

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK KEBIJAKAN  
PENGELOLAAN SAMPAH DI KOTA CILEGON**

**SKRIPSI**



**Oleh**

**IQLIMA AULIA**

**3333190092**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN**

**2024**

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK KEBIJAKAN  
PENGELOLAAN SAMPAH DI KOTA CILEGON**

**SKRIPSI**



**Oleh**

**IQLIMA AULIA**

**3333190092**

**JURUSAN TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN**

**2024**

## PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan dibawah ini :

**NAMA** : IQLIMA AULIA

**NIM** : 3333190092

**JURUSAN** : TEKNIK INDUSTRI

**JUDUL** : Pengembangan Model Sistem Dinamik Kebijakan  
Pengelolaan Sampah Di Kota Cilegon

Dengan ini menyatakan bahwa penelitian dengan judul tersebut di atas adalah benar karya saya sendiri dengan arahan dari pembimbing I dan pembimbing II, dan tidak ada duplikasi dengan karya orang lain kecuali yang telah disebutkan sumbernya.

Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam penelitian ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Cilegon, 12 Desember 2023



IQLIMA AULIA

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

**NAMA** : IQLIMA AULIA

**NIM** : 3333190092

**JURUSAN** : TEKNIK INDUSTRI

**JUDUL LAPORAN** : PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK  
KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH DI KOTA  
CILEGON

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan Diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Pada Hari : Rabu

Tanggal : 3 Januari 2024

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr. Muhammad Adha Ilhami, ST., MT.

Pembimbing 2 : Evi Febianti, ST., M.Eng.

Penguji 1 : Achmad Bahauddin, ST., MT., Ph.D.

Penguji 2 : Dyah Lintang Trenggonowati, ST., MT.

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Industri



Ade Irman Saeful Mutaqin S. ST., MT.

NIP. 198206152012121002

## PRAKATA

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberi karunia, berkat, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “Pengembangan Model Sistem Dinamis Kebijakan Pengelolaan Sampah Di Kota Cilegon“. Skripsi ini merupakan tugas akhir akademik sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Penulis menyadari sangatlah sulit untuk menyelesaikan laporan skripsi ini tanpa bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang senantiasa mendo'akan, memberikan motivasi, mencurahkan kasih sayang, memberikan dukungan moral serta material.
2. Prof, Dr.-Ing. Ir. Asep Ridwan, S.T., M.T., IPM selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, bapak Ade Irman Saeful Mutaqin S, S.T., M.T.
4. Bapak Dr. Muhammad Adha Ilhami, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Evi Febianti, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, pikiran dan tenaga untuk mengarahkan dan membimbing penulis selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh dosen pengajar Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, yang telah memberikan ilmu dan bimbingan dari awal perkuliahan sampai dengan penyelesaian laporan ini.
6. Bapak/Ibu Dosen komunitas Laboratorium Sistem Produksi, serta teman-teman asisten LSiPro 2021/2022 dan asisten LSiPro 2022/2023, yang memberikan kesempatan kepada penulis untuk belajar, saling bertukar ilmu, berkembang, dan memperoleh pengalaman yang mengesankan semasa kuliah.

7. Kedua adik penulis, saudara, dan kerabat tercinta yang senantiasa mendoakan kelancaran dan kesuksesan dalam penyusunan skripsi ini.
8. Teman seperjuangan Alya, Rara, Aurora, Rahma, Ariefa, Habibi, Anita Cempaka, Alfi, Ajeng, Aza, Farah, Salva, Erin, Novita, Bing, Kemal dan Halisa yang kebersamaannya mampu meringankan beban yang berat.
9. Segenap teman-teman Teknik Industri terkhusus angkatan 2019 yang menjadi teman terbaik selama ini.

Dengan ini, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan yang telah diberikan semua pihak yang telah membantu. Semoga hasil skripsi ini dapat bermanfaat bagi orang yang membaca, serta bagi pengembangan penelitian dimasa depan. Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, karena itu saran dan kritik yang membangun dari semua pihak diharapkan demi perbaikan selanjutnya.

Cilegon, 12 Desember 2023

IQLIMA AULIA

## ABSTRAK

**Iqlima Aulia. PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH DI KOTA CILEGON. Dibimbing oleh Dr. Muhammad Adha Ilhami, S.T., M.T. dan Evi Febianti, S.T., M.Eng.**

*Meningkatnya pertumbuhan penduduk pada Kota Cilegon menyebabkan timbulnya dampak serta permasalahan bagi lingkungan. Salah satu penyebab muncul permasalahan lingkungan adalah meningkatnya timbunan sampah. Meningkatnya timbunan sampah menyebabkan munculnya berbagai dampak bagi lingkungan seperti banjir, munculnya bibit penyakit, dan lain-lain. Estimasi sampah yang dihasilkan masyarakat Indonesia dalam sehari adalah 0,68 kg/kapita/hari, dan diperkirakan dengan laju pertumbuhan penduduk (Kota Cilegon) mencapai 1,49%, kondisi landfill Kota Cilegon akan mencapai kapasitas maksimumnya pada tahun 2042. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui skenario yang dapat mencegah penuhnya TPSA, mengetahui skenario yang paling banyak menyisakan kapasitas landfill, mengetahui apa saja yang harus disiapkan untuk mencegah penuhnya TPSA. Penelitian dilakukan menggunakan simulasi sistem dinamis menggunakan Causal Loop Diagram (CLD) dan Stock Flow Diagram (SFD). Sistem existing dikembangkan menjadi 4 skenario alternatif yaitu skenario 1 (produksi BBJP), skenario 2 (produksi pupuk kompos pada TPS3R dan produksi BBJP), skenario 3 (produksi cacahan plastik pada TPS3R dan produksi BBJP), dan skenario 4 (produksi pupuk kompos dan cacahan plastik pada TPS3R serta produksi BBJP). Berdasarkan hasil perbandingan, skenario 4 terpilih sebagai alternatif yang dapat mencegah penuhnya TPSA dengan landfill terisi mencapai 8.045.836 ton (tahun 2046) dan menyisakan 1.954.164 ton dari total kapasitas maksimumnya.*

Kata kunci: Simulasi Sistem Dinamis, Sampah, Landfill.

## ABSTRACT

**Iqlima Aulia. DYNAMIC SISTEM MODEL DEVELOPMENT OF WASTE MANAGEMENT POLICY IN CILEGON CITY. Supervised by Dr. Muhammad Adha Ilhami, S.T., M.T. and Evi Febianti, S.T., M.Eng.**

*The increasing population growth in Cilegon City has led to the emergence of impacts and issues for the environment. One of the causes of environmental issues is the increasing accumulation of waste. The increasing accumulation of waste leads to various environmental impacts, such as floods, the emergence of disease vectors, and others. The estimated daily waste generated in Indonesia is 0,68 kg/capita/day, and it is projected that with a population growth (Cilegon City) rate of 1,49%, the landfill in Cilegon will reach its maximum capacity by the year 2042. This study aims to identify waste management scenarios that can prevent the TPSA from reaching its full capacity, determine the scenario that leaves the most remaining landfill capacity, and outline the preparations that the Cilegon City Government needs to make to prevent the TPSA from reaching its full capacity. The research utilizes dynamic system simulations using Causal Loop Diagrams (CLD) and Stock Flow Diagrams (SFD). The existing system is developed into 4 alternative scenarios, that is scenario 1 (BBJP production), scenario 2 (compost production at TPS3R and BBJP production), scenario 3 (plastic shredding production at TPS3R and BBJP production), and scenario 4 (compost production and plastic shredding at TPS3R and BBJP production). Based on the comparative results, scenario 4 is selected as the alternative that can prevent the TPSA from reaching its full capacity, with the landfill being filled up to 8.045.836 tons by the year 2046 and leaving 1.954.164 tons of its total maximum capacity.*

*Keywords: Dynamic System Simulation, Waste, Landfill.*



## RINGKASAN

**Iqlima Aulia. PENGEMBANGAN MODEL SISTEM DINAMIK KEBIJAKAN PENGELOLAAN SAMPAH DI KOTA CILEGON. Dibimbing oleh Muhammad Adha Ilhami dan Evi Febianti.**

**Latar Belakang:** Meningkatnya jumlah penduduk dan arus urbanisasi menjadi penyebab timbulnya dampak dan tantangan bagi suatu wilayah. Salah satu dampak yang muncul adalah permasalahan sampah. Tingginya pertumbuhan penduduk yang terjadi pada Kota Cilegon menjadi salah satu faktor penyebab meningkatnya timbunan sampah pada TPSA Bagendung. Jumlah penduduk Kota Cilegon tahun 2020 mencapai 434.896 jiwa dengan laju pertumbuhan penduduknya 1,49% dan terus meningkat setiap tahunnya. Estimasi sampah yang dihasilkan masyarakat Indonesia dalam sehari adalah 0,68 kg/kapita/hari. Sehingga diperkirakan, dengan laju pertumbuhan penduduk yang ada, kondisi *landfill* TPSA Bagendung akan mencapai kapasitas maksimumnya pada tahun 2042. Oleh sebab itu diperlukan upaya pengolahan sampah dari hulu hingga hilir untuk mencegah penuhnya TPSA.

**Tujuan Penelitian:** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui skenario pengelolaan sampah yang dapat mencegah penuhnya TPSA Bagendung tahun 2046, mengetahui skenario yang paling banyak menyisakan kapasitas *landfill*, mengetahui apa saja yang harus disiapkan Pemerintah Kota Cilegon untuk mencegah penuhnya TPSA.

**Metode Penelitian:** Penelitian ini dilakukan menggunakan metode simulasi sistem dinamis. Sistem dinamis digunakan untuk mengembangkan model sistem *existing* dan skenario alternatif pengelolaan sampah di Kota Cilegon. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan model konseptual *Causal Loop Diagram* (CLD) dan *Stock Flow Diagram* (SFD). Hasil simulasi pada masing-masing model dibandingkan parameternya menggunakan perbandingan parameter dan *benefit-cost ratio*. Perbandingan tersebut kemudian dijadikan dasar pengambilan keputusan skenario terbaik yang dapat diterapkan.

**Hasil Penelitian:** Kapasitas maksimum TPSA Bagendung adalah 10.000.000 ton dan berdasarkan hasil simulasi kondisi *landfill* pada sistem *existing* akan melebihi kapasitas maksimumnya pada tahun 2046 (mencapai 10.755.423 ton). Kondisi tersebut dapat dicegah dengan menjalankan skenario-skenario alternatif. Skenario pengelolaan sampah yang dapat mencegah penuhnya TPSA yaitu skenario 1 (upaya produksi BBJP) kapasitas *landfill* tersisa 12,39%, skenario 2 (upaya produksi pupuk kompos pada TPS3R dan produksi BBJP) kapasitas *landfill* tersisa 15,53%, skenario 3 (upaya produksi cacahan plastik pada TPS3R dan produksi BBJP) kapasitas *landfill* tersisa 16,39%, skenario 4 (upaya produksi pupuk kompos dan cacahan plastik pada TPS3R serta produksi BBJP) kapasitas *landfill* tersisa 19,54%. Perbandingan skenario menghasilkan skenario terpilih untuk mencegah penuhnya TPSA adalah skenario 4.

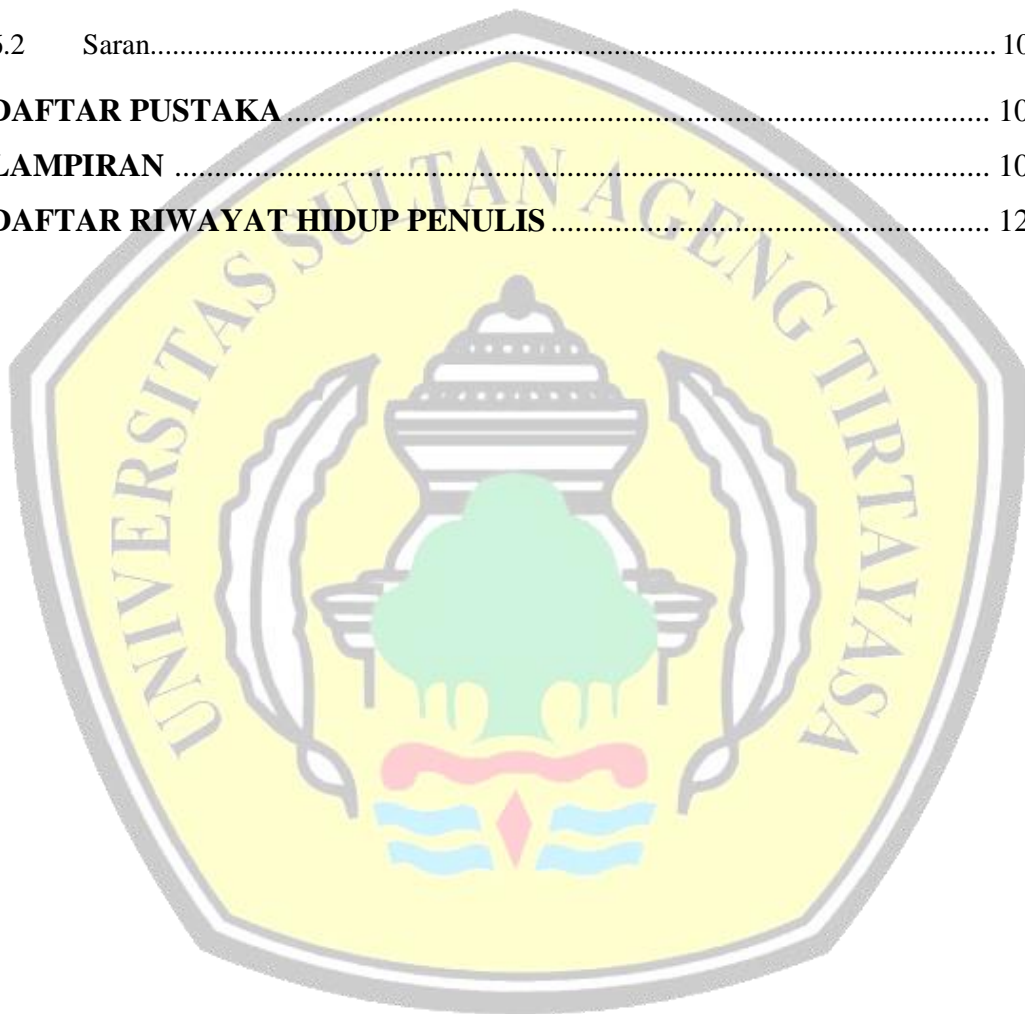
**Kesimpulan:** Hasil simulasi menunjukkan keempat skenario alternatif dapat mencegah penuhnya TPSA Bagendung. Namun skenario yang paling banyak menyisakan kapasitas *landfill* adalah skenario 4. Pada skenario 4 *landfill* terisi mencapai 8.045.836 ton (tahun 2046) dan menyisakan 1.954.164 ton (19,54%) dari total kapasitas maksimumnya. Setelah dibandingkan dengan parameter yang ada, skenario 4 menjadi skenario terpilih yang dapat direkomendasikan untuk mencegah penuhnya TPSA. Dalam menjalankan skenario 4 beberapa hal yang perlu untuk disiapkan, antara lain: a) kebutuhan investasi: 1) mesin pencacah, 2) mesin komposting, 3) konstruksi, 4) lahan, 5) kontainer, 6) cator, 7) *dump truck* b) kebutuhan operasional: 1) upah operator TPS3R, 2) listrik, 3) air, 4) pemeliharaan dan *overhead*, 5) barang habis pakai, 6) perawatan, 7) upah operator cator, 8) biaya bahan bakar cator, 9) biaya perpanjang pajak kendaraan cator, 10) biaya APD operator cator, 11) upah operator *dump truck*, 12) biaya bahan bakar *dump truck*, 13) biaya perpanjang pajak kendaraan *dump truck*, 14) biaya APD operator *dump truck*.

## DAFTAR ISI

Halaman Sampul .....	i
Halaman Judul .....	ii
Halaman Pernyataan Keaslian .....	iii
Halaman Pengesahan .....	iv
Prakata .....	v
Abstrak .....	vii
Abstract .....	vii
Ringkasan .....	ix
Daftar Isi .....	xi
Daftar Tabel .....	xiv
Daftar Gambar .....	xvi
Daftar Arti Lambang, Singkatan dan Istilah .....	xvii
Daftar Lampiran .....	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Batasan Masalah .....	5
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
1.6 Penelitian Terdahulu .....	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Teori Umum Sampah .....	9
2.1.1 Pengaruh Sampah Terhadap Sosial-Ekonomi .....	9
2.2 Sistem Pengelolaan Sampah .....	10
2.3 Pemodelan Sistem Dinamis .....	12
2.3.1 <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD) .....	13

2.3.2	<i>Stock Flow Diagram (SFD)</i> .....	14
2.4	Verifikasi dan Validasi Model .....	15
2.5	<i>Benefit-Cost Ratio (BCR)</i> .....	17
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....		18
3.1	Rancangan Penelitian .....	18
3.2	Lokasi dan Waktu Penelitian .....	18
3.3	Cara Pengumpulan Data.....	19
3.4	Alur Penelitian .....	19
3.4.1	<i>Flow Chart</i> Penelitian Umum .....	19
3.4.2	Deskripsi <i>Flow Chart</i> Penelitian Umum.....	21
3.4.3	<i>Flow Chart</i> Model Sistem Dinamis .....	22
3.4.4	Deskripsi <i>Flow Chart</i> Model Sistem Dinamis .....	24
3.5	Analisis Data .....	25
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN</b> .....		26
4.1	Pengumpulan Data .....	26
4.1.1	Wilayah Penelitian .....	26
4.1.2	Data Kependudukan Kota Cilegon.....	28
4.1.3	Pengelolaan Sampah Kota Cilegon.....	28
4.1.4	Komposisi Sampah .....	33
4.2	Pengolahan Data .....	33
4.2.1	Estimasi Parameter.....	33
4.2.2	Model <i>Existing</i> Pengelolaan Sampah Kota Cilegon .....	36
4.2.3	Skenario Pengelolaan Sampah Kota Cilegon.....	46
4.2.4	Perbandingan Parameter.....	74
4.2.5	<i>Benefit-Cost Ratio (BCR)</i> .....	79
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....		84
5.1	Analisis Skenario 1 .....	84

