkan dan mengomunikasikan keakuratan model. Namun, perlu diingat bahwa MAPE memiliki keterbatasan. MAPE tidak dapat digunakan saat nilai aktual memiliki contoh nol, karena ini akan menyebabkan pembagian dengan nol dalam rumus. Selain itu, MAPE terkadang dapat mendukung model yang melakukan prakiraan terlalu rendah.

Tabel 2. Uji Validasi Mean Absolute Percent Error (MAPE)

Month	Actual Cost	Simulation	Error	Abs Error
1	Rp 1.780.000,00	Rp 1.523.010,54	256989,458	0,144376

Month	Actual Cost	Simulation	Error	Abs Error
2	Rp 2.930.000,00	Rp 3.046.234,32	-116234,321	0,03967
3	Rp 4.185.000,00	Rp 4.569.671,37	-384671,366	0,091917
4	Rp 5.715.000,00	Rp 6.093.321,71	-378321,708	0,066198
5	Rp 7.210.000,00	Rp 7.617.185,38	-407185,375	0,056475
6	Rp 8.255.000,00	Rp 9.141.262,40	-886262,398	0,107361
7	Rp 9.895.000,00	Rp 10.665.552,81	-770552,806	0,077873
8	Rp 11.345.000,00	Rp 12.190.056,63	-845056,631	0,074487
9	Rp 12.685.000,00	Rp 13.714.773,90	-1029773,9	0,08118
10	Rp 14.405.000,00	Rp 15.239.704,65	-834704,645	0,057945
11	Rp 15.455.000,00	Rp 16.764.848,90	-1309848,896	0,084752
12	Rp 17.115.000,00	Rp 18.290.206,68	-1175206,681	0,068665
			<b>Total</b>	<b>0,950901</b>

<b>N</b>	<b>12</b>
<b>MAPE</b>	<b>7,92%</b>

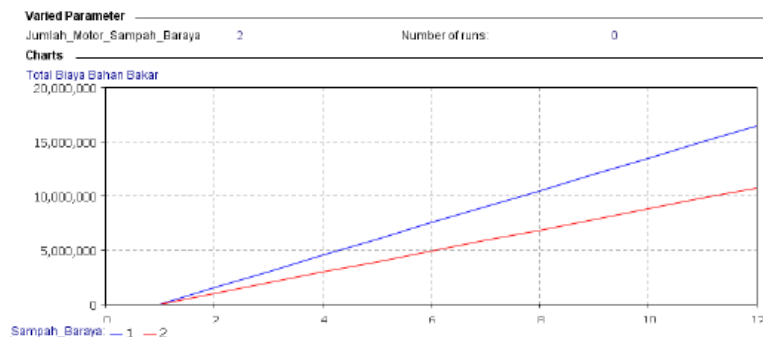
Validasi merupakan tahap untuk memastikan kebenaran suatu hal. Validasi digunakan untuk melihat sejauh mana model sesuai dengan realitas di lapangan. Pada Gambar 3.8 data yang digunakan dalam model memiliki nilai MAPE sebesar 7,92%, di mana Interpretasi nilai MAPE seperti pada gambar Gambar 5, MAPE: <10% = sangat baik, oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa model dinamis Baraya Pisman memiliki tingkat valid sangat baik antara model dengan sistem nyatanya.

Tabel 3. Tingkatan Persentase MAPE

MAPE	Signifikasi
<10%	Sangat baik
10-20%	Baik
20-50%	Cukup baik
>50%	Buruk

**e. Uji Sensitivitas Dengan Variabel Jumlah Motor Sampah Baraya**

Sensitivitas pada model dinamis sangat penting dalam mengembangkan model skenario. Hal ini karena sensitivitas tersebut nantinya akan digunakan untuk mengetahui parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan output model. Dalam hal ini, variabel Jumlah Motor Sampah Baraya diduga memiliki pengaruh signifikan atau sensitivitas yang tinggi akan menjadi acuan pengembang untuk menciptakan skenario yang optimal.