5.2	Analisis Skenario 2 .....	86
5.3	Analisis Skenario 3 .....	88
5.4	Analisis Skenario 4 .....	90
5.5	Analisis Perbandingan Skenario .....	92
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>100</b>
6.1	Kesimpulan .....	100
6.2	Saran.....	101
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>102</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>107</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS .....</b>		<b>122</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penelitian terdahulu.....	7
Tabel 2. Luas Daerah Berdasarkan Kecamatan di Kota Cilegon.....	26
Tabel 3. Jumlah Penduduk Kota Cilegon 2011-2021 .....	28
Tabel 4. Data Pengelolaan Sampah Kota Cilegon .....	29
Tabel 5. Data Tempat Penampungan Sementara (TPS) Kota Cilegon .....	30
Tabel 6. Data Fasilitas TPS3R Kota Cilegon.....	31
Tabel 7. Data Umum TPSA Bagendung.....	32
Tabel 8. Komposisi Sampah .....	33
Tabel 9. Estimasi Biaya TPS3R.....	34
Tabel 10. Estimasi Biaya Investasi TPS3R Pengolahan Pupuk.....	34
Tabel 11. Estimasi Biaya Investasi TPS3R Pencacahan Plastik.....	34
Tabel 12. Estimasi Biaya TPS.....	35
Tabel 13. Estimasi Biaya Kendaraan Kecil.....	35
Tabel 14. Estimasi Biaya Kendaraan Besar .....	36
Tabel 15. Estimasi Biaya Alat Berat .....	36
Tabel 16. Hasil Simulasi Model <i>Existing</i> .....	43
Tabel 17. Validasi Model Sistem <i>Existing</i> .....	45
Tabel 18. Hasil Simulasi Skenario 1 .....	52
Tabel 19. Hasil Simulasi Skenario 2 .....	59
Tabel 20. Hasil Simulasi Skenario 3 .....	66
Tabel 21. Hasil Simulasi Skenario 4 .....	73
Tabel 22. Perbandingan Parameter Simulasi .....	75
Tabel 23. Perbandingan Biaya dan Pendapatan .....	77
Tabel 24. <i>Benefit-Cost Ratio</i> Pendapatan .....	80
Tabel 25. <i>Benefit-Cost Ratio</i> Laju Angkut ke TPSA .....	80
Tabel 26. <i>Benefit-Cost Ratio</i> Laju ke TPS3R .....	80
Tabel 27. <i>Benefit-Cost Ratio</i> Sampah Diolah di TPS3R .....	81
Tabel 28. <i>Benefit-Cost Ratio</i> Sampah Diolah Menjadi BBJP.....	81

Tabel 29. <i>Benefit-Cost Ratio</i> Kapasitas Tersisa <i>Landfill</i> .....	82
Tabel 30. Rekapitulasi Hasil <i>Benefit-Cost Ratio</i> .....	82
Tabel 31. Rekapitulasi Kebutuhan Investasi dan Operasional Skenario 4.....	97



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tingkatan Penanganan Sampah .....	12
Gambar 2. Gambaran Sistem .....	13
Gambar 3. Contoh <i>Balancing Loop</i> dan <i>Reinforcing Loop</i> .....	14
Gambar 4. <i>Flow Chart</i> Penelitian Umum .....	20
Gambar 5. <i>Flow Chart</i> Model Sistem Dinamis .....	23
Gambar 6. Peta Wilayah Kota Cilegon .....	27
Gambar 7. <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD) Model <i>Existing</i> Pengelolaan Sampah Kota Cilegon .....	40
Gambar 8. <i>Stock Flow Diagram</i> (SFD) Model <i>Existing</i> Pengelolaan Sampah Kota Cilegon .....	41
Gambar 9. <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD) Skenario 1 Produksi BBJP.....	48
Gambar 10. <i>Stock Flow Diagram</i> (SFD) Skenario 1 Produksi BBJP .....	50
Gambar 11. <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD) Skenario 2 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Produksi BBJP .....	55
Gambar 12. <i>Stock Flow Diagram</i> (SFD) Skenario 2 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Produksi BBJP : .....	57
Gambar 13. <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD) Skenario 3 Pembangunan TPS3R Pencacahan Plastik dan Produksi BBJP.....	62
Gambar 14. <i>Stock Flow Diagram</i> (SFD) Skenario 3 Pembangunan TPS3R Pencacahan Plastik dan Produksi BBJP.....	64
Gambar 15. <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD) Skenario 4 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Pencacahan Plastik serta Produksi BBJP .....	69
Gambar 16. <i>Stock Flow Diagram</i> (SFD) Skenario 4 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Pencacahan Plastik serta Produksi BBJP .....	71



## DAFTAR ARTI LAMBANG, SINGKATAN, DAN ISTILAH

Lambang/Singkatan	Nama	Pemakaian Pertama Kali Pada Halaman
TPSA	Tempat Pembuangan Sampah Akhir	1
3R	<i>Reduce, Reuse, Recycle</i>	2
BPS	Badan Pusat Statistik	2
TPS3R	Tempat Pengolahan Sampah <i>Reduce, Reuse,</i> <i>Recycle</i>	3
WTE	<i>Waste To Energy</i>	3
BBJP	Bahan Bakar Jemputan Padat	3
PLTU	Pembangkit Listrik Tenaga Uap	3
BCR	<i>Benefit-Cost Ratio</i>	3
CLD	<i>Causal Loop Diagram</i>	6
SFD	<i>Stock Flow Diagram</i>	6
B	<i>Benefit</i>	16
C	<i>Cost</i>	16
LS	Lintang Selatan	26
BT	Bujur Timur	26
TPS	Tempat Penampungan Sementara	29
DLH	Dinas Lingkungan Hidup	29
UPT	Unit Pelaksana Teknis	30
Pemkot Cilegon	Pemerintah Kota Cilegon	31

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rincian Formulasi Parameter Model <i>Existing</i> .....	108
Lampiran 2. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 1.....	110
Lampiran 3. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 2.....	112
Lampiran 4. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 3.....	115
Lampiran 5. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 4.....	118



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk dan tingginya arus urbanisasi menyebabkan timbulnya berbagai dampak dan tantangan pada suatu wilayah. Salah satu dampak yang timbul dari meningkatnya pertumbuhan penduduk adalah terjadinya degradasi lingkungan yang disebabkan oleh permasalahan sampah. Terdapat beberapa faktor yang menjadi penyebab timbulnya permasalahan sampah seperti belum sesuai teknik pengelolaan sampah yang berwawasan lingkungan, adanya perubahan pola konsumsi masyarakat yang menimbulkan bertambahnya volume, jenis, serta karakteristik sampah, serta minimnya kesadaran masyarakat untuk mengelola sampah dan bertumpu pada pengangkutan sampah ke tempat pemrosesan akhir (Sukadaryati & Andini, 2021).

Secara umum permasalahan sampah adalah terus meningkatnya timbunan sampah, keterbatasan sumber daya (masyarakat dan pemerintah) dalam mengelola sampah, dan kurang optimalnya sistem yang diterapkan pada pemrosesan akhir (Elamin, et al., 2018). Sampah yang tidak ditangani dan dikelola dengan baik akan menimbulkan dampak bagi lingkungan seperti munculnya fenomena alam banjir, munculnya bibit penyakit, pencemaran lingkungan, dan lain sebagainya. Adapun sampah yang dikelola dapat memberikan dampak yang baik bagi sosial dan ekonomi, sampah organik yang dapat diolah menjadi pupuk kompos dan sampah anorganik yang dapat didaur ulang menjadi kerajinan dengan nilai tambah (Herlina & Febryanti, 2021).

Dalam menangani sampah, sebagian besar masyarakat di Indonesia memiliki kebiasaan membuang sampah secara langsung (diangkut) ke Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPSA) secara *open dumping* tanpa ada pengelolaan terlebih dahulu. Metode tersebut berdampak buruk karena dengan meningkatnya jumlah penduduk maka jumlah timbunan sampah juga akan meningkat, sehingga lahan TPSA yang terbatas tidak lagi dapat menampung sampah. Salah satu upaya

yang dilakukan pemerintah dalam mengatasi permasalahan sampah adalah dengan merumuskan Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 yang mengatur tentang pengelolaan sampah, jenis, dan sumber sampah (Dobiki, 2018). Sesuai undang-undang tersebut proses pengelolaan sampah dilakukan meliputi proses pemisahan sampah, pengumpulan sampah, transportasi dan transfer sampah, pengolahan sampah, dan pembuangan sampah. Undang-undang tersebut juga mengatur terkait konsep pengurangan sampah yang dapat dilakukan dengan menerapkan konsep 3R yaitu mengurangi (*reduce*), menggunakan ulang (*reuse*), dan melakukan daur ulang (*recycle*) (Maryati, Arifiani, Humaira, & Putri, 2018).

Kota Cilegon merupakan kota dengan perkembangan dan pertumbuhan industri yang cukup pesat. Hal ini menyebabkan tingginya arus urbanisasi sehingga pertumbuhan penduduk di Kota Cilegon meningkat setiap tahunnya. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Cilegon, jumlah penduduk Kota Cilegon tahun 2020 adalah 434.896 jiwa dengan laju pertumbuhan penduduk yaitu 1,49% (BPS Kota Cilegon, Kota Cilegon Dalam Angka, 2022). Jumlah penduduk yang terus meningkat menjadi faktor meningkatnya timbunan sampah di Kota Cilegon. Sebagian masyarakat Kota Cilegon belum memiliki akses dan fasilitas untuk mengelola sampahnya sendiri sehingga sampah yang dihasilkan diangkut dan dibuang ke *landfill* TPSA Bagendung tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu. Pola pengelolaan sampah tersebut menyebabkan produksi sampah pada TPSA Bagendung dalam satu hari mencapai 245 ton (Tajudin, 2023).

Pengurangan sampah di sumber (hulu), dengan cara yang baik belum bisa mereduksi sampah yang timbul dengan signifikan. Sehingga perlu adanya kontribusi tambahan untuk mengelola sampah di sisi tengah dan hilir. Kegiatan yang dilakukan pada bank sampah dan kampung organik merupakan contoh kontribusi pengelolaan sampah di sisi tengah. Tetapi kontribusi bank sampah dan kampung organik tidak lebih dari 5% dalam mengupayakan pengurangan sampah yang dibuang ke sisi hilir atau TPSA. Sehingga diperlukan upaya lain pada sisi tengah untuk mengurangi pembuangan sampah ke sisi hilir. Pada sisi tengah, terdapat beragam sarana dan prasarana dari yang sederhana seperti Tempat

Pengolahan Sampah 3R (TPS3R) hingga fasilitas yang menerapkan teknologi dengan konsep *waste to energy* (WTE) seperti insinerator (Purnomo, 2020).

Pada tahun 2022 Pemerintah Kota Cilegon dan PT Indonesia Power bekerjasama dalam mengelola dan memanfaatkan sampah menjadi bahan bakar briket atau *co-firing* dan mengembangkannya menjadi Industri Bahan Bakar Jumputan Padat (BBJP). Penggunaan BBJP menggantikan 5% (sekitar 2.000 ton) kebutuhan batu bara untuk memproduksi listrik di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Suralaya. Dalam hal ini, solusi pemanfaatan sampah menjadi BBJP merupakan alternatif kebijakan pengelolaan sampah di sisi hilir (Suryowati, 2023).

Berdasarkan uraian di atas, Pemerintah Kota Cilegon memerlukan adanya alternatif pengelolaan sampah sebagai upaya memperpanjang umur *landfill* TPSA Bagendung. Simulasi sistem dinamis dilakukan untuk mengembangkan model sistem nyata sehingga dapat diketahui perubahan kondisi timbunan sampah pada *landfill* seiring dengan adanya perubahan waktu. Pendekatan simulasi sistem dinamis diterapkan dalam pembangunan sistem *existing* dan skenario pengelolaan sampah karena memenuhi persyaratan sistem yang kompleks, dinamis, serta non-linier (Andhika, 2019). Kondisi sistem nyata (*existing*) dikembangkan kedalam bentuk model konseptual menggunakan *Causal Loop Diagram* (CLD) kemudian diformulasikan menggunakan *Stock Flow Diagram* (SFD). Kemudian dilakukan validasi terhadap hasil simulasi kondisi *existing*. Apabila sistem valid maka model simulasi *existing* dapat dikembangkan menjadi skenario alternatif. Berdasarkan uraian di atas, dapat dirangkum upaya-upaya alternatif pengelolaan sampah di Kota Cilegon adalah upaya pengelolaan sampah di sisi tengah dan di hilir. Alternatif upaya pengelolaan sampah di sisi tengah adalah pembangunan fasilitas TPS3R. Adapun upaya pengelolaan sampah di hilir adalah produksi BBJP. Pengembangan skenario tersebut bertujuan sebagai opsi alternatif pengurangan sampah yang dibuang ke TPSA.

Penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Darmawan *et al* (2020). Penelitian ini membahas manajemen *landfill* pada TPST Bantargebang dengan mengembangkan skenario intervensi untuk mencegah penuhnya TPST Bantargebang. Penelitian tersebut

menghasilkan adanya kenaikan rasio produksi pemulung terhadap *rate* sampah dan persentase status kapasitas landfill tidak mencapai 100% sehingga TPST Bantargebang masih dapat digunakan hingga akhir periode simulasi. Penelitian lain dilakukan oleh Wildanurrizal *et al* (2014) membahas terkait pengelolaan sampah di Kota Cilegon. Penelitian tersebut dilakukan dengan mengembangkan model skenario menggunakan simulasi sistem dinamis untuk meningkatkan persentase pelayanan kebersihan di Kota Cilegon. Kondisi pengelolaan sampah Kota Cilegon hanya dapat melakukan 49,7% pelayanan kebersihan, sedangkan pemerintah daerah menargetkan persentase pelayanan kebersihan dapat meningkat menjadi 70%. Hasil simulasi skenario terpilih pada penelitian ini adalah skenario gabungan yang menerapkan perubahan ritase pengangkutan *arm roll* dan cator, menambah unit bank sampah, menambah 1 unit pengelola kompos, merubah struktur model dengan membuat proses daur ulang. Hasil pemodelan tersebut berhasil mencapai persentase pelayanan sebesar 99,64%. Penelitian lainnya dilakukan oleh Artika & Chaerul (2020) terkait evaluasi skenario pengelolaan sampah di Kota Depok menggunakan model sistem dinamik. Penelitian ini menganalisis alternatif skenario untuk mengoptimalkan pelayanan pengelolaan sampah di Kota Depok. Adapun penelitian Mirwan & Maulidah (2022) membahas terkait perencanaan sistem pengangkutan sampah di UPTD Tumpang. Penelitian tersebut dilakukan untuk melakukan simulasi pembuatan rute perencanaan efektif yang dapat mengurangi biaya bahan bakar dan emisi kendaraan. Selain itu Parmawati, Hernawan, & Listyarini (2023) melakukan penelitian terkait pemodelan sistem pengelolaan sampah pada TPA Kabupaten Tana Tidung dengan sistem dinamis. Skenario terpilih pada penelitian tersebut adalah skenario optimis yang memperpanjang umur landfill selama 18 tahun dan pengurangan sampah sebesar 48,33%.

Periode simulasi pada penelitian ini berlangsung hingga tahun 2046 dengan tujuan untuk melihat kapan kapasitas TPSA Bagendung akan penuh. Sehingga Pemerintah Kota Cilegon dapat mencegah penuhnya TPSA dengan menerapkan skenario yang tepat. Sebagai langkah antisipasi, Pemerintah Kota Cilegon dapat mempersiapkan kebutuhan investasi dan operasional untuk mencegah penuhnya TPSA pada tahun 2046.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, perumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Skenario pengelolaan sampah apa yang dapat mencegah penuhnya TPSA Bagendung tahun 2046?
2. Skenario apa yang paling banyak menyisakan kapasitas *landfill*?
3. Berdasarkan skenario terpilih, apa saja yang harus disiapkan Pemerintah Kota Cilegon untuk mencegah penuhnya TPSA?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui skenario pengelolaan sampah apa yang dapat mencegah penuhnya TPSA Bagendung tahun 2046.
2. Mengetahui skenario yang paling banyak menyisakan kapasitas *landfill*.
3. Mengetahui apa saja yang harus disiapkan Pemerintah Kota Cilegon untuk mencegah penuhnya TPSA.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sampah industri tidak diperhitungkan dalam penelitian ini.
2. Batas waktu yang dibuat untuk menjalankan model sistem dinamis pada penelitian ini adalah tahun 2023 - 2046.
3. Pengelolaan sampah yang dipertimbangkan adalah pengelolaan sampah Kota Cilegon saja.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan digunakan untuk mempermudah pemahaman terkait penulisan laporan tugas akhir. Berikut ini merupakan uraian sistematika penulisan yang terdiri dari enam bab, sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab I Pendahuluan berisikan metode penulisan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan dan penelitian terdahulu.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab II Tinjauan Pustaka berisikan teori berupa pengertian dari teori-teori yang mendasari relevansi dengan penelitian yang dilakukan. Terdapat landasan mengenai teori umum sampah, pengaruh sampah terhadap sosial ekonomi, sistem pengelolaan sampah, pemodelan sistem dinamis, *causal loop diagram* (CLD), *stock flow diagram* (SFD), verifikasi dan validasi model, serta *benefit-cost ratio* (BCR).

## **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab III Metode Penelitian berisikan prosedur atau langkah dalam melakukan penelitian yang tersusun secara sistematis dari awal dimulainya penelitian hingga selesai.

## **BAB IV HASIL PENELITIAN**

Bab IV Hasil Penelitian berisikan pengumpulan data yang digunakan saat penelitian dan pengolahan dari data yang didapat menggunakan dari hasil simulasi sistem menggunakan *causal loop diagram* (CLD) dan *stock flow diagram* (SFD).

## **BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Bab V Analisis dan Pembahasan berisi penjelasan dan analisa mengenai hasil pengolahan data dari penelitian yang dilakukan.

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab VI Kesimpulan dan Saran berisi mengenai kesimpulan yang didapat dari penelitian yang dilakukan dan saran yang digunakan untuk evaluasi penelitian selanjutnya.

### **1.6 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu digunakan sebagai pembanding dalam penelitian ini. Adapun penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:



Tabel 1. Penelitian terdahulu

No	Authors	Tahun	Judul	Tujuan	Kesimpulan
1	Darmawan, Soesilo, & Wahyono	2020	Model Optimasi Pengelolaan Sampah Di TPA (Suatu Studi Di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang)	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membangun model sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang yang merepresentasikan sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang saat ini berdasarkan aspek lingkungan, finansial, dan sosial. Penelitian ini juga bertujuan untuk menyusun strategi optimasi menuju pengelolaan TPST Bantargebang yang berkelanjutan.	Berdasarkan hasil analisis terdapat permasalahan pada TPST Bantargebang antara lain: 1. Kapasitas <i>landfill</i> sudah mencapai 86,41%, diperkirakan akan penuh pada tahun 2021. 2. Biaya operasional sebesar Rp. 94,541 per ton yang dibawah rentang nilai tipikal dapat menjadi salah satu penyebab pengelolaan sampah tidak optimal. Model yang paling optimal untuk meningkatkan status berkelanjutan sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang adalah dengan skenario intervensi gabungan, yaitu skenario pengurangan sampah masuk ke <i>landfill</i> dan pengurangan sampah di <i>landfill</i> yang direncanakan dengan pembangunan MRF ( <i>Materilal Recovery Facility</i> ).
2	Wildanurizal, Bahauddin, & Ferdinant	2014	Perancangan Model Simulasi Pengelolaan Sampah Dengan Pendekatan Sistem Dinamis Di Kota Cilegon	Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan pelayan kebersihan di Kota Cilegon dengan pendekatan sistem dinamis..	Alternatif terpilih dalam pengelolaan sampah di Kota Cilegon adalah alternatif 6 yaitu pengelolaan sampah dengan cara melakukan penanganan sampah dengan pengumpulan menggunakan sarana dan prasarana berupa 100 unit gerobak sampah (2 ritase/hari), 21 unit cator (3 ritase/hari), 61 unit kontainer, 450 unit tong sampah, 12 unit <i>dump truck</i> (4 ritase/hari), 12 unit <i>arm roll</i> (5 ritase/hari), 100 unit bank sampah (daur ulang dan kompos).

Tabel 1. Penelitian terdahulu (Lanjutan)

No	Authors	Tahun	Judul	Tujuan	Kesimpulan
5	Parmawati, Hernawan, & Listyarini	2023	Pemodelan Sistem Pengelolaan Sampah Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Kabupaten Tana Tidung Dengan Pendekatan Sistem <i>Dynamic</i>	Penelitian ini bertujuan untuk merancang kebijakan pengelolaan sampah yang efektif dan efisien.	Hasil simulasi skenario pesimis memperpanjang umur <i>landfill</i> selama 5 tahun yaitu tahun 2031 dengan pengurangan sampah sebesar 8%. Skenario moderat memperpanjang umur <i>landfill</i> selama 9 tahun yaitu tahun 2035 dengan pengurangan sampah sebesar 33,73%. Skenario optimis memperpanjang umur <i>landfill</i> selama 18 tahun hingga tahun 2044 dengan pengurangan sampah sebesar 48,336%.
3	Artika Chaerul &	2020	Model Sistem Dinamik Untuk Evaluasi Skenario Pengelolaan Sampah Di Kota Depok	Menganalisis berbagai alternatif skenario kebijakan guna mengoptimalkan pelayanan pengelolaan sampah di Kota Depok dan mengetahui pengaruhnya terhadap sampah yang terangkut ke TPPAS swasta.	Upaya signifikan yang dapat dilakukan untuk mengurangi sampah namun tidak menambah beban biaya pengelolaan sampah adalah dengan pengurangan sampah melalui EPR dan keterlibatan
4	Mirwan Maulidah &	2022	Perencanaan Pengangkutan Dengan Metode Dinamis Di UPTD Tumpang	Penelitian ini bertujuan untuk melakukan simulasi dalam pembuatan rute perencanaan efektif yang nantinya dapat mengurangi biaya bahan bakar yang digunakan dan emisi kendaraan.	Berdasarkan perbandingan data eksisting dan hasil rute perencanaan terdapat perbedaan jarak tempuh armada sehingga berpengaruh pada pengurangan biaya bahan bakar sebesar Rp 304.983,00 dan emisi kendaraan sebesar 177,99 KgCO <sub>2</sub> perharinya.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Teori Umum Sampah**

Sampah dalam ilmu kesehatan lingkungan merupakan sebagian dari benda atau hal-hal yang dipandang tidak digunakan, tidak dipakai, tidak disenangi atau harus dibuang sehingga tidak mengganggu kelangsungan hidup. Berdasarkan lokasinya sampah dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu sampah urban (sampah yang terkumpul di kota-kota besar) dan sampah daerah (sampah yang terkumpul di daerah luar perkotaan). Sampah sebagai limbah dapat bersifat padat atau setengah padat yang terdiri dari zat organik maupun anorganik (Suryani, 2014).

##### **2.1.1 Pengaruh Sampah Terhadap Sosial-Ekonomi**

Keberadaan sampah sering kali dianggap merugikan bagi sebagian orang. Oleh sebab itu, diperlukan pemahaman terhadap dampak sosial ekonomi dari adanya sampah. Dengan memahami dan mempelajari dampak tersebut, dapat dilakukan tindakan mitigasi risiko untuk menanggulangi masalah sampah yang ada. Pengaruh sampah terhadap sosial ekonomi suatu lingkungan antara lain (Annidia, Rahiem, & Nourwahida, 2023):

1. Sampah yang tidak dikelola dengan baik menyebabkan rusaknya lingkungan serta mempengaruhi kehidupan sosial penduduk.
2. Sampah padat dapat menyumbat aliran drainase dan sungai, sehingga menyebabkan munculnya bencana alam seperti banjir yang menimbulkan rusaknya fasilitas umum, rusaknya tempat tinggal penduduk, hilangnya ketersediaan pangan, hingga melumpuhkan aktivitas masyarakat.
3. Pengelolaan sampah yang tidak baik menyebabkan menurunnya tingkat kesehatan hidup masyarakat.
4. Sampah berkontribusi terhadap perputaran ekonomi.
5. Potensi terbukanya lapangan kerja dari industri daur ulang sampah.

## 2.2 Sistem Pengelolaan Sampah

Sampah menjadi salah satu permasalahan lingkungan karena menyebabkan munculnya pencemaran dan dampak buruk bagi kesehatan. Timbunan sampah akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya laju pertumbuhan penduduk dan arus urbanisasi. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan menyebutkan produksi sampah nasional Indonesia mencapai 67,8 juta ton atau 185.753 ton sampah perhari yang dihasilkan oleh 270 juta jiwa penduduk. Dapat dikatakan setiap individu menghasilkan 0,68 kg per hari. Angka timbunan sampah terus meningkat dari tahun ke tahun dan menyebabkan beban kapasitas TPA juga semakin bertambah (Purba, Putri, Sitorus, & Sari, 2023).

Pengelolaan sampah tentu diperlukan sebagai upaya mengurangi permasalahan sampah. Pengelolaan sampah merupakan bagian dari kegiatan pengelolaan kebersihan yang meliputi kegiatan pengendalian timbunan sampah, pengumpulan sampah, pengangkutan, pengolahan serta pembuangan akhir sampah. Terdapat tiga hal yang harus dipertimbangkan dalam melakukan pengelolaan sampah yaitu identifikasi kondisi sistem pengelolaan sampah yang telah ada, pola kebijaksanaan pembinaan, dan pengembangan. Penanganan sampah merupakan suatu hal yang kompleks karena mencakup aspek teknis, ekonomi, serta sosiopolitis suatu wilayah (Suryani, 2014).

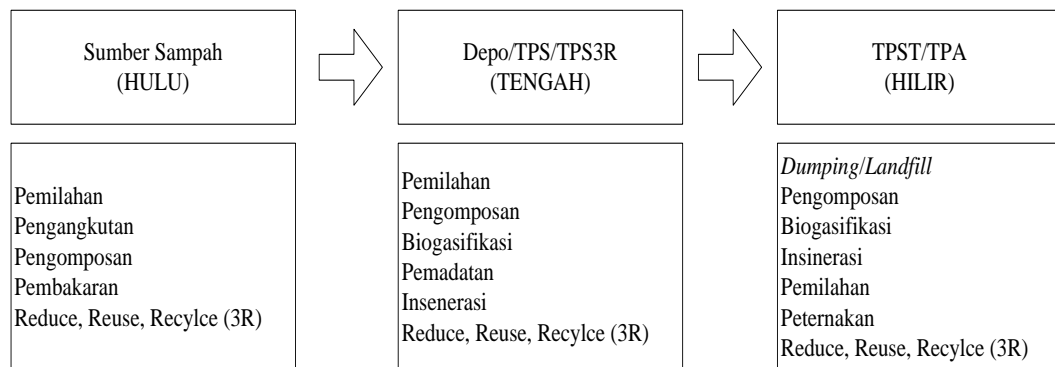
Setiap aktivitas pengelolaan sampah akan berdampak pada lingkungan, sosial-ekonomi baik secara positif maupun negatif. Dampak yang muncul akan mengubah persepsi dan interaksi berbagai pihak bukan hanya pemerintah namun juga masyarakat. Secara tradisional, penilaian keberhasilan atau kegagalan pengelolaan sampah lebih terfokus pada aspek-aspek teknis seperti kinerja dalam hal pelayanan, volume sampah yang diolah, serta dampak bagi lingkungan. Namun para ahli setuju bahwa pengelolaan sampah terpadu serta berkelanjutan tidak hanya berfokus pada aspek teknis dan dampak lingkungannya, keberhasilan atau kegagalan dalam pengelolaan sampah juga disebabkan faktor lain seperti (Zurbrügg, Gfrerer, Ashadi, Brenner, & Küper, 2012):

1. Elemen sosial, yaitu masalah mobilisasi sosial dan penerimaan masyarakat.

2. Elemen institusional, yaitu terkait peran, tanggung jawab, serta fungsi manajemen dari pemerintah selaku pihak yang berwenang dalam membuat peraturan hokum, mengawasi, dan mengendalikan kegiatan pengelolaan sampah, serta sebagai fasilitator dalam upaya penanganan sampah.
3. Elemen ekonomi, yaitu terkait aspek finansial dan operasional serta mekanisme pemulihan biaya.

Terdapat lima aspek yang saling berkaitan dalam upaya meningkatkan pengelolaan sampah. Kelima aspek tersebut adalah aspek kelembagaan, pembiayaan, pengaturan, peran serta masyarakat, serta teknik operasional. Komponen dalam aspek tersebut saling mendukung, berinteraksi, dan saling berhubungan satu sama lain. Peran pokok aspek kelembagaan adalah menggerakkan, mengaktifkan, serta mengarahkan sistem. Peran pembiayaan meliputi penganggaran keuangan yang menyokong kebutuhan operasional dan alternatif sumber pendanaan. Peran pengaturan adalah sebagai dasar hukum yang menjaga dinamika sistem agar mencapai sasaran secara efektif. Peran masyarakat adalah selaku penghasil sampah yang berperan dalam mengurangi timbunan sampah maupun dalam penyediaan dana. Peran teknik operasional adalah sebagai komponen pelaksana yang terdiri dari sarana prasarana, perencanaan, tata cara operasional untuk kegiatan pewadahan, pengumpulan, pengangkutan serta pembuangan akhir sampah (Suryani, 2014).

Terdapat tiga tingkatan penanganan sampah yang secara umum diterapkan di Indonesia. Tahapan pertama yaitu sisi hulu (sumber sampah) penanganan sampah yang dilakukan berupa pengangkutan, pemilahan, pembakaran, pengomposan, dan 3R. Tahap selanjutnya adalah sisi tengah (dilakukan pada depo, TPS3R, dan TPS) penanganan yang dilakukan berupa pemadatan, pemilahan, insenerasi, pengomposan, biogasifikasi, 3R, dan lain-lain. Tahapan hilir (dilakukan pada TPST atau TPA) penanganan sampah yang dilakukan berupa *dumping/landfill*, pemilahan, insenerasi, biogasifikasi, dan lain-lain. Tiga tahapan tersebut menggambarkan proses umum penanganan sampah yang ada saat ini (Purnomo, 2020). Gambar 1 menunjukkan tahapan penanganan sampah dari hulu hingga hilir.



**Gambar 1. Tingkatan Penanganan Sampah**

(Sumber: Purnomo, 2020)

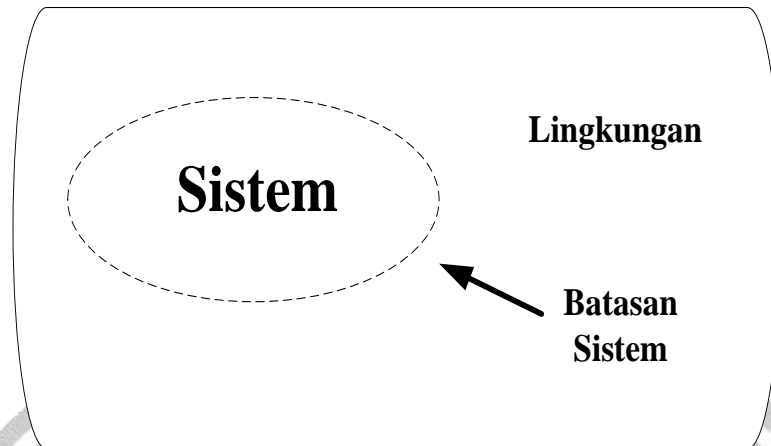
Tantangan utama dalam penanganan sampah adalah pemilahan sampah dalam setiap tahapan pengelolaan sampah. Pemilahan sampah dari sumber akan mempermudah tahapan pengolahan sampah selanjutnya. Menurut para ahli praktisi 3R, 50% keberhasilan kegiatan daur ulang ditentukan dari kegiatan pemilahan sampah. Sampah yang tercampur dan kotor akan menjadi tidak bernilai, sedangkan nilai sampah akan naik berkali lipat apabila kondisi sampah bersih dan terpilah sesuai dengan jenisnya (Irmawartini, Mulyati, & Pujiono, 2023).

### 2.3 Pemodelan Sistem Dinamis

Pemodelan merupakan salah satu alat yang sering digunakan untuk mempelajari atau menganalisis kinerja dari suatu sistem atau proses. Pemodelan digunakan untuk menggambarkan model yang sesuai dengan hasil analisis permasalahan. Tujuan dari suatu pemodelan adalah untuk menganalisa dan memberi prediksi yang mendekati sistem nyata (Az-zahra, Syahputri, Setifani, Ningrum, & Rolliawati, 2020). Model dapat berupa tiruan dari suatu sistem, benda, maupun kejadian (fenomena) sesungguhnya yang didalamnya berisi informasi yang diformulasikan untuk menemukan solusi dari persoalan yang ada.

Sistem merupakan kumpulan pernyataan yang digunakan untuk membantu seseorang dalam memahami sistem, sehingga praktisi dapat memahami dan memperoleh penjelasan yang kuat serta dapat menginterpretasikannya dengan tepat (Adams, Hester, Bradley, Meyers, & Keating, 2014). Menurut (Suryani, Hendrawan, & Rahmawati, 2021) sistem merupakan suatu kelompok entitas yang berinteraksi saling terkait membentuk satu kesatuan untuk mencapai tujuan

tertentu. Pada Gambar 2 sistem ditunjukkan memiliki batasan dengan lingkungan di luar sistem. Batasan sistem merupakan batas antara sistem dengan lingkungan luar yang mempengaruhi sistem.



**Gambar 2. Gambaran Sistem**

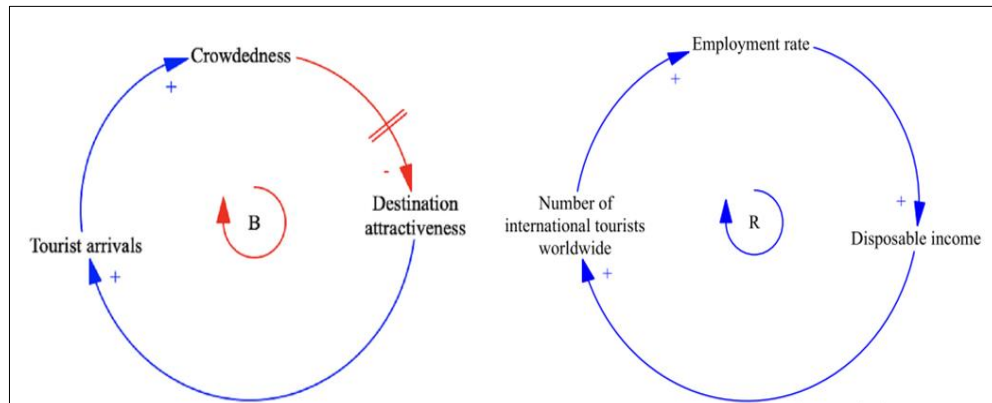
(Sumber: Suryani, Hendrawan, & Rahmawati, 2021)

Sistem memiliki struktur dan tujuan yang diekspresikan dalam bentuk fungsi. Fungsi tersebut berupa variabel dependen (variabel yang tergantung) dan variabel independen (variabel tidak tergantung). Sistem diklasifikasikan menjadi dua, yaitu sistem diskret dan sistem kontinu. Status variabel dalam sistem diskret dapat berubah pada kejadian-kejadian tertentu dan perubahannya dapat dilihat dengan kasat mata, contohnya sistem antrean *customer* bank. Status variabel pada sistem kontinu berubah secara kontinu terhadap waktu, contohnya penumpang dalam pesawat dapat merasakan posisi dan kecepatan berubah secara kontinu sepanjang waktu (Suryani, Hendrawan, & Rahmawati, 2021).

### 2.3.1 Causal Loop Diagram (CLD)

*Causal Loop Diagram* (CLD) merupakan diagram yang digunakan untuk menggambarkan interaksi serta perilaku dari elemen suatu sistem. *Causal Loop Diagram* (CLD) memvisualisasikan faktor, hubungan, serta pengaruh variabel dalam suatu sistem dengan putaran umpan balik (*loop*). Hubungan dikatakan positif apabila kondisi A meningkat dan B juga meningkat, atau ketika kondisi A menurun dan B juga menurun. Kondisi hubungan positif diilustrasikan dengan simbol (+). Sedangkan hubungan negatif terjadi saat kondisi A meningkat dan B menurun, atau

kondisi A menurun dan B meningkat. Sehingga kondisi negatif diilustrasikan dengan simbol (-) (Crabolu, Font, & Eker, 2023).



**Gambar 3. Contoh *Balancing Loop* dan *Reinforcing Loop***

(Sumber: Crabolu, Font, & Eker, 2023)

Faktor dan hubungan yang membentuk rangkaian urutan sebab-akibat yang disebut dengan *feedback loops* atau putaran umpan balik. Gambar 3 merupakan contoh putaran umpan balik pada *causal loop diagram* (CLD). Putaran umpan balik dapat bersifat *reinforcing* (menguatkan) atau *balancing* (menyeimbangkan). *Reinforcing* terjadi ketika semua faktor saling merespons satu sama lain dengan arah yang sama. Sebaliknya, *balancing* terjadi ketika faktor saling merespons dengan arah yang berlawanan (Crabolu, Font, & Eker, 2023).

### 2.3.2 *Stock Flow Diagram* (SFD)

*Stock Flow Diagram* (SFD) merupakan model yang disusun untuk merepresentasikan sistem nyata ke dalam bentuk model simulasi yang terdiri dari variabel level, *rate*, dan *auxiliary*. Penjabaran variabel *Stock Flow Diagram* (SFD) adalah sebagai berikut:

1. *Stock* atau Level

*Stock* atau level merupakan sebuah elemen yang berupa kumpulan, kuantitas, kumpulan material ataupun informasi. *Stock* digambarkan dalam bentuk kotak.