Gambar 6. Hasil Uji Sensitivitas Dengan Variabel Motor Sampah Baraya

Tabel 4. Jumlah Motor Sampah Baraya

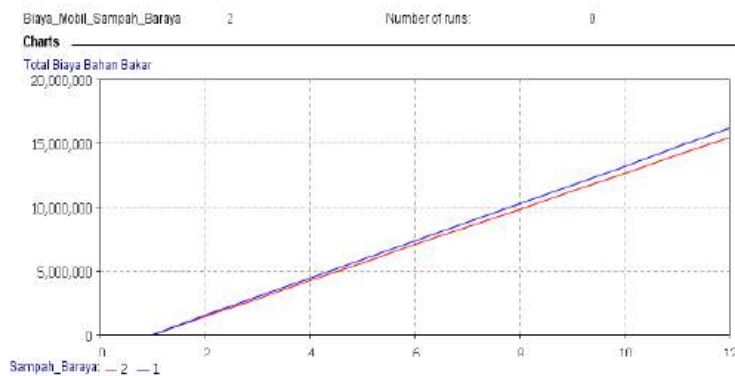
Start: 1, End: 2, Step: 1
---------------------------

Perubahan Nilai		Persentase Perubahan		Kesimpulan
Input	Output	Input	Output	
1	16431521,99	0,5	0,000	Tidak Sensitif
2	10703569,42	0	0,349	Sensitif

Berdasarkan hasil uji sensitivitas parameter jumlah motor sampah baraya terhadap biaya bahan bakar dapat di simpulkan bahwa parameter tersebut sensitif, karena output yang pertama lebih besar dibandingkan dengan output yang kedua.

f. Uji Sensitifitas Dengan Variabel Biaya Mobil Pickup Baraya

Sensitivitas pada model dinamis sangat penting dalam mengembangkan model skenario. Hal ini karena sensitivitas tersebut nantinya akan digunakan untuk mengetahui parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap perubahan output model. Dalam hal ini, variabel Biaya Mobil Pickup Baraya diduga memiliki pengaruh signifikan atau sensitivitas yang tinggi akan menjadi acuan pengembang untuk menciptakan skenario yang optimal.



Gambar 7. Hasil Uji Sensitivitas Dengan Variabel Biaya Mobil *Pick-up* Baraya

Tabel 5. Biaya\_Mobil\_Pick-up\_Baraya

Start: 1, End: 2, Step: 1				
Perubahan Nilai		Persentase Perubahan		Kesimpulan
Input	Output	Input	Output	
1	16105290,17	0,5	0,020	Tidak Sensitif
2	15421051,29	0	0,061	Sensitif

Berdasarkan hasil uji sensitivitas parameter biaya mobil sampah baraya terhadap biaya bahan bakar dapat di simpulkan bahwa parameter tersebut sensitif, karena output yang pertama lebih besar dibandingkan dengan output yang kedua.

3.4 Skenario dan Hasil Simulasi

Pengujian skenario dalam software AnyLogic dilakukan menggunakan salah satu fitur utamanya, yaitu *Compare Runs*. Fitur *Compare Runs* dalam perangkat lunak ini memiliki fungsi utama untuk membandingkan *output* dari berbagai skenario yang telah dibuat, sehingga dapat diketahui efektivitas masing-masing skenario dalam meningkatkan efisiensi operasional. Dalam penelitian ini, terdapat dua skenario utama yang diuji dengan menggunakan dua variabel parameter, yaitu jumlah motor sampah serta biaya operasional mobil *pick-up* Baraya Pisman.

Agar fitur *Compare Runs* dapat dijalankan dengan optimal, setiap variabel parameter yang digunakan dalam skenario harus memiliki argumen yang didefinisikan dalam *table function*. Dengan adanya argumen ini, setiap skenario dapat dikalkulasikan secara lebih akurat berdasarkan kondisi yang telah ditentukan dalam pemodelan. Detail dari skenario yang digunakan dalam *Compare Runs* dapat dilihat pada Tabel 6, sementara argumen yang digunakan dalam setiap variabel parameter dapat ditemukan dalam Gambar 5 dan Gambar 6

Tabel 6. *Compare runs*

Simulasi	Jumlah Motor Sampah Baraya	Biaya Mobil Sampah Baraya	Total Biaya Bahan Bakar
0	1	1	Rp 19,037,348.411
1	2	1	Rp 10,440,053.982
2	0	2	Rp 9,965,888.365

Tabel 7. Interpretasi Jumlah Motor Sampah Baraya

Argument	Value	
0	0	
1	1	
2	2	

Tabel 8. Interpretasi Biaya Mobil Sampah Baraya

Argument	Value	
0	0	
1	370000	
2	426923	

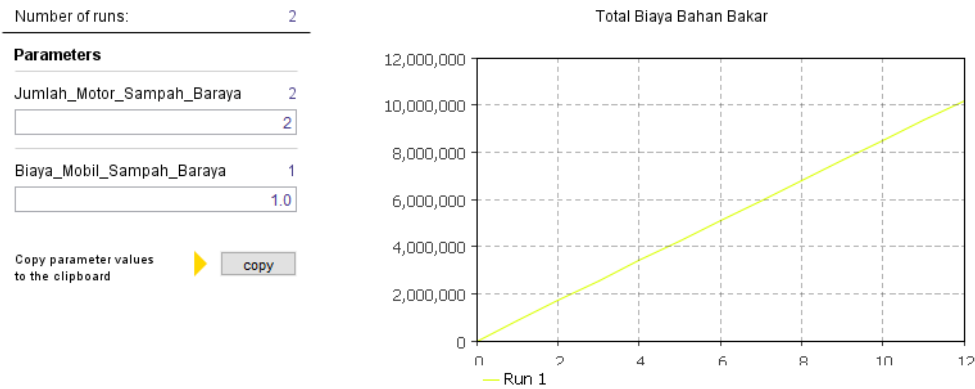
### 3.4.1 Skenario Satu

Dalam skenario pertama penelitian ini, Baraya Pisman melakukan optimalisasi operasional dengan menambah satu unit motor sampah, sehingga total armada yang digunakan menjadi dua motor sampah dan satu mobil *pick-up*. Penambahan armada ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam proses pengangkutan sampah, yang sebelumnya mengalami keterlambatan karena kapasitas angkut yang terbatas. Dengan adanya tambahan motor sampah, frekuensi pengambilan sampah menjadi lebih sering dan lebih cepat, sehingga alur distribusi sampah dari sumber ke TPS Antapani dapat berjalan lebih lancar tanpa adanya penundaan.

Ketepatan waktu dalam pengiriman sampah ini memberikan dampak yang cukup besar terhadap rantai pengelolaan sampah secara keseluruhan. Sebelum adanya perubahan ini, keterlambatan pengiriman dari Baraya Pisman menyebabkan TPS Antapani harus melakukan dua kali pengiriman briket ke pabrik. Pengiriman pertama dilakukan dari residu yang berasal dari TPS Antapani, sementara pengiriman kedua berasal dari residu yang dikumpulkan oleh Baraya Pisman yang sering datang terlambat. Akibatnya, TPS Antapani harus mengalokasikan lebih banyak waktu, tenaga kerja, dan sumber daya untuk menangani dua kali pengiriman tersebut, yang pada akhirnya berpotensi meningkatkan biaya operasional dan mengurangi efisiensi logistik.