2. *Flow*

*Flow* merupakan proses hubungan yang mengubah nilai dari *stock*. *Flow* biasa disebut juga dengan *interconnection*. *Flow* merupakan proses



yang dapat mengarah ataupun berangkat dari elemen *stock*. *Flow* akan bertindak sebagai variabel yang menambah nilai *stock* apabila *flow* mengarah kepada *stock*. Begitupun saat *flow* mengarah keluar *stock* maka *flow* akan mengurangi jumlah *stock*. Nilai *flow* dapat berasal dari persamaan matematik yang diinput pada bagian *stock*, *auxiliary*, ataupun *constant*.

### 3. *Auxiliary*

*Auxiliary*, digambarkan dalam bentuk lingkaran, merupakan variabel yang mengandung nilai atau persamaan matematik yang akan digunakan jika ingin mengubah nilai sebuah variabel.

### 4. Konstanta

Konstanta, digambarkan dalam bentuk belah ketupat atau diamond, merupakan variabel yang berisi nilai yang konstan atau cenderung tidak berubah selama proses simulasi berlangsung (Panggabean, Ekaputra, & Satria, 2018).

## 2.4 Verifikasi dan Validasi Model

Berdasarkan (Widodo, Rifa'i, & Fuadyani, 2023) tahapan verifikasi merupakan tahapan yang dilakukan untuk menjamin logika (formulasi) pada variabel sudah sesuai. Verifikasi dilakukan untuk menguji variabel dengan memberikan perlakuan yang berbeda. Sedangkan validasi, menurut (Somantri & Thahir, 2007), merupakan tahap terakhir dalam pengembangan model untuk mengetahui keadaan model dengan meninjau apakah keluaran model sesuai dengan sistem nyata dengan melihat konsistensi internal, korespondensi, dan representasi. Validasi dalam pemodelan sistem dinamis dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu uji struktur secara langsung (*direct structure tests*) tanpa mengoperasikan (*running*) model, uji struktur tingkah laku model (*structure-oriented behavior test*) dengan mengoperasikan (*running*) model, dan perbandingan tingkah laku suatu model dengan kondisi sistem nyata (*quantitative behavior pattern comparison*). Dalam sistem dinamis, validitas dibedakan menjadi dua yaitu validitas perilaku (*behavioural validity*) dan validitas struktural (*structural validity*). Validitas perilaku (*behavioural validity*) mengacu pada seberapa baik keluaran model selaras

dengan perilakunya pada dunia nyata yang diamati. Sedangkan validitas struktural (*structural validity*) mengacu pada input model, komponen, serta hubungannya (Broeke & Tobi, 2021). Semakin kecil simpangan antara model yang dibuat dengan sistem nyata, maka dapat dikategorikan model yang dibuat semakin baik dalam menggambarkan sistem nyata (Nisa, Murti, & Jawwad, 2023). Validasi model dilakukan dengan perhitungan *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Square Error* (MSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

$$\text{MAD} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_m - X_s| \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_m - X_s)^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \left( \sum_{t=1}^n \frac{|X_m - X_s|}{X_m} \right) \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

n = nilai periode waktu

X<sub>m</sub> = data aktual

X<sub>s</sub> = data hasil simulasi

*Mean Absolute Deviation* (MAD) merupakan perhitungan rata-rata kesalahan mutlak pada peramalan dalam unit ukuran yang sama seperti data aslinya. *Mean Square Error* (MSE) merupakan perhitungan untuk menghitung rata-rata kesalahan berpangkat pada peramalan yang biasanya menghasilkan kesalahan yang lebih kecil tetapi tidak memungkinkan menghasilkan kesalahan yang sangat besar. Sedangkan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) merupakan perhitungan yang memberikan petunjuk seberapa besar kesalahan peramalan dibandingkan dengan nilai sebenarnya. Semakin rendah nilai MAPE maka kemampuan model peramalan dapat dikatakan baik (Montgomery, Jennings, & Kulahci, 2008). Nilai MAPE memiliki *range* pengukuran mengenai kemampuan model peramalan. Nilai MAPE < 10% menunjukkan kemampuan model peramalan sangat baik. Nilai MAPE berada diantara 10% - 20% menunjukkan kemampuan model peramalan baik. Nilai MAPE berada 20% - 50% menunjukkan kemampuan model peramalan layak. Sedangkan nilai MAPE > 50% maka hasil menunjukkan kemampuan model peramalan buruk (Maricar, 2019).

## 2.5 *Benefit-Cost Ratio (BCR)*

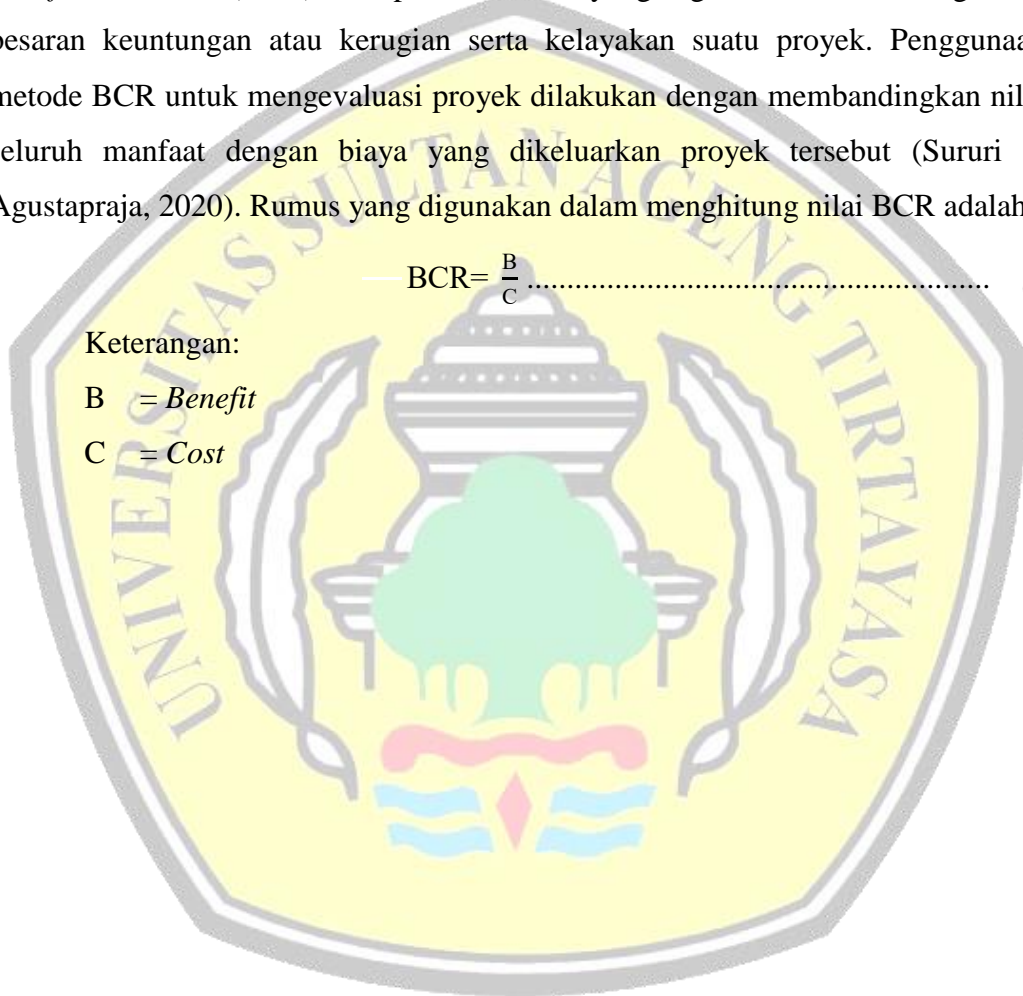
Perhitungan rasio *benefit-cost* digunakan untuk mengevaluasi nilai investasi ketika konsekuensi penting dari investasi tidak sepenuhnya tercermin dalam pemasukan dan pengeluaran. Metode perbandingan *benefit-cost* dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai jenis investasi seperti pada sektor program pemerintah, investasi sosial, program bantuan asing, dan lain-lain (Budiono, 2012). *Benefit-cost ratio* (BCR) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui besaran keuntungan atau kerugian serta kelayakan suatu proyek. Penggunaan metode BCR untuk mengevaluasi proyek dilakukan dengan membandingkan nilai seluruh manfaat dengan biaya yang dikeluarkan proyek tersebut (Sururi & Agustapraja, 2020). Rumus yang digunakan dalam menghitung nilai BCR adalah:

$$BCR = \frac{B}{C} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

B = *Benefit*

C = *Cost*



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Rancangan Penelitian**

Rancangan penelitian pengelolaan sampah di Kota Cilegon dilakukan dengan menggunakan metode simulasi sistem dinamis. Sistem dinamis digunakan sebagai alat bantu pengembangan model sistem nyata dan skenario alternatif pengelolaan sampah. Sistem dinamis bekerja dengan cara menjalankan nilai dari formulasi parameter dalam aliran suatu sistem. Dalam hal ini, sistem dinamis digunakan untuk membantu menentukan keputusan yang dapat berdampak untuk mencegah penuhnya kapasitas sampah pada TPSA Bagendung di tahun 2046. Penelitian ini dilakukan dengan analisis kuantitatif. Analisis secara kuantitatif dilakukan dengan melakukan formulasi terhadap model yang antar variabelnya yang memiliki hubungan sebab akibat. Analisis kuantitatif juga dilakukan dalam menganalisis sistem dengan mengukur serta membandingkan parameter yang digunakan dalam setiap skenario.

Keadaan aktual pengelolaan sampah di Kota Cilegon dimodelkan dengan menggunakan model konseptual *Causal Loop Diagram* (CLD) terlebih dahulu untuk melihat interaksi sebab akibat pada sistem. Selanjutnya model disimulasikan menggunakan *Stock Flow Diagram* (SFD) dengan menginput data pada variabel dalam sistem dan diformulasikan untuk dilihat perubahan nilainya seiring perubahan waktu. Selanjutnya hasil akhir simulasi model akan dibandingkan menggunakan *benefit-cost ratio* untuk menunjukkan perbandingan biaya yang dikeluarkan dengan manfaat yang akan didapat dari suatu kebijakan.

#### **3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian**

Lokasi penelitian ini meliputi wilayah di Kota Cilegon. Dimana aliran sampah dimulai dari hulu, sisi tengah, hingga di hilir yaitu TPSA Bagendung yang berlokasi di Kelurahan Bagendung, Kecamatan Cilegon, Kota Cilegon, Provinsi

Banten. Adapun waktu penelitian ini dilakukan selama enam bulan yaitu bulan Januari hingga Juni 2023.

### 3.3 Cara Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berjenis data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber seperti Bappeda Kota Cilegon, Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Cilegon, jurnal, buku, dan lain-lain. Penelitian ini menggunakan data sekunder sebagai berikut:

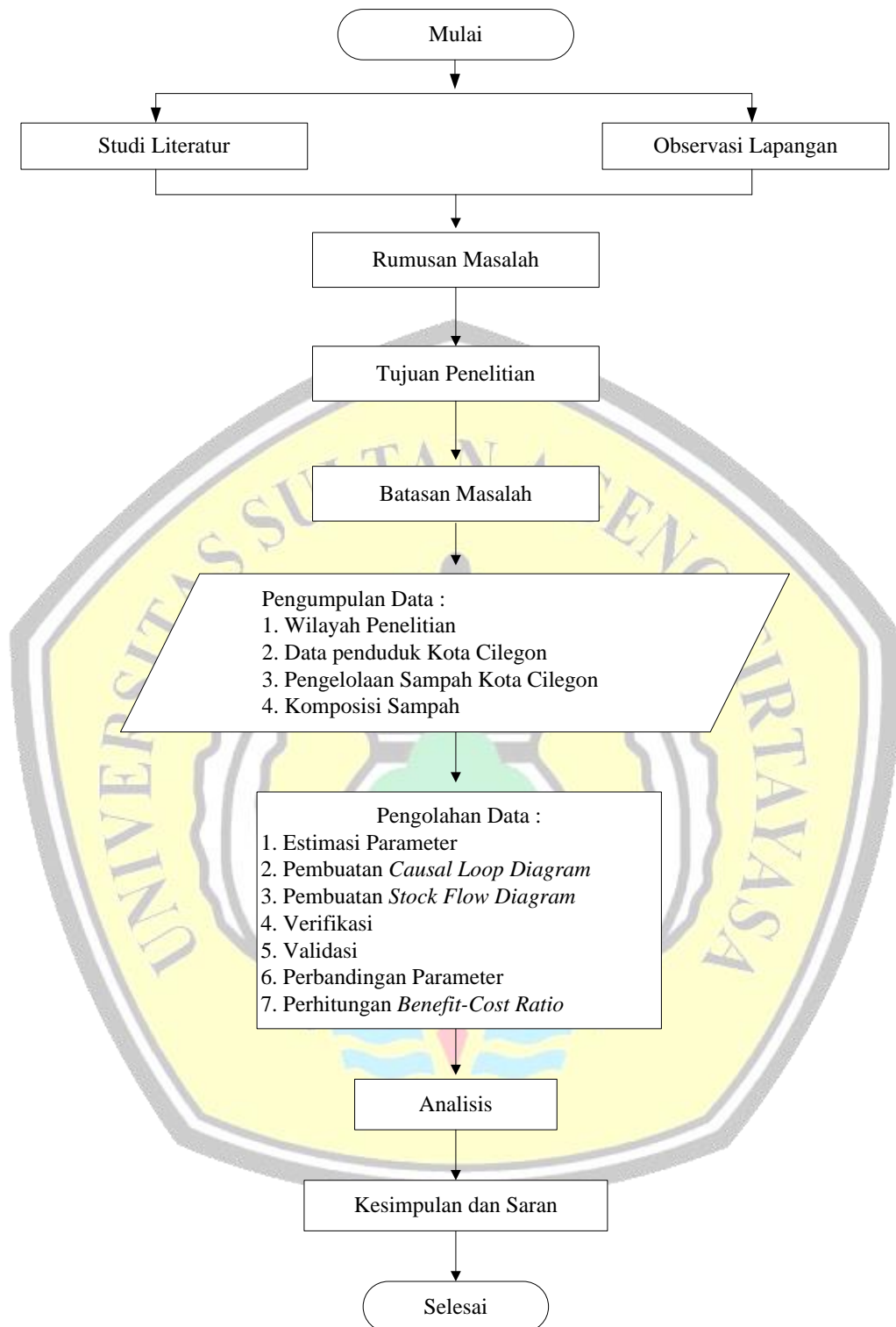
1. Data pertumbuhan penduduk dan jumlah penduduk Kota Cilegon yang menggambarkan perubahan jumlah penduduk dalam periode waktu tertentu.
2. Kondisi *existing* pengelolaan sampah Kota Cilegon, merupakan gambaran keadaan saat ini dari pengelolaan sampah Kota Cilegon.
3. Volume sampah dalam satu hari, yaitu jumlah sampah yang dihasilkan individu dalam suatu wilayah dalam satu hari.
4. Persentase komposisi sampah, yaitu persen kontribusi jenis sampah dari total sampah yang dihasilkan.
5. Kapasitas produksi pupuk kompos dan pencacahan plastik, yaitu kemampuan produksi pupuk kompos dan pencacahan plastik dalam satu hari.
6. Biaya operasional dan investasi dalam pengelolaan sampah.
7. Serta data lain yang digunakan dalam penelitian ini.

### 3.4 Alur Penelitian

Alur penelitian pada penelitian ini digambarkan dalam dua *flow chart*. *Flow chart* penelitian umum menggambarkan langkah-langkah proses penelitian dari tahap awal hingga tahap akhir. Sedangkan *flow chart* model sistem dinamis menggambarkan proses pembangunan dan pengembangan model. Berikut ini merupakan *flow chart* yang menggambarkan alur pada penelitian kali ini:

#### 3.4.1 Flow Chart Penelitian Umum

*Flow chart* Penelitian Umum pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 4 sebagai berikut:



**Gambar 4. Flow Chart Penelitian Umum**

### 3.4.2 Deskripsi *Flow Chart* Penelitian Umum

Berdasarkan Gambar 4 deskripsi dari *flow chart* penelitian umum pada penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

1. Mulai

Mulai merupakan tahapan awal dilakukannya penelitian.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari penelitian-penelitian sebelumnya untuk memperoleh pemahaman teori yang memiliki kaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Sumber berasal dari jurnal atau buku.

3. Observasi Lapangan

Observasi lapangan merupakan proses pengamatan yang dilakukan untuk mempelajari perilaku dan interaksi dari fenomena yang ada di lapangan.

4. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dibuat dengan merumuskan pertanyaan dari permasalahan yang akan diselesaikan. Rumusan masalah pada penelitian ini adalah skenario apa yang dapat mencegah penuhnya TPSA Bagendung tahun 2046, skenario apa yang paling banyak menyisakan kapasitas *landfill*, apa saja yang harus disiapkan Pemerintah Kota Cilegon untuk mencegah penuhnya TPSA.

5. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dibuat sebagai upaya menemukan solusi untuk mengatasi permasalahan yang ada. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui skenario apa yang dapat mencegah penuhnya TPSA Bagendung tahun 2046, mengetahui skenario yang paling banyak menyisakan kapasitas *landfill*, serta mengetahui apa saja yang harus disiapkan Pemerintah Kota Cilegon untuk mencegah penuhnya TPSA.

6. Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat sebagai batasan dalam penelitian untuk menghindari luasnya cakupan penelitian yang tidak dapat dikendalikan.

Selain itu batasan masalah dibuat agar penelitian dapat lebih fokus pada permasalahan yang ada.

#### 7. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dikumpulkan untuk menunjang pengolahan data lebih lanjut. Data yang dikumpulkan berupa data wilayah penelitian, data kependudukan Kota Cilegon, pengelolaan sampah Kota Cilegon, serta komposisi sampah.

#### 8. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan sistem dinamis dengan tahap awal menentukan estimasi parameter, kemudian membuat model konseptual menggunakan *Causal Loop Diagram* (CLD) dan membuat model simulasi aliran yang ditinjau dari variabel-variabel yang ada menggunakan *Stock Flow Diagram* (SFD). Setelah itu melakukan verifikasi dan validasi model. Kemudian melakukan perbandingan menggunakan *Benefit-Cost Ratio* untuk mempertimbangkan pemilihan kebijakan dari skenario yang dibuat.

#### 9. Analisis

Analisis berisikan pembahasan dengan menguraikan dan mendeskripsikan hasil dari pengolahan data untuk memperoleh pengertian yang tepat dan pemahaman terkait persoalan secara keseluruhan.