Efisiensi ini tidak hanya mengurangi beban kerja di TPS Antapani, tetapi juga berdampak langsung pada penghematan biaya bahan bakar yang dikeluarkan oleh Baraya Pisman. Berdasarkan data pada Gambar

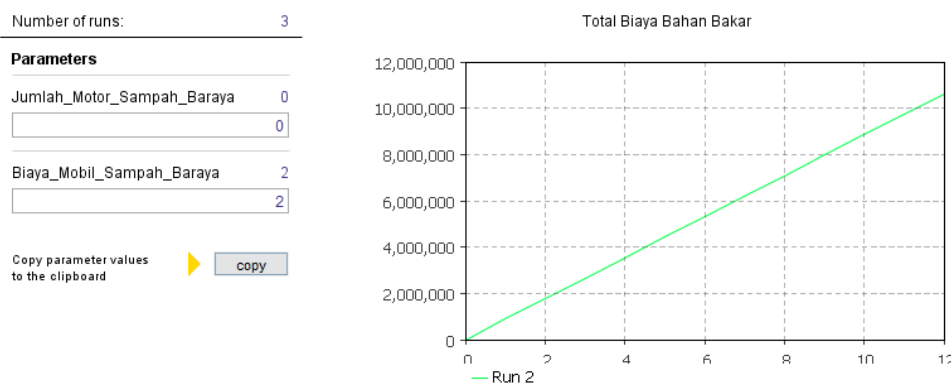
3.13, total biaya bahan bakar yang dikeluarkan selama setahun mencapai Rp 10.440.053,982, yang menunjukkan angka lebih rendah dibandingkan dengan *existing* atau sistem nyatanya .



Gambar 8. Output Compare Runs Skenario 1

### 3.4.1 Skenario Dua

Dalam skenario kedua ini, dilakukan perubahan pada penggunaan kendaraan dengan menghilangkan motor sampah dan hanya mengandalkan satu unit mobil pick-up Baraya untuk menjalankan seluruh proses pengangkutan sampah. Dengan asumsi bahwa mobil pick-up mampu menggantikan peran motor sampah dalam mengangkut sampah dari rumah-rumah di RW 07, maka kendaraan ini tidak hanya berfungsi sebagai alat transportasi utama dalam pengumpulan sampah, tetapi juga langsung membawa sampah ke TPS Antapani. Perubahan ini bertujuan untuk menyederhanakan operasional pengangkutan serta mengoptimalkan efisiensi bahan bakar. Berdasarkan data pada Gambar 3.14, total biaya bahan bakar yang dikeluarkan selama satu tahun mencapai Rp 9.965.888,36, yang menunjukkan angka lebih rendah dibandingkan dengan sistem eksisting maupun skenario pertama. Penurunan biaya ini mengindikasikan bahwa skenario kedua memberikan efisiensi yang lebih besar dalam aspek ekonomi, mengurangi konsumsi bahan bakar secara signifikan, serta menyederhanakan proses pengangkutan sampah tanpa mengorbankan efektivitas pengiriman ke TPS Antapani. Dengan pendekatan ini, pengelolaan sampah di Baraya Pisman menjadi lebih hemat biaya dan berpotensi lebih ramah lingkungan karena mengurangi jumlah kendaraan operasional yang berkontribusi terhadap emisi karbon.



Gambar 9. Output Compare Runs Skenario 1

### 3.5 Analisis Hasil dari Solusi yang Diusulkan

Berdasarkan hasil simulasi yang bisa dilihat pada Gambar 3.15, terdapat dua skenario yang diuji dengan variasi penggunaan jumlah motor dan mobil sampah. Skenario 0 (*existing*), yang menggunakan 1 motor dan 1 mobil sampah, menghasilkan total biaya bahan bakar tertinggi sebesar Rp18.290.206,68. Skenario 1, dengan penggunaan 2 motor dan 1 mobil, menunjukkan efisiensi dibandingkan dengan biaya bahan bakar pada kondisi sebelumnya, yaitu sebesar Rp10.440.053,982. Sementara itu, skenario 2, yang menggunakan 1 mobil tanpa motor, menghasilkan biaya bahan bakar Rp 9.965.888,36, sedikit lebih rendah dibandingkan skenario 1. Grafik simulasi pada Gambar 3.15 menunjukkan bahwa skenario 2 memiliki *output* biaya bahan bakar paling rendah, sedangkan skenario 0 menunjukkan biaya paling tinggi.