#### 10. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan didapat dengan menjawab tujuan dari penelitian yang dilakukan dengan menyimpulkan hasil analisa pengolahan data. Saran diberikan penelitian selanjutnya untuk memberikan usulan terkait penyelesaian permasalahan yang ada.

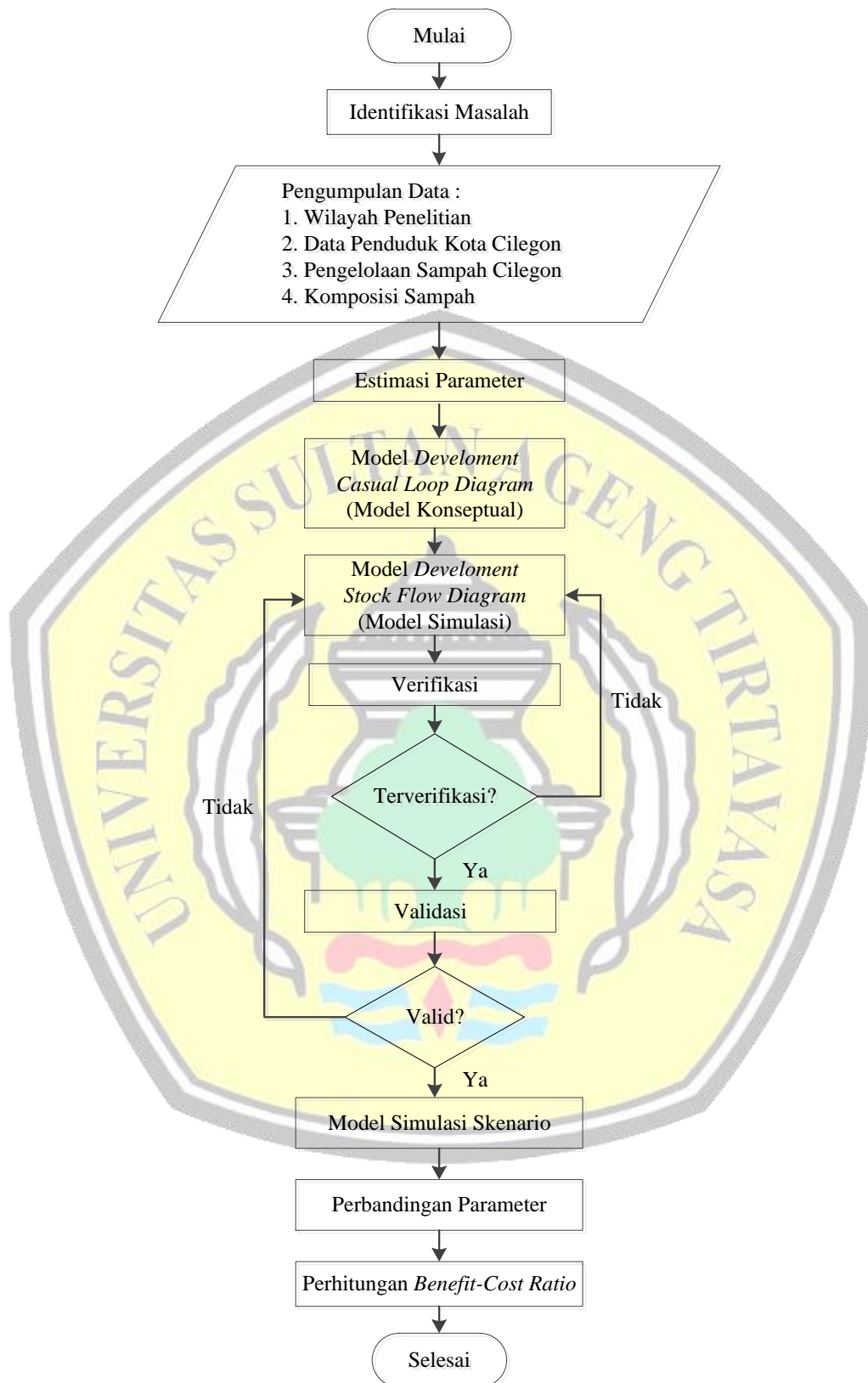
#### 11. Selesai

Selesai merupakan berakhirnya proses dan tahapan penelitian ini.

### 3.4.3 *Flow Chart* Model Sistem Dinamis

*Flow chart* model sistem dinamis pada penelitian ini digambarkan pada Gambar 5 di bawah ini:





**Gambar 5. Flow Chart Model Sistem Dinamis**

### 3.4.4 Deskripsi *Flow Chart* Model Sistem Dinamis

Berikut ini merupakan deskripsi *flow chart* model sistem dinamis pada penelitian ini, adalah sebagai berikut:

1. Mulai

Mulai merupakan langkah awal dimulainya pemodelan sistem dinamis.

2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan sebagai upaya menjelaskan masalah yang terjadi, sehingga permasalahan yang ada dapat didefinisikan dengan baik.

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan informasi dan fakta dari permasalahan yang ada di lapangan. Data yang dikumpulkan antara lain data penduduk Kota Cilegon, jumlah sampah per hari, peta wilayah Kota Cilegon, serta data komposisi sampah.

4. Estimasi Parameter

Estimasi parameter digunakan untuk mengetahui perkiraan biaya dan parameter lainnya yang dibutuhkan untuk menjalankan pengelolaan sampah di Kota Cilegon.

5. *Causal Loop Diagram* (Model Konseptual)

*Causal Loop Diagram* (CLD) digunakan untuk menggambarkan hubungan sebab akibat dengan menunjukkan sifat *reinforcing* (menguatkan) atau *balancing* (menyeimbangkan) pada siklus atau putaran umpan balik.

6. *Stock Flow Diagram* (Model Simulasi)

*Stock Flow Diagram* (SFD) merupakan diagram alir yang memformulasikan model. Variabel pada model akan diformulasikan dan nilainya berubah sering dengan berubahnya waktu.

7. Verifikasi Model

Verifikasi model merupakan proses yang menentukan bahwa model yang dijalankan mewakili sistem nyata secara tepat dan akurat.

#### 8. Validasi Model

Validasi model merupakan proses pengambilan keputusan dengan membandingkan apakah model simulasi sudah sesuai dengan sistem nyata.

#### 9. Model Simulasi Skenario

Model simulasi skenario dilakukan untuk mendapatkan usulan skenario agar masalah dapat diselesaikan dengan usulan yang dibuat. Skenario dibuat dengan pertimbangan yang relevan.

#### 10. Perbandingan Parameter

Perbandingan parameter dilakukan untuk memahami perbedaan, kesamaan, atau hubungan dua atau lebih parameter yang digunakan dalam simulasi.

#### 11. Perhitungan *Benefit-Cost Ratio*

Perhitungan *benefit-cost ratio* dilakukan untuk membandingkan nilai manfaat yang diharapkan dengan biaya-biaya yang akan dikeluarkan.

#### 12. Selesai

Selesai merupakan proses berakhirnya pemodelan sistem dinamis ini dilakukan.

### 3.5 Analisis Data

Analisis Data dilakukan dengan pengumpulan data terlebih dahulu. Data diinput ke dalam bentuk model untuk disimulasikan. Sebelum melakukan formulasi model, terlebih dahulu variabel pada sistem digambarkan hubungannya dalam bentuk model konseptual *Causal Loop Diagram* (CLD). Kemudian model diformulasikan dalam *Stock Flow Diagram* (SFD). Apabila model telah terverifikasi dan telah valid, model simulasi skenario dapat dibuat. Kemudian dilakukan perbandingan parameter simulasi untuk mengetahui skenario apa yang dapat mencegah penuhnya TPSA Bagendung tahun 2046. Setelah itu menentukan skenario terbaik menggunakan *benefit-cost ratio* (biaya yang dikeluarkan dibandingkan dengan manfaatnya). Setelah pengolahan data selesai dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data. Langkah selanjutnya adalah penarikan kesimpulan dengan menjawab tujuan dari penelitian di awal.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN

#### 4.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan proses menghimpun data dan informasi yang relevan yang berkaitan dengan penelitian. Pengumpulan data dilakukan untuk menghimpun data-data yang berguna untuk proses pengolahan data. Selain itu pengumpulan data juga berguna sebagai bahan dijadikannya dasar kajian.

##### 4.1.1 Wilayah Penelitian

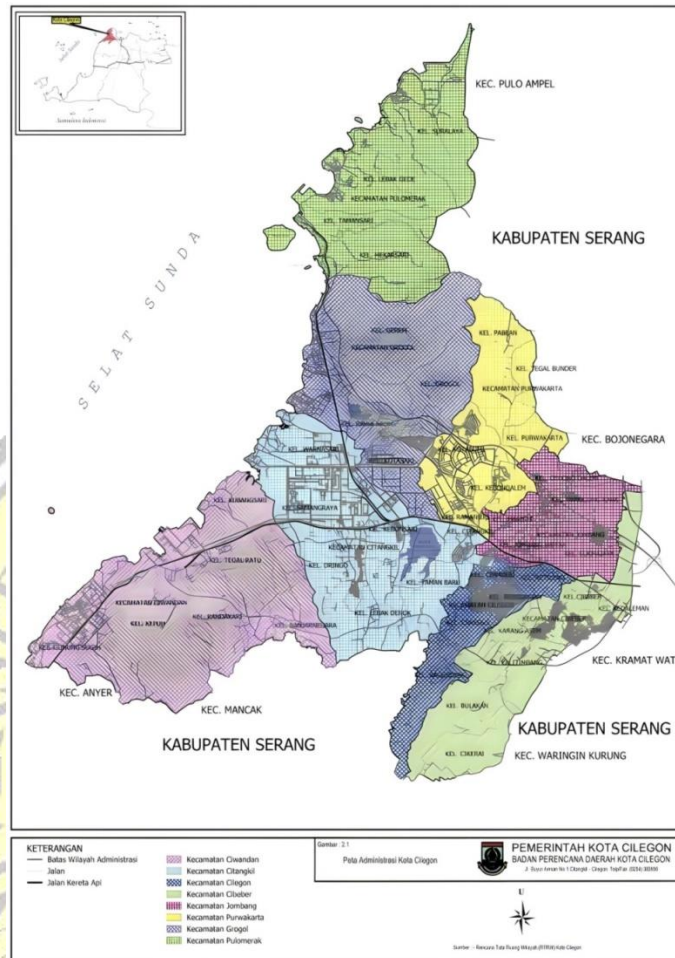
Wilayah penelitian dilakukan pada Kota Cilegon, Provinsi Banten. Secara astronomis Kota Cilegon terletak pada koordinat  $5^{\circ}52'24''$  -  $6^{\circ}04'07''$  Lintang Selatan (LS),  $105^{\circ}54'05''$  -  $106^{\circ}05'11''$  Bujur Timur (BT). Peraturan Daerah Kota Cilegon No. 1 Tahun 2020 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Cilegon Tahun 2020 – 2040 menyebutkan luas wilayah Kota Cilegon sebesar 16.259 ha dan terbagi kedalam delapan (8) kecamatan serta 43 kelurahan. Tabel 2 berisikan data kecamatan, kelurahan, serta luas wilayah pada Kota Cilegon.

**Tabel 2. Luas Daerah Berdasarkan Kecamatan di Kota Cilegon**

No	Kecamatan	Kelurahan	Luas (km <sup>2</sup> )
1	Ciwandan	Banjar Negara, Gunungsugih, Kepuh, Kubangsari, Randakari, Tegalratu	34,2
2	Citangkil	Citangkil, Deringo, Kebonsari, Lebakdenok, Samangraya, Tamanbaru, Warnasari	25,86
3	Pulomerak	Lebak Gede, Mekarsari, Suralaya, Tamansari	25,83
4	Purwakarta	Kebondalem, Kotabbumi, Pabean, Purwakarta, Ramanuju, Tegal Bunder	16,61
5	Grogol	Gerem, Gerogol, Kotasari, Rawa Arum	23,7
6	Cilegon	Bagendung, Bendungan, Ciwaduk, Ciwedus, Ketileng	8,14
7	Jombang	Gedong Dalem, Jombang Wetan, Masigit, Panggung Rawi, Sukmajaya	10,31
8	Cibeber	Bulakan, Cibeber, Cikerai, Kalitimbang, Karangasem, Kedaleman	18,79
<b>Total</b>	<b>8 Kecamatan</b>	<b>43 Kelurahan</b>	<b>163,44</b>

Sumber: (BPS Kota Cilegon, Kota Cilegon Dalam Angka, 2023)

Adapun Gambar 6 merupakan gambaran peta wilayah Kota Cilegon beserta dengan batas-batas wilayah Kota Cilegon.



**Gambar 6. Peta Wilayah Kota Cilegon**

Secara geografis, letak Kota Cilegon berada di ujung Pulau Jawa yang merupakan pintu gerbang utama yang menghubungkan Pulau Jawa dan Pulau Sumatra. Adapun batas-batas wilayah Kota Cilegon adalah sebagai berikut:

- Utara: berbatasan dengan Kecamatan Pulo Ampel dan Kecamatan Bojonegara (Kabupaten Serang).
- Selatan: berbatasan dengan Kecamatan Mancak dan Kecamatan Anyer (Kabupaten Serang).
- Barat: berbatasan dengan Selat Sunda.
- Timur: berbatasan dengan Kecamatan Waringin Kurung dan Kecamatan Kramat Watu (Kabupaten Serang).

#### 4.1.2 Data Kependudukan Kota Cilegon

Jumlah penduduk suatu wilayah berubah setiap waktu disebabkan adanya tingkat kelahiran, kematian, migrasi dan lain-lain. Salah satu sumber data kependudukan adalah melalui sensus penduduk yang dilaksanakan setiap sepuluh tahun sekali. Sehingga pada tahun yang tidak dilaksanakannya sensus penduduk, data kependudukan diperoleh dari hasil proyeksi penduduk. Tabel 3 menunjukkan data jumlah penduduk Kota Cilegon tahun 2011-2020.

**Tabel 3. Jumlah Penduduk Kota Cilegon 2011-2020**

Tahun	Jumlah Penduduk	Satuan
2011	385720	Jiwa
2012	392341	Jiwa
2013	398304	Jiwa
2014	405303	Jiwa
2015	412106	Jiwa
2016	418705	Jiwa
2017	425103	Jiwa
2018	431305	Jiwa
2019	437205	Jiwa
2020	434896	Jiwa

Sumber: (BPS Kota Cilegon, Kota Cilegon Dalam Angka, 2023)

Berdasarkan data pada Tabel 3 dapat diketahui laju pertumbuhan penduduk menunjukkan persentase penambahan penduduk dalam jangka waktu tertentu. Dapat diketahui laju pertumbuhan penduduk pada tiga tahun terakhir yaitu tahun 2020 adalah 1,49%. Penelitian ini menggunakan *input* laju pertumbuhan penduduk perhari tahun 2020 yaitu 0,00408219% per hari.

#### 4.1.3 Pengelolaan Sampah Kota Cilegon

Dalam mengelola sampah, masyarakat Kota Cilegon masih menerapkan sistem “kumpul-angkut-buang” sampah dari sumber ke TPSA. Sumber sampah berasal dari aktivitas masyarakat mulai dari pemukiman, sekolah, rumah sakit, pasar dan lain-lain. Sebagian sampah dari sumber dikelola masyarakat secara mandiri dan sebagian lainnya ditangani oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Cilegon untuk diangkut menuju ke Tempat Penampungan Sementara (TPS). Setelah sampah di TPS penuh, selanjutnya secara berkala sampah akan diangkut ke Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPSA) Bagendung. Sampah yang masuk ke TPSA akan ditangani secara *open dumping* atau sistem pembuangan terbuka. Informasi terkait pengelolaan sampah Kota Cilegon dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Data Pengelolaan Sampah Kota Cilegon**

<b>Parameter</b>	<b>Kondisi saat ini</b>	<b>Unit</b>	<b>Referensi</b>
Faktor penyusutan alami	3	%	(Manurung, Bintoro, Hadi, & Lubis, 2016)
Investasi kendaraan kecil	2	unit/tahun	DLH Kota Cilegon (2022)
Jumlah alat berat	2	unit	DLH Kota Cilegon (2022)
Jumlah kend. besar	41	unit	DLH Kota Cilegon (2022)
Jumlah kend. kecil	64	unit	DLH Kota Cilegon (2022)
Jumlah kontainer	68	unit	DLH Kota Cilegon (2022)
Jumlah penduduk	434.896	orang	(BPS Kota Cilegon, Kota Cilegon Dalam Angka, 2023)
Kapasitas alat berat	173.808	kg/unit/hari	<a href="https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/3093642?lang=id&amp;type=general">https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/3093642?lang=id&amp;type=general</a>
Kapasitas Kontainer	1200	kg/unit	<a href="https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/50961282?lang=id&amp;type=general">https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/50961282?lang=id&amp;type=general</a>
Kapasitas kendaraan besar	2.100	kg/unit	<a href="https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/60728237?lang=id&amp;type=regency">https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/60728237?lang=id&amp;type=regency</a>
Kapasitas kendaraan kecil	800	kg/unit	<a href="https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/44367234?lang=id&amp;type=regency">https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/44367234?lang=id&amp;type=regency</a>
Kapasitas Produksi Pupuk	1.400	kg/hari	<a href="https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/61662632?lang=id&amp;type=regency">https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/61662632?lang=id&amp;type=regency</a>
Kapasitas Pencacahan Plastik	2.100	kg/hari	<a href="https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/57934135?lang=id&amp;type=general">https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/57934135?lang=id&amp;type=general</a>
Kapasitas Produksi BBJP	230.000	kg/hari	DLH Kota Cilegon (2022)
Laju bank sampah	3.470	kg/hari	DLH Kota Cilegon (2022)
Laju TPS3R	1.159	kg	DLH Kota Cilegon (2022)
Laju Transporter	75.300	kg/hari	DLH Kota Cilegon (2022)
Laju Pertumbuhan Penduduk	0,004082	%/hari	(BPS Kota Cilegon, Kota Cilegon Dalam Angka, 2023)
Landfill	7.647.684	ton	DLH Kota Cilegon (2022)
Persen kenaikan transporter	0,00408	%	DLH Kota Cilegon (2022)
Ritasi kend. besar	2,5	rit/hari	DLH Kota Cilegon (2022)
Ritasi kend. kecil	3,75	rit/hari	DLH Kota Cilegon (2022)
Sampah tidak tertangani	5.000	kg	DLH Kota Cilegon (2022)
Timbunan sampah di sumber	5.000	kg	DLH Kota Cilegon (2022)
Volume sampah per orang	0,68	kg/orang/hari	(Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018)

Adapun informasi terkait fasilitas pengelolaan sampah di Kota Cilegon adalah sebagai berikut:

A. Tempat Penampungan Sementara (TPS)

Sampah yang diangkut dari sumber akan ditampung sementara di tempat yang telah disiapkan oleh Unit Pelaksana Teknis (UPT) Pengelolaan Sampah berupa TPS kontainer dan TPS wadah permanen. TPS kontainer berupa wadah penampung terbuat dari besi yang letaknya dapat dipindah-pindahkan dan sistem pengangkutannya dapat dilakukan secara cepat karena wadah sampah dapat langsung dipindahkan ke armada angkut. Sedangkan TPS wadah permanen berupa tempat penampungan yang terbuat dari dinding semen dan letaknya permanen tidak bisa dipindah-pindahkan. Adapun data TPS Kota Cilegon dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5. Data Tempat Penampungan Sementara (TPS) Kota Cilegon**

Infrastruktur	UPT Wilayah I Cibeer & Cilegon			UPT Wilayah II Citangkil & Ciwandan		
	Jumlah	Kapasitas (m <sup>3</sup> )	Total Kapasitas	Jumlah	Kapasitas (m <sup>3</sup> )	Total Kapasitas (m <sup>3</sup> )
TPS Biasa			0	2	14	28
Kontainer 1	3	6	18	19	6	114
Kontainer 2	7	8	56			0
Kontainer 3	1	8	8			0
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>22</b>	<b>82</b>	<b>21</b>	<b>20</b>	<b>142</b>
Infrastruktur	UPT Wilayah III Pulomerak & Grogol			UPT Wilayah IV Purwakarta & Jombang		
	Jumlah	Kapasitas (m <sup>3</sup> )	Total Kapasitas	Jumlah	Kapasitas (m <sup>3</sup> )	Total Kapasitas (m <sup>3</sup> )
TPS Biasa	5	14	70			0
Kontainer 1	15	6	90	27	6	162
Kontainer 2			0		8	0
Kontainer 3			0		8	0
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>160</b>	<b>27</b>	<b>22</b>	<b>162</b>

Berdasarkan Tabel 5 terdapat empat jenis fasilitas TPS dengan kapasitas yang berbeda-beda. Jumlah TPS biasa adalah 7 buah dengan total kapasitas 98 m<sup>3</sup>. Jumlah kontainer 1 adalah 64 buah dan total kapasitasnya adalah 384 m<sup>3</sup>. Jumlah kontainer 2 adalah 7 buah dengan total kapasitasnya adalah 56 m<sup>3</sup>. Adapun jumlah kontainer 3 adalah 1 buah dan total kapasitasnya adalah 8 m<sup>3</sup>.