Gambar 10. Output *Existing* dengan Kedua Skenario

Untuk mengoptimalkan efisiensi, disarankan agar penggunaan kendaraan lebih diarahkan pada mobil sampah pickup baraya mengingat konsumsi bahan bakarnya yang lebih rendah dibandingkan motor sampah. Penggunaan motor sampah sebaiknya dibatasi pada situasi yang memerlukan pengangkutan volume sampah besar tambahan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian, disimpulkan bahwa pendistribusian sampah dari Baraya Pisman ke pabrik tekstil menghadapi kendala signifikan yang menghambat efektivitas proses. Masalah utama meliputi kurangnya koordinasi antara petugas kebersihan dan pengelola TPS yang menyebabkan keterlambatan, keterbatasan armada pengangkut, dan tingginya biaya operasional (terutama biaya bahan bakar). Lebih lanjut, proses pemilahan sampah yang belum optimal dan rendahnya partisipasi serta kesadaran masyarakat dalam pemilahan di rumah tangga memperparah masalah dengan meningkatkan volume sampah residu yang sulit diolah, diperburuk pula oleh minimnya fasilitas pendukung. Ketidakefektifan ini mengakibatkan penumpukan sampah yang berpotensi mencemari lingkungan dan berdampak negatif pada kesehatan masyarakat. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan peningkatan infrastruktur dan fasilitas (seperti penambahan kendaraan dan fasilitas pemilahan di TPS), optimalisasi jadwal distribusi (termasuk penggunaan teknologi pemodelan logistik), peningkatan kesadaran masyarakat melalui edukasi dan sosialisasi, serta kerja sama finansial dengan pihak swasta untuk menekan biaya operasional. Terakhir, evaluasi dan monitoring berkala sistem distribusi harus dilakukan untuk memastikan pengelolaan sampah yang lebih optimal dan menciptakan lingkungan yang lebih sehat.

#### REFERENSI

- [1] A. D. Nugroho and R. Fitriani, "Challenges of municipal solid waste management in Indonesian urban areas," *Journal of Environmental Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 145–152, 2021.
- [2] M. Lestari and Y. Pratama, "Community participation in waste separation programs: Case study of West Java," *Sustainable Cities Review*, vol. 5, no. 2, pp. 88–96, 2022.
- [3] H. S. Wardhana, "Alternative fuel production from inorganic waste residues," *International Journal of Renewable Energy Studies*, vol. 4, no. 1, pp. 33–41, 2023.
- [4] S. Permana and D. H. Putra, "Fuel consumption issues in Indonesian municipal waste transportation," *Transport and Energy Journal*, vol. 9, no. 4, pp. 221–229, 2021.
- [5] F. Ramadhan, "Optimization barriers in waste-transport routing in dense urban areas," *Urban Logistics Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 57–66, 2024.
- [6] T. Syahputra and A. Kurniawan, "Operational cost implications of inefficient solid waste distribution," *Asian Journal of Waste Management*, vol. 6, no. 3, pp. 112–120, 2020.

- [7] L. Wicaksono, “System dynamics approach for municipal waste distribution modeling,” *Systems Simulation Review*, vol. 8, no. 1, pp. 14–25, 2023.
- [8] AnyLogic Company, “AnyLogic: Multimethod simulation modeling capabilities,” *Software Documentation*, pp. 1–12, 2024.
- [9] R. S. Pramono, “Scenario-based simulation for optimizing waste transport efficiency,” *Journal of Industrial Engineering Systems*, vol. 13, no. 2, pp. 98–107, 2022.
- [10] J. H. Santoso and B. Ardiansyah, “Real-time data-driven routing optimization for municipal waste collection,” *Smart Urban Systems Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 44–53, 2025