### B. Tempat Pengolahan Sampah - *Reduce, Reuse, Recycle* (TPS3R)

TPS3R merupakan fasilitas yang dikelola oleh DLH untuk melakukan pengelolaan sampah dengan menerapkan konsep *reduce* (mengurangi), *reuse* (menggunakan kembali), dan *recycle* (melakukan daur ulang). Kota Cilegon hanya memiliki empat fasilitas TPS3R. Namun terdapat satu TPS3R yang pengelolaan sampahnya tidak dilakukan oleh DLH tetapi gaji pengepul sampah diberikan oleh pihak kelurahan yaitu TPS3R Samang Raya. Data terkait TPS3R dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Data Fasilitas TPS3R Kota Cilegon**

Nama TPS3R	Rincian Jenis Sampah	Sampah Terkelola (ton/tahun)	Alamat
TPS3R Keserangan	Bahan baku kompos	404,42	Link. Cidangdang RT.01/RW.03, Grogol
	Bahan baku daur ulang	270,1	
TPS3R Serdag	Bahan baku daur ulang	674,52	Purwakarta, Purwakarta

Sumber: (Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional, 2023)

Berdasarkan Tabel 6, pada tahun 2022, Kota Cilegon memiliki dua fasilitas TPS3R yaitu TPS3R Keserangan dan TPS3R Serdag. Jenis pengelolaan sampah yang dilakukan pada TPS3R Keserangan adalah pengolahan pupuk kompos (dengan sampah terkelola sebanyak 404,42 ton/tahun) dan daur ulang (dengan sampah terkelola sebanyak 270,1 ton/tahun). Adapun pada TPS3R Serdag pengelolaan sampah yang dilakukan adalah daur ulang (dengan sampah terkelola sebanyak 674,52 ton/tahun). Pada tahun 2023, Kota Cilegon memiliki empat fasilitas TPS3R yaitu TPS3R BCK Mandiri, TPS3R KSM Keserangan Sejahtera, TPS3R Sehati Maju Bersama, dan TPS3R Samang Raya. Namun saat ini hanya ada satu TPS3R yang aktif melakukan pengelolaan sampah, yaitu TPS3R Samang Raya (Kecamatan Citangkil). TPS3R Samang Raya melayani 17 RT dari target 26 RT. Sampah yang dikumpulkan berupa sampah kardus, sampah botol, dan besi.

### C. Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPSA) Bagendung

TPSA merupakan lokasi terakhir dimana sampah yang dihasilkan oleh masyarakat (di sumber) akan dibuang. Status lahan TPSA Bagendung

adalah milik Pemerintah Kota Cilegon (Pemkot Cilegon). Terdapat beberapa upaya pengelolaan sampah yang dilakukan pada TPSA Bagendung, seperti pemilihan sampah anorganik oleh pemulung, pengomposan dan *recovery* gas metana. Jumlah pemulung yang melakukan pemilihan sampah di TPSA Bagendung adalah 56 orang dan sampah yang berhasil dipilah dalam sehari adalah sekitar 336 kg/hari (6 kg/orang/hari). Jenis sampah yang dipilah biasanya sampah berupa botol plastik, plastik kresek, kardus dan besi. Adapun upaya pengomposan di TPSA Bagendung dilakukan menggunakan sampah organik dan jumlahnya tidak terukur karena tidak dilakukan penimbangan, hanya dilakukan seadanya saja. Selain itu terdapat upaya *recovery* gas metana (sudah ada sejak tahun 2015), awalnya terdapat 50 rumah menikmati hasil gas metana dari TPSA Bagendung, namun sejak tahun 2022 penyaluran gas metana ke masyarakat berhenti karena terdapat pipa-pipa yang dicuri oleh pihak yang tidak bertanggung jawab. Masa berlaku TPSA Bagendung adalah 10 tahun, dimana sudah dimulai dari tahun 2015 dan akan berakhir ditahun 2025. Data umum terkait TPSA Bagendung dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7. Data Umum TPSA Bagendung**

<b>Uraian</b>	<b>Keterangan</b>
Luas TPSA	10 Ha
Daya Tampung	>10.000.000 ton
Status Lahan	Milik Pemkot Cilegon
Mulai Pengoperasian	1990
Kapasitas Lahan	Hingga tahun 2025
Jarak TPSA ke Pusat Kota	10 km
Sistem TPSA	<i>Controlled Landfill</i>
Bangunan Penunjang	
A. Penampungan air lindi	1 unit
B. Garasi alat berat	72 m <sup>2</sup>
C. Kantor TPSA/pos jaga	60 m <sup>2</sup>
D. Gudang	24 m <sup>2</sup>
E. Toilet	18 m <sup>2</sup>

Berdasarkan Tabel 7 TPSA Bagendung memiliki luas 10 Ha dan dapat menampung maksimal sampah sebanyak 10.000.000 ton sampah. Status lahan TPSA Bagendung adalah milik Pemerintah Kota Cilegon. TPSA mulai dioperasikan sejak tahun 1990 dan masa berlaku kapasitas

lahannya adalah hingga tahun 2025. Jarak TPSA Bagendung ke Pusat Kota adalah sekitar 10 km. Sistem penampungan sampah pada TPSA Bagendung adalah *controlled landfill*. Adapun fasilitas penunjang yang ada di TPSA Bagendung adalah adanya penampungan air lindi, garasi alat berat, kantor TPSA Bagendung, gudang, dan toilet.

#### 4.1.4 Komposisi Sampah

Berdasarkan (Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional, 2023) komposisi sampah yang dihasilkan masyarakat Kota Cilegon adalah:

**Tabel 8. Komposisi Sampah**

No	Komposisi Sampah	Persentase Komposisi Sampah
1	Sisa Makanan	45,45%
2	Kayu/Ranting	19,32%
3	Kertas/Karton	11,36%
4	Plastik	18,18%
5	Logam	4,55%
6	Kaca	1,14%

Sumber: (Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional, 2023)

Tabel 8 menunjukkan persentase komposisi sampah yang dihasilkan masyarakat. Kontribusi sampah yang paling banyak dihasilkan oleh masyarakat adalah sampah organik (sisa makanan dan kayu atau ranting) yaitu 64,77% dari total keseluruhan sampah. Adapun sampah plastik masuk kedalam jenis sampah anorganik dan berkontribusi sebesar 18,18% dari total keseluruhan sampah yang dihasilkan masyarakat. Selain itu terdapat 11,36% persen kontribusi sampah kertas atau karton dan 5,69% sampah lain seperti logam dan kaca.

## 4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan membangun model yang merepresentasikan gambaran sistem nyata dengan pendekatan sistem dinamis. Proses pengolahan data dilakukan dengan tahap pembuatan model konseptual menggunakan *Causal Loop Diagram* (CLD), formulasi model menggunakan *Stock Flow Diagram* (SFD), verifikasi, dan validasi model.

### 4.2.1 Estimasi Parameter

Dalam menjalankan simulasi, dibutuhkan estimasi parameter yang digunakan untuk menjalankan operasional maupun investasi pada sarana dan prasarana yang menunjang pengelolaan sampah. Referensi acuan biaya yang

digunakan dalam estimasi biaya terdapat pada Tabel 4. Estimasi biaya yang digunakan dalam menjalankan model antara lain:

#### A. Estimasi Biaya TPS3R

**Tabel 9. Estimasi Biaya TPS3R**

No	Keterangan	Jumlah	Harga	Total
<b>A. Investasi</b>				
1	Mesin Pencacah	1	Rp. 37.000.000,00	Rp. 37.000.000
2	<i>Composting</i>	1	Rp. 16.718.000,00	Rp. 16.718.000,00
3	Konstruksi	1	Rp. 1.000.000.000,00	Rp. 1.000.000.000,00
4	Lahan	600	Rp. 1.000.000 ,00	Rp. 600.000.000,00
<b>Total</b>				<b>Rp. 1.653.718.000,00</b>
<b>B. Operasional (perbulan)</b>				
1	Operator Alat (1 shift)	5	Rp. 4.230.000,00	Rp. 21.150.000,00
2	Listrik	1	Rp. 1.500.000,00	Rp. 1.500.000,00
3	Air	1	Rp. 500.000,00	Rp. 500.000,00
4	Pemeliharaan & <i>Overhead</i>	1	Rp. 895.300,00	Rp. 895.300,00
5	Habis Pakai	605,33	Rp. 3.000,00	Rp. 1.816.008,00
<b>Total</b>				<b>Rp. 25.861.308,00</b>
<b>Total Operasional per Tahun</b>				<b>Rp. 310.335.696,00</b>

Tabel 9 menunjukkan kebutuhan investasi TPS3R meliputi pengadaan mesin pencacah plastik, mesin pencacah organik (kompos), konstruksi, dan lahan. Total biaya investasi untuk membangun TPS3R adalah Rp. 1.653.718.000,00. Sedangkan operasional TPS3R meliputi upah operator, listrik, air, pemeliharaan, serta barang habis pakai. Total biaya untuk menjalankan operasional selama satu tahun adalah Rp. 310.335.696,00.

**Tabel 10. Estimasi Biaya Investasi TPS3R Pengolahan Pupuk**

No	Keterangan	Jumlah	Harga	Total
<b>Investasi</b>				
1	<i>Composting</i>	1	Rp. 16.718.000,00	Rp. 16.718.000,00
2	Konstruksi	1	Rp. 1.000.000.000,00	Rp. 1.000.000.000,00
3	Lahan	600	Rp. 1.000.000 ,00	Rp. 600.000.000,00
<b>Total</b>				<b>Rp. 1.616.718.000,00</b>

Tabel 10 merupakan kebutuhan investasi TPS3R produksi pupuk. Kebutuhan investasinya berupa pengadaan mesin *composting*, konstruksi, dan lahan. Total biaya investasi TPS3R produksi pupuk kompos adalah Rp. 1.616.718.000,00.

**Tabel 11. Estimasi Biaya Investasi TPS3R Pencacahan Plastik**

No	Keterangan	Jumlah	Harga	Total
<b>Investasi</b>				
1	Mesin Pencacah	1	Rp. 37.000.000,00	Rp. 37.000.000
2	Konstruksi	1	Rp. 1.000.000.000,00	Rp. 1.000.000.000,00
3	Lahan	600	Rp. 1.000.000 ,00	Rp. 600.000.000,00
<b>Total</b>				<b>Rp. 1.637.000.000,00</b>

Tabel 11 merupakan daftar kebutuhan investasi pada TPS3R produksi plastik cacah. Kebutuhan investasinya berupa pengadaan mesin pencacah plastik, konstruksi, dan lahan. Total biaya investasi TPS3R produksi plastik cacah adalah Rp. 1.637.000.000,00.

#### B. Estimasi Biaya TPS

**Tabel 12. Estimasi Biaya TPS**

No	Keterangan	Jumlah	Harga
<b>A. Investasi</b>			
1	Kontainer	1	Rp. 63.400.000,00
<b>Total</b>			<b>Rp. 63.400.000,00</b>
<b>B. Operasional</b>			
1	Perawatan	1	Rp. 4.211.735,00
<b>Total per tahun</b>			<b>Rp. 4.211.735,00</b>
<b>Total per hari</b>			<b>Rp. 11.539,00</b>

Tabel 12 menunjukkan estimasi biaya untuk keperluan investasi dan operasional TPS. Kebutuhan biaya investasi TPS digunakan untuk pengadaan unit kontainer dengan biaya sebesar Rp. 63.400.000,00. Adapun kebutuhan biaya operasional digunakan untuk biaya perawatan TPS nilainya sebesar Rp. 4.211.735,00 per tahun.

#### C. Estimasi Biaya Kendaraan Kecil

**Tabel 13. Estimasi Biaya Kendaraan Kecil**

No	Keterangan	Jumlah	Harga Satuan	Total
<b>A. Investasi</b>				
1	Cator	1	Rp. 93.000.000,00	Rp. 93.000.000,00
<b>Total</b>				<b>Rp. 93.000.000,00</b>
<b>B. Operasional (perbulan)</b>				
1	Upah Operator	2	Rp. 4.230.000,00	Rp. 8.460.000,00
2	Biaya Bahan Bakar	1	Rp. 66.000,00	Rp. 66.000,00
3	Perpanjangan Pajak Kendaraan	1	Rp. 38.333,00	Rp. 38.333,00
4	Biaya APD	2	Rp. 29.167,00	Rp. 58.333,00
<b>Total</b>				<b>Rp. 8.622.666,67</b>
<b>Total per hari</b>				<b>Rp. 287.422,22</b>

Berdasarkan Tabel 13 kebutuhan biaya investasi kendaraan kecil adalah Rp. 93.000.000,00 per unit. Sedangkan kebutuhan biaya operasional meliputi upah operator, biaya bahan bakar, biaya perpanjangan pajak kendaraan, dan biaya alat pelindung diri operator. Biaya operasional yang dibutuhkan perhari adalah Rp. 287.422,22.

## D. Estimasi Biaya Kendaraan Besar

**Tabel 14. Estimasi Biaya Kendaraan Besar**

No	Keterangan	Jumlah	Harga Satuan	Total
<b>A. Investasi</b>				
1	Dump truck	1	Rp.592.680.000,00	Rp. 592.680.000,00
<b>Total</b>				<b>Rp. 592.680.000,00</b>
<b>B. Operasional (perbulan)</b>				
1	Upah Operator	5	Rp. 4.230.000,00	Rp. 21.150.000,00
2	Biaya Bahan Bakar	1	Rp. 3.506.250,00	Rp. 3.506.250,00
3	Biaya Perpanjangan Pajak Kendaraan	1	Rp. 416.666,00	Rp. 416.666,00
4	Biaya APD	5	Rp. 29.166,00	Rp. 145.833,00
<b>Total</b>				<b>Rp. 25.218.750,00</b>
<b>Total per hari</b>				<b>Rp. 829.109,00</b>

Berdasarkan Tabel 14 kebutuhan biaya investasi kendaraan besar adalah Rp. 592.680.000,00 per unit. Adapun kebutuhan biaya operasional meliputi upah operator, biaya bahan bakar, biaya perpanjangan pajak kendaraan, dan biaya alat pelindung diri operator. Biaya operasional yang dibutuhkan per hari adalah Rp. 829.109,00.

## E. Estimasi Biaya Alat Berat

**Tabel 15. Estimasi Biaya Alat Berat**

No	Keterangan	Jumlah	Harga Satuan	Total
<b>A. Investasi</b>				
1	Alat Berat	1	Rp. 1.309.000.000,00	Rp. 1.309.000.000,00
<b>Total</b>				<b>Rp. 1.309.000.000,00</b>
<b>B. Operasional (perbulan)</b>				
1	Upah Operator	2	Rp. 4.230.000,00	Rp. 8.460.000,00
2	Biaya Bahan Bakar	1	Rp. 1.904.000,00	Rp. 1.904.000,00
3	Biaya Perpanjangan Pajak Kendaraan	1	Rp. 416.666,00	Rp. 416.666,67
4	Biaya APD	2	Rp. 29.166,00	Rp. 58.333,33
<b>Total</b>				<b>Rp. 10.839.000,00</b>
<b>Total per hari</b>				<b>Rp. 356.350,68</b>

Tabel 15 menunjukkan estimasi biaya pengadaan alat berat pada TPSA Bagendung. Kebutuhan biaya investasi alat berat adalah Rp. 1.309.000.000,00 per unit. Sedangkan total biaya operasional yang dikeluarkan dalam sehari adalah Rp. 356.350,68.

#### 4.2.2 Model Existing Pengelolaan Sampah Kota Cilegon

Model *existing* merupakan representasi kondisi aktual dari pengelolaan sampah yang diterapkan di Kota Cilegon sebagai area penelitian. Besarnya

timbunan sampah di sumber dipengaruhi oleh persen laju pertumbuhan penduduk tahun 2020 yaitu 1,49% dan jumlah penduduknya yaitu 434.896 jiwa. Pengangkutan sampah dilakukan dari sumber sampah (hulu), kemudian TPS atau TPS3R (tengah), lalu berakhir di TPSA Bagendung (hilir). Kendaraan angkut yang digunakan untuk mengangkut sampah dari sumber ke TPS atau TPS3R adalah kendaraan angkut kecil berupa cator atau *pickup*. Sedangkan Kendaraan angkut sampah yang digunakan untuk mengangkut sampah dari TPS atau TPS3R ke TPSA Bagendung adalah kendaraan angkut besar berupa *dump truck* atau *arm roll*. Adapun alat berat yang digunakan untuk membongkar sampah di TPSA adalah *excavator*, *dozer*, dan *front loader*.

Dalam membangun model pengelolaan sampah Kota Cilegon, digunakan asumsi yang diperoleh berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian-penelitian terdahulu yang disesuaikan dengan kondisi terkini pengelolaan sampah di Kota Cilegon. Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Bank sampah berkontribusi mengelola sampah sebesar 3.470 kg/hari. Selama jalannya periode simulasi diasumsikan nilai kontribusi bank sampah tetap tidak berubah.
2. Nilai laju sampah pihak lain merupakan hasil selisih antara volume timbunan sampah di sumber dengan volume bank sampah, volume sampah diangkut ke TPS, dan volume sampah diangkut ke TPS3R.
3. Jumlah sampah yang dikelola TPS3R sebesar 1.159 kg/hari dengan kenaikan kapasitasnya yaitu sebesar 1,49% sama dengan kenaikan jumlah penduduk Kota Cilegon per tahun.
4. Seluruh sampah yang berasal dari sumber akan diangkut ke TPS sebelum diangkut ke TPSA. Kapasitas tamping dianggap sama untuk seluruh TPS yaitu 1.200 kg.
5. Timbunan sampah di TPS merupakan hasil pengumpulan sampah dari sumber menggunakan kendaraan kecil yang ditangani oleh Dinas Lingkungan Hidup.

6. Sampah masuk ke TPSA berasal dari TPS, TPS3R, dan transporter dari industri, rumah, serta perkantoran. Sampah industri dengan jenis sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) tidak dikirim ke TPSA.
7. Penambahan jumlah kendaraan kecil adalah sebanyak 2 unit per tahun.
8. Penambahan jumlah kendaraan besar didasari pada kebutuhan yang ada di TPS per hari dibagi kapasitas kendaraan besar (2.100 kg/unit) dibagi jumlah ritasi kendaraan besar (2,5 ritasi/hari).
9. Penambahan jumlah alat berat adalah 1 unit per 10 tahun.
10. Berdasarkan Amdal 2015, luas kawasan TPSA Bagendung adalah  $\geq 10$  Ha dengan kapasitas total adalah  $\geq 10.000.000$  ton. Saat ini perkiraan volume sampah yang tertimbun di TPSA adalah 7.647.684 ton.
11. Penyusutan alami lahan *landfill* adalah 3% per tahun (Manurung, Bintoro, Hadi, & Lubis, 2016).
12. Elemen biaya yang diperhitungkan dalam biaya operasional berupa upah operator, biaya bahan bakar, perpanjangan pajak, serta alat pelindung diri yang digunakan oleh operator. Biaya yang digunakan dalam perhitungan didasarkan dari beban biaya standar, bukan anggaran yang dialokasikan oleh Dinas Lingkungan Hidup. Biaya operasional tersebut berlaku untuk operasional kendaraan kecil, kendaraan besar, serta alat berat.
13. Biaya investasi kendaraan kecil, kendaraan besar, dan alat berat dihitung dengan mengalikan harga satuan per unit (berdasarkan survey harga satuan) dengan kebutuhan pengadaan unit kendaraan.
14. Elemen biaya operasional TPS adalah biaya perawatan kontainer yaitu pengecatan satu kali setahun.

Terdapat batasan-batasan yang digunakan dalam pembangunan model *existing* pengelolaan sampah Kota Cilegon. Batasan digunakan agar pembangunan model dapat terkendali dan relevan dengan kondisi nyata. Batasan tersebut yaitu:

1. Model yang dibangun tidak mempertimbangkan dan memperhitungkan aliran sampah yang dari daerah luar Kota Cilegon seperti aliran sampah dari Kabupaten Serang.

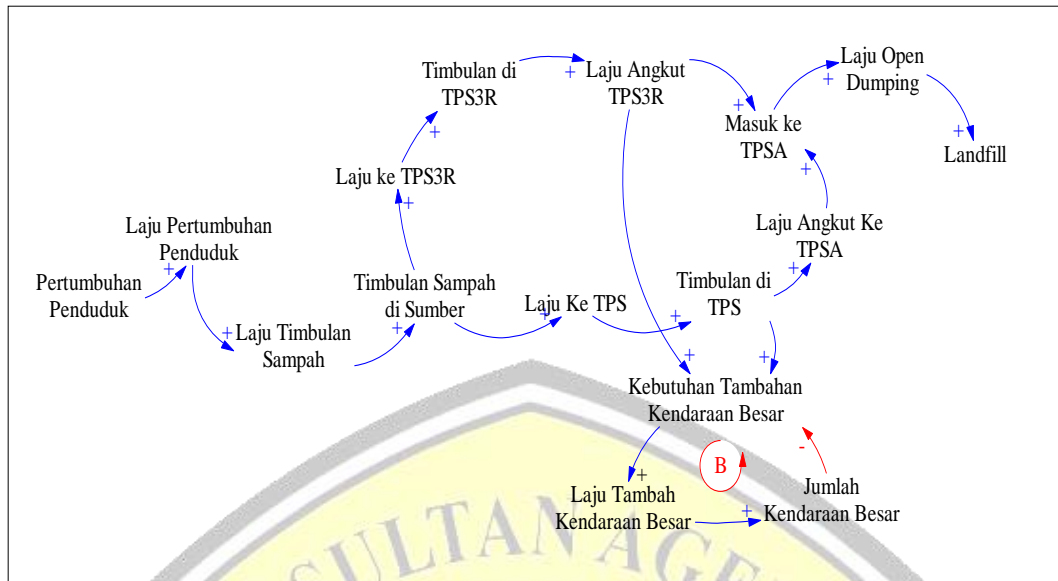


2. Model yang dibangun tidak memperhitungkan pendapatan karena pengelolaan sampah merupakan amanat undang-undang dasar yang memberikan konsekuensi bahwa pemerintah wajib memberikan pelayanan publik dalam pengelolaan sampah, yang artinya pemerintah bertanggung jawab terhadap terselenggaranya pengelolaan sampah termasuk dalam hal pembiayaan.
3. Volume sampah yang diangkut pemulung atau swadaya masyarakat tidak dipertimbangkan.
4. Pembangunan model tidak mengintegrasikan peraturan dan kelembagaan.
5. Orientasi pembangunan model adalah penyusunan skenario alternatif sebagai dasar usulan kebijakan pengelolaan sampah di Kota Cilegon.
6. Model yang dibangun tidak mempertimbangkan perhitungan curah hujan, laju evaporasi, dan laju dekomposisi.
7. Perhitungan biaya pada model antara lain biaya operasional (OPEX) dan biaya investasi (CAPEX) pada kendaraan angkut, kontainer pada TPS, TPS3R, dan TPSA.

Asumsi dan batasan tersebut kemudian dijadikan dasar pembentukan variabel pada pemodelan sistem dinamis pengelolaan sampah Kota Cilegon. Permasalahan pada sistem digambarkan ke dalam struktur model konseptual menggunakan *Causal Loop Diagram* (CLD). Kemudian struktur CLD dikembangkan dan diformulasikan kedalam model *Stock Flow Diagram* (SFD). Besaran atau variabel sistem akan berubah dalam kurun waktu tertentu.

A. *Causal Loop Diagram* (CLD) Model *Existing* Pengelolaan Sampah Kota Cilegon

Gambar 7 menggambarkan interaksi sebab-akibat pada model *existing* pengelolaan sampah di Kota Cilegon.

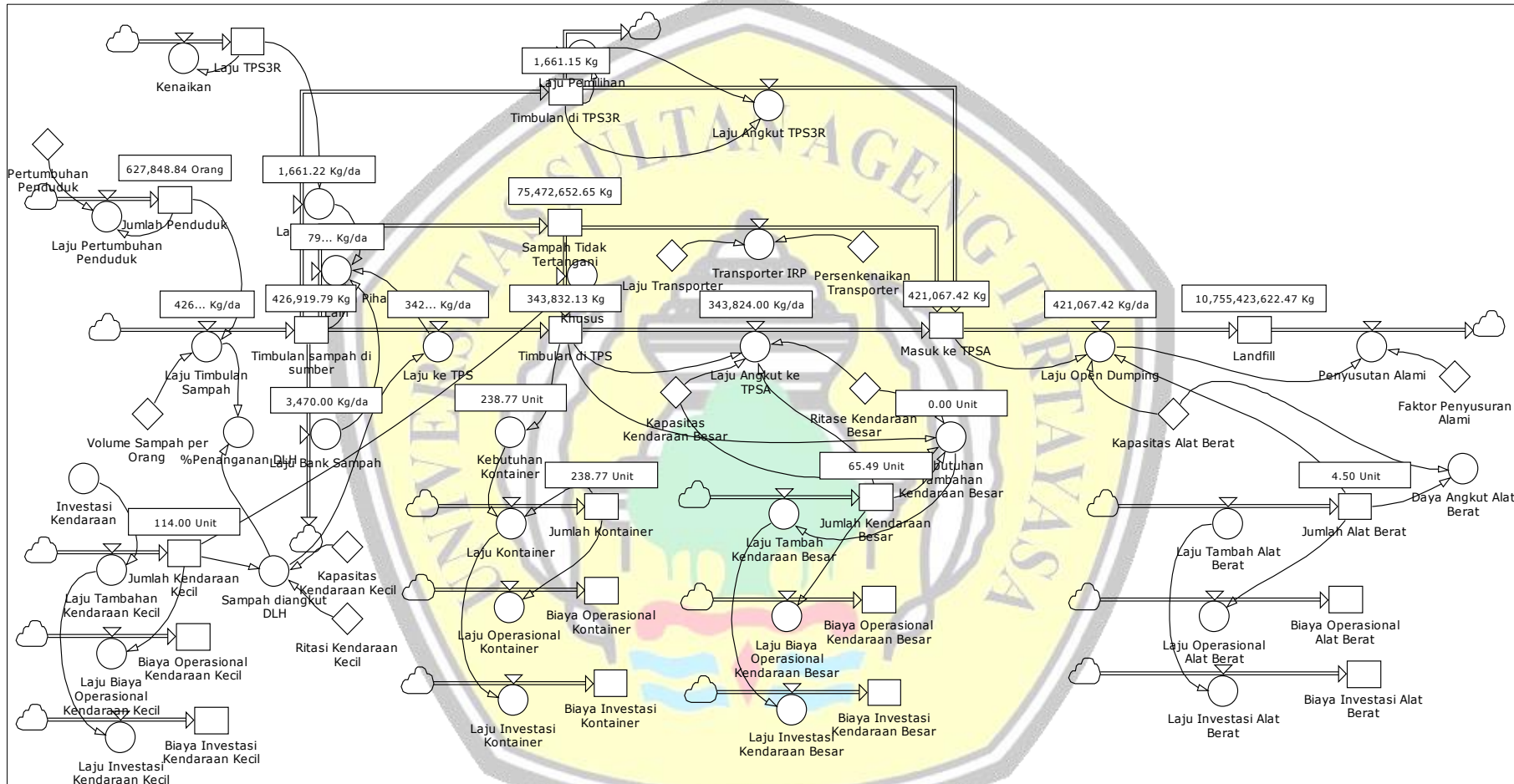


**Gambar 7. Causal Loop Diagram (CLD) Model Existing Pengelolaan Sampah Kota Cilegon**

Pada Gambar 7 loop terjadi pada bagian kebutuhan tambahan kendaraan besar  $\rightarrow$  laju tambah kendaraan besar  $\rightarrow$  jumlah kendaraan besar  $\rightarrow$  kebutuhan tambahan kendaraan besar. Apabila semakin besar kebutuhan tambahan kendaraan besar (meningkat), maka laju tambah kendaraan besar akan meningkat. Apabila laju tambah kendaraan besar meningkat, maka jumlah kendaraan besar akan meningkat (bertambah). Jumlah kendaraan besar yang meningkat akan mengurangi kebutuhan tambahan kendaraan besar. Dari hubungan tersebut diketahui perilaku sistem adalah *balance* karena terdapat *loop* dengan tiga hubungan sebab-akibat searah dengan satu sifat negatif dan dua sifat positif sehingga menghasilkan *loop* negatif  $((+) \times (+) \times (-) = (-))$  dengan perilaku *balance*.

#### B. Stock Flow Diagram (SFD) Model Existing Pengelolaan Sampah Kota Cilegon

Setelah merancang model konseptual menggunakan CLD, model sistem *existing* diformulasikan menggunakan SFD. Pengembangan model digambarkan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Stock Flow Diagram (SFD) Model Existing Pengelolaan Sampah Kota Cilegon

Secara detail, sistem pengelolaan sampah *existing* di Kota Cilegon digambarkan pada Gambar 9. Sistem pengelolaan sampah bermula dari hulu, dengan jabaran sebagai berikut:

1. Adanya “laju pertumbuhan penduduk” yang dipengaruhi oleh nilai persentase “pertumbuhan penduduk” per hari dan “jumlah penduduk”. Nilai “jumlah penduduk” akan bertambah seiring dengan bertambahnya “laju pertumbuhan penduduk”. Meningkatnya nilai “jumlah penduduk” disertai dengan produksi “volume sampah per orang” (0,68 kg/orang/hari) akan mempengaruhi nilai “laju timbunan sampah”. Nilai “laju timbunan sampah” akan meningkat, sehingga nilai yang masuk ke dalam *stock* pada “timbunan sampah di sumber” juga akan meningkat.
2. Nilai “timbunan sampah di sumber” merupakan sampah yang dihasilkan warga Kota Cilegon, nilainya akan berkurang karena terdapat aliran keluar yaitu adanya “laju ke TPS3R”, “laju sampah pihak lain” yang ditangani oleh pihak ketiga (perumahan, industri, dan perkampungan), “laju ke TPS” yang ditangani oleh DLH Kota Cilegon, dan “laju bank sampah”.
3. Nilai “laju ke TPS3R” merupakan nilai masukan yang mempengaruhi “timbunan di TPS3R”. Apabila lajunya meningkat maka “timbunan di TPS3R” juga akan meningkat, namun kondisi saat ini hanya ada satu TPS3R yang aktif dikelola oleh warga dan volume sampah yang dikelola cukup kecil. Hal yang sama juga terjadi pada “laju bank sampah”, pengelolaannya dilakukan pengelola bank sampah atau warga sekitar bank sampah. Nilai “laju ke TPS” dipengaruhi oleh “jumlah kendaraan kecil” yang dimiliki DLH, dimana kemampuan “sampah diangkut DLH” dihitung dari “jumlah kendaraan kecil” dikali “ritasi kendaraan kecil” dikali “kapasitas kendaraan kecil”. Laju tersebut akan mempengaruhi meningkat atau menurunnya “timbunan sampah di TPS”. Adapun “sampah tidak tertangani” merupakan sampah yang tidak ditangani oleh DLH, melainkan ditangani oleh *transporter* dan langsung diangkut ke TPSA Bagendung.

4. Kendaraan besar seperti *dump truck* dan *arm roll* akan mengangkut sampah dari “timbunan di TPS” ke “masuk ke TPSA”. Menyebabkan nilai “masuk ke TPSA” terus meningkat karena mendapat transfer sampah dari TPS, sampah tidak tertangani, dan residu TPS3R.
5. Sampah “masuk ke TPSA” ditangani dengan sistem *open dumping* dan belum ada proses pengelolaan sampah lebih lanjut, sehingga “laju *open dumping*” terus meningkat dan menyebabkan kapasitas “*landfill*” terus bertambah setiap tahunnya.
6. Pengadaan alat angkut sampah dibedakan menjadi tiga yaitu pengadaan kendaraan kecil, kendaraan besar, dan alat berat. Berdasarkan rencana pengadaan yang dilakukan DLH, penambahan “jumlah kendaraan kecil” adalah 2 kendaraan kecil per tahun. Sedangkan untuk kendaraan besar, “laju tambah kendaraan besar” akan dipengaruhi oleh “kebutuhan tambahan kendaraan besar” yang didapat dari kapasitas “timbunan di TPS” dibagi dengan nilai perkalian “kapasitas kendaraan besar” dan “ritasi kendaraan besar” kemudian dikurangi dengan “jumlah kendaraan besar”. Terakhir, sama halnya dengan kendaraan kecil, pengadaan alat berat ditentukan berdasarkan rencana pengadaan yang dilakukan DLH. Penambahan “jumlah alat berat” (*excavator* dan *loader*) adalah 1 unit per 10 tahun.

### C. Hasil Simulasi Model *Existing*

Berdasarkan hasil *running* model, didapatkan hasil dari simulasi model *existing*, yang dapat dilihat pada Tabel 16 di bawah ini:

**Tabel 16. Hasil Simulasi Model *Existing***

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
<i>Landfill</i> (ton)	7.647.684	10.755.423
Laju <i>Open dumping</i> (kg/hari)	275.805,43	421.067,42
Masuk ke TPSA (kg)	275.805,43	421.067,42
Laju Angkut ke TPSA (kg/hari)	199.039,24	343.824,00
Timbunan di TPS (kg)	199.039,24	343.832,13
Sampah Tidak Tertangani (kg)	7.496.512	75.472.652
Laju ke TPS (kg/hari)	198.000	342.000
Laju ke TPS3R (kg/hari)	1.175,81	1.661,22
Timbunan Sampah di Sumber (kg)	300.092,67	426.919,79
Laju Timbunan Sampah (kg/hari)	300.104,92	426.937,21

Tabel 16. Hasil Simulasi Model *Existing* (Lanjutan)

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
Jumlah Kendaraan Kecil (unit)	64	114
Jumlah Kendaraan Besar (unit)	41	65,49
Kebutuhan Kontainer (unit)	68	238,77
Jumlah Alat Berat (unit)	2	4,5
Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp)	287.422	287.422
Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp)	829.109	829.109
Biaya Operasional Kontainer (Rp)	11.539	11.539
Biaya Operasional Alat Berat (Rp)	356.350	356.350
Total Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp/hari)	18.395.008	32.766.108
Total Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp/hari)	33.993.469	54.298.348,41
Total Biaya Operasional Kontainer (Rp/hari)	784.652	2.755.167,03
Total Biaya Operasional Alat Berat (Rp/hari)	712.700	1.603.575
Biaya Investasi Kendaraan Kecil (Rp)	-	4.650.000.000
Biaya Investasi Kontainer (Rp)	-	10.826.606.666,67
Biaya Investasi Kendaraan Besar (Rp)	-	14.514.902.537,16
Biaya Investasi Alat Berat (Rp)	-	3.272.500.00

Hasil simulasi pada Tabel 16 menunjukkan kapasitas *landfill* pada tahun 2046 adalah 10.755.423 ton. Daya tampung sampah maksimal yang dapat ditampung TPSA Bagendung adalah 10.000.000 ton. Sehingga dapat diperkirakan tahun 2046 beban daya tampung TPSA Bagendung sudah melebihi batas. Antisipasi perlu dilakukan untuk mencegah penuhnya kapasitas TPSA pada tahun 2046. Model *existing* pengelolaan sampah kemudian dikembangkan dengan menambah upaya-upaya pengolahan sampah di sisi tengah dan hilir untuk mencegah sampah masuk dan tertimbun di *landfill* tanpa ada pengolahan lebih lanjut. Selain itu bentuk upaya pengelolaan sampah dilakukan pada sisi tengah berguna untuk memaksimalkan upaya pengangkutan dan pengolahan sampah sebelum masuk ke TPSA, sedangkan upaya di hilir dilakukan sebagai upaya mengurangi laju *open dumping* pada TPSA Bagendung.

#### D. Verifikasi dan Validasi Model *Eksisting*

Verifikasi model dilakukan dengan mengidentifikasi apakah saat melakukan *running* model ada ketidaksesuaian yang menyebabkan *error* pada *coding* maupun formula model. Setelah dilakukan pengecekan, model *existing* pengelolaan sampah yang dibuat dianggap *verified* karena tidak ditemukan *error* baik pada *coding* maupun formula yang dijalankan. Kemudian dilakukan validasi model dengan membandingkan hasil perhitungan manual dengan hasil simulasi.

Validasi terdiri dari evaluasi model peramalan untuk menentukan bagaimana kemungkinan kinerja model dalam penerapan yang diinginkan (Montgomery, Jennings, & Kulahci, 2008).

**Tabel 17. Validasi Model Sistem Existing**

Bulan	<i>Landfill manual</i>	<i>Landfill simulasi existing</i>	<i>Error</i>	<i>Absolute value of error</i>	<i>Square of error</i>	<i>Absolute values of error divided by actual values</i>
	$X_m$	$X_s$	$X_m - X_s$	$ X_m - X_s $	$(X_m - X_s)^2$	$ X_m - X_s /X_m$
Januari 2022	7.656.235	7.655.320	915	915	837.225	0,0001195
Februari 2022	7.663.958	7.663.434	524	524	274.576	0,0000684
Maret 2022	7.672.508	7.671.564	944	944	891.136	0,0001230
April 2022	7.680.783	7.679.708	1.075	1.075	1.155.625	0,0001400
Mei 2022	7.689.333	7.687.868	1.465	1.465	2.146.225	0,0001905
Juni 2022	7.697.608	7.696.043	1.565	1.565	2.449.225	0,0002033
Juli 2022	7.706.158	7.704.233	1.925	1.925	3.705.625	0,0002498
Agustus 2022	7.714.709	7.712.438	2.271	2.271	5.157.441	0,0002944
September 2022	7.722.984	7.720.659	2.325	2.325	5.405.625	0,0003010
Oktober 2022	7.731.534	7.728.894	2.640	2.640	6.969.600	0,0003415
November 2022	7.739.809	7.737.145	2.664	2.664	7.096.896	0,0003442
Desember 2022	7.748.359	7.745.410	2.949	2.949	8.696.601	0,0003806
<b>Total</b>			<b>21.262</b>	<b>21.262</b>	<b>44.785.800</b>	<b>0,0027562</b>
<b>N</b>					<b>12</b>	
<b>MAD</b>					<b>1.771,83</b>	
<b>MSE</b>					<b>3.732.150</b>	
<b>MAPE</b>					<b>0,0230</b>	

Nilai MAD, MSE, dan MAPE dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{MAD} &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |X_m - X_s| \\ &= \frac{1}{12} (21.262) \\ &= 1.771,83 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MSE} &= \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_m - X_s)^2 \\ &= \frac{1}{12} (44.785.800) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3.732.150 \\
 \text{MAPE} &= \frac{1}{n} \left( \sum_{t=1}^n \frac{|X_m - X_s|}{X_m} \right) \times 100 \\
 &= \frac{1}{12} \times 0,0027561 \times 100 \\
 &= 0,0230
 \end{aligned}$$

Tabel 17 merupakan hasil uji validasi sistem *existing* dimana  $X_m$  merupakan data kapasitas *landfill* hasil perhitungan manual,  $X_s$  merupakan data kapasitas *landfill* hasil simulasi. Hasil perhitungan manual menunjukkan rata-rata sampah pada *landfill* adalah 7.701.998 ton. Adapun hasil *running* simulasi menunjukkan rata-rata sampah pada *landfill* adalah 7.700.226 ton. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai MAD adalah 1.771,83 dan nilai MSE adalah 3.732.150. Adapun berdasarkan perhitungan didapatkan nilai MAPE adalah 0,0230%, nilai tersebut berada di bawah batas ketentuan validitas perhitungan MAPE. Dimana nilai MAPE < 10% menunjukkan kemampuan model peramalan sangat baik (Maricar, 2019).

### 4.2.3 Skenario Pengelolaan Sampah Kota Cilegon

Terdapat empat skenario alternatif penanganan sampah di sisi tengah dan hilir sebagai upaya antisipasi penuhnya kapasitas di TPSA Bagendung. Berikut ini merupakan skenario alternatif penanganan sampah Kota Cilegon:

#### 4.2.2.1 Skenario 1 Produksi Bahan Bakar Jumptan Padat (BBJP)

Skenario 1 merupakan skenario yang dikembangkan untuk mengurangi laju *open dumping* pada TPSA Bagendung dengan menambahkan upaya produksi BBJP yang dilakukan di hilir saat sampah masuk ke TPSA. Sebanyak 230.000 kg/hari sampah yang masuk ke TPSA akan diolah menjadi BBJP dan sisa sampah yang tidak dapat diproses menjadi BBJP akan diteruskan ke sistem *open dumping* pada *landfill*. Pada skenario 1, kebutuhan kendaraan angkut tidak lagi diatur penambahannya. Penambahan kendaraan angkut akan disesuaikan kebutuhannya sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Sebagai contoh, apabila timbunan sampah di TPS meningkat maka pemenuhan kebutuhan kendaraan besar akan segera dilakukan. Pembentukan model skenario 1 membutuhkan asumsi pada variabel-variabel penyusun sistem. Asumsi tersebut antara lain:



1. Bank sampah berkontribusi mengelola sampah sebesar 3.470 kg/hari. Selama jalannya periode simulasi diasumsikan nilai kontribusi bank sampah tetap tidak berubah. Adapun TPS3R berkontribusi mengelola sampah sebesar 1.159 kg/hari dengan kenaikan kapasitasnya yaitu sebesar 1,49% sama dengan kenaikan jumlah penduduk Kota Cilegon per tahun. Sedangkan sampah ditangani pihak lain menangani sebanyak 10% sampah di sumber setiap hari.
2. Sampah masuk ke TPSA berasal dari TPS, TPS3R, dan Transporter dari industri, rumah, serta perkantoran. Sampah industri dengan jenis sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) tidak dikirim ke TPSA.
3. Kebutuhan kendaraan kecil akan bertambah seiring dengan peningkatan laju angkut ke TPS3R dan TPS. Kapasitas angkut 1 unit cator atau *pickup* adalah (800 kg/unit) dengan *allowance* 1,2%.
4. Penambahan jumlah kendaraan besar didasari pada kebutuhan yang ada di TPS per hari dibagi kapasitas kendaraan besar (2.100 kg/unit) dibagi jumlah ritasi kendaraan besar yaitu 2,5 ritasi/hari.
5. Sampah masuk ke TPSA diangkut ke lahan *landfill* dengan menggunakan 2 unit alat berat. Penambahan jumlah alat berat adalah 1 unit per 10 tahun.
6. Penyusutan alami lahan *landfill* adalah 3% per tahun.
7. Elemen biaya yang diperhitungkan dalam operasional kendaraan berupa biaya BBM, biaya pajak kendaraan, biaya alat pelindung diri, dan biaya driver. Biaya yang digunakan dalam perhitungan didasarkan dari beban biaya standar, bukan anggaran yang dialokasikan oleh Dinas Lingkungan Hidup. Biaya operasional tersebut berlaku untuk operasional kendaraan kecil, kendaraan besar, serta alat berat.
8. Biaya investasi kendaraan kecil, kendaraan besar, dan alat berat dihitung dengan mengalikan harga satuan per unit (berdasarkan survey harga satuan) dengan kebutuhan pengadaan unit kendaraan.
9. Elemen biaya operasional TPS adalah biaya perawatan kontainer yaitu pengecatan 1 kali setahun.

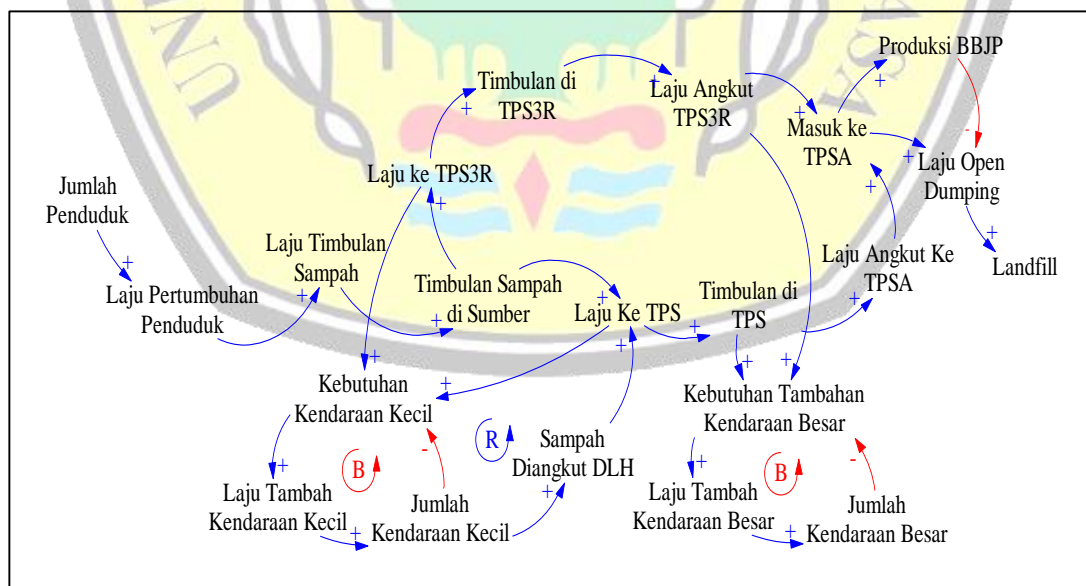
Skenario 1 memiliki batasan-batasan yang diterapkan dalam membangun model. Batasan dilakukan agar model yang dibangun dapat terkendali dan relevan dengan kondisi nyata. Batasan-batasan tersebut antara lain, sebagai berikut:

1. Pada skenario 1 tidak ada usaha pengelolaan sampah lain sebagai upaya mengurangi jumlah sampah yang diangkut ke TPSA.
2. Skenario 1 tidak melibatkan usaha pengelolaan sampah pada sisi hulu dan tengah (seperti penyediaan TPS3R, *incinerator*, dan lain-lain).
3. Volume sampah yang diangkut pemulung atau swadaya masyarakat tidak dipertimbangkan.
4. Selama berjalannya simulasi, model hanya memperhitungkan jumlah sampah yang dihasilkan Kota Cilegon (transfer sampah dari kabupaten/kota lain tidak diperhitungkan).

Asumsi dan batasan tersebut merupakan landasan pembangunan sistem pada skenario 1. Kebijakan pada skenario 1 dikembangkan bertujuan untuk mengetahui pengaruh adanya produksi BBJP terhadap kapasitas *landfill* pada TPSA Bagendung. Berikut merupakan pengembangan model skenario 1:

A. *Causal Loop Diagram* (CLD) Skenario 1 Produksi BBJP

Interaksi sebab akibat pada skenario 1 digambarkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. *Causal Loop Diagram* (CLD) Skenario 1 Produksi BBJP

Pada Gambar 9 *loop* pertama terjadi pada kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil. Semakin besar kebutuhan kendaraan kecil, maka laju tambah kendaraan kecil akan meningkat sehingga menyebabkan jumlah kendaraan kecil juga meningkat. Namun terdapat hubungan berlawanan arah antara jumlah kendaraan kecil dengan kebutuhan kendaraan kecil. Perilaku pada *loop* tersebut menunjukkan perilaku *balancing* dengan tiga hubungan sebab-akibat yaitu satu sifat negatif dan dua sifat positif sehingga *loop* yang dihasilkan adalah *loop* negatif  $((+) \times (+) \times (-) = (-))$ .

*Loop* kedua terjadi pada laju ke TPS → kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil → sampah diangkut DLH → laju ke TPS. Semakin tinggi laju ke TPS maka kebutuhan kendaraan kecil semakin meningkat dan laju tambah kendaraan kecil meningkat. Hal tersebut akan menyebabkan jumlah kendaraan kecil meningkat, sehingga DLH dapat mengangkut sampah lebih banyak dan laju ke TPS meningkat. Hubungan perilaku *loop* tersebut adalah *reinforcing* (menguatkan). *Reinforcing* pada *loop* tersebut terjadi disebabkan terdapat *loop* dengan terdapat hubungan sebab-akibat dengan lima sifat positif sehingga menghasilkan *loop* positif  $((+) \times (+) \times (+) \times (+) \times (+) = (+))$ .

*Loop* ketiga terjadi pada kebutuhan tambahan kendaraan besar → laju tambah kendaraan besar → jumlah kendaraan besar → kebutuhan tambahan kendaraan besar. Kebutuhan tambahan kendaraan besar meningkat, maka laju tambah kendaraan besar akan meningkat sehingga jumlah kendaraan besar akan meningkat. Namun jumlah kendaraan besar yang meningkat akan mengurangi kebutuhan tambahan kendaraan besar. Diketahui perilaku *loop* tersebut menunjukkan hubungan *balancing*. Hubungan *balancing* disebabkan terdapat *loop* dengan tiga hubungan sebab-akibat yaitu satu sifat negatif dan dua sifat positif sehingga menghasilkan *loop* negatif  $((+) \times (+) \times (-) = (-))$ .

#### B. *Stock Flow Diagram* (SFD) Skenario 1 Produksi BBJP

Pengembangan model SFD pada skenario 1 digambarkan pada Gambar 10 berikut.



Model SFD dikembangkan dari hubungan spesifik antar komponen dalam CLD. Model SFD dibangun berdasarkan asumsi, batasan, serta data kondisi terkini dari pengelolaan sampah Kota Cilegon. Komponen *stock*, *auxiliary*, dan konstanta pada SFD memiliki nilai yang berjalan dengan aliran (*flow*) masuk atau keluar dan nilai tersebut akan berubah seiring dengan berubahnya waktu. Sistem yang tergambar pada Gambar 10 merupakan rancangan sistem pengelolaan sampah yang menerapkan alternatif strategi produksi BBJP di hilir sistem. Penjabaran mengenai sistem pengelolaan sampah dengan menerapkan alternatif produksi BBJP pada skenario 1 adalah sebagai berikut:

1. Persentase “pertumbuhan penduduk” Kota Cilegon adalah 0,00408% dan “jumlah penduduk” Kota Cilegon mencapai 434.896 jiwa. Nilai tersebut akan meningkat dan menjadi faktor bertambahnya “laju pertumbuhan penduduk” yaitu sebesar 436.670,38 orang/hari.
2. Nilai “volume sampah per orang” adalah 0,68 kg/hari. Nilai tersebut menjadi faktor kali dengan “laju pertumbuhan penduduk” sehingga didapat nilai “laju timbunan sampah” yaitu 296.935 kg/hari. Nilai “laju timbunan sampah” akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, sehingga nilai yang masuk ke dalam *stock* pada “timbunan sampah di sumber” juga akan meningkat.
3. Nilai “timbunan sampah di sumber” merupakan sampah yang dihasilkan warga Kota Cilegon, nilainya berkurang karena terdapat aliran keluar yaitu adanya “laju ke TPS3R”, “laju sampah pihak lain” yang ditangani oleh pihak ketiga (perumahan, industri, dan perkampungan), “laju ke TPS” yang ditangani oleh DLH Kota Cilegon, dan “laju bank sampah”.
4. Kota Cilegon memiliki satu TPS3R yang aktif dikelola masyarakat. Nilai “laju ke TPS3R” mempengaruhi banyaknya sampah pada “timbunan di TPS3R”. Adapun “laju bank sampah” berkontribusi mengelola sampah sebanyak 3.470 kg/hari.
5. Nilai pada “laju ke TPS” merupakan nilai yang paling minimum antara “sampah diangkut DLH” dengan sisa “timbunan sampah di sumber” yang nilainya telah dikurangi bank sampah, TPS3R, dan laju sampah

pihak lain. Kemampuan “sampah diangkut DLH” dihitung dari “jumlah kendaraan kecil” dikali “ritasi kendaraan kecil” dikali “kapasitas kendaraan kecil”. Laju tersebut akan mempengaruhi meningkat atau menurunnya “timbunan sampah di TPS”.

6. Adapun “sampah tidak tertangani” merupakan sampah yang tidak ditangani oleh DLH, melainkan ditangani oleh *transporter* dan langsung diangkut ke TPSA Bagendung.
7. Kendaraan besar seperti *dump truck* dan *arm roll* akan mengangkut sampah dari “timbunan di TPS” ke “masuk ke TPSA”. Menyebabkan nilai “masuk ke TPSA” terus meningkat karena mendapat transfer sampah dari TPS, sampah tidak tertangani, dan residu TPS3R.
8. Sebanyak 230.000 kg/hari sampah yang “masuk ke TPSA” akan diproduksi menjadi BBJP. Sisa sampah yang masuk ke TPSA namun tidak diproduksi menjadi BBJP akan masuk ke “laju *open dumping*” dan tertimbun pada lahan “*landfill*” TPSA Bagendung.

Setelah menyusun dan memformulasikan model, dilakukan *running* model untuk diteliti apakah ada ketidaksesuaian yang menyebabkan *error* pada *coding* maupun formula model. Setelah dipastikan tidak ada *error*, model dijalankan. Berikut merupakan hasil *running* simulasi skenario 1 yang dapat dilihat pada Tabel 18.

**Tabel 18. Hasil Simulasi Skenario 1**

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
<i>Landfill</i> (ton)	7.647.684	8.761.324
Laju <i>Open dumping</i> (kg/hari)	54.761,27	191.513,75
Masuk ke TPSA (kg)	284.761,27	421.513,75
Laju Angkut ke TPSA (kg/hari)	208.020,22	380.187,50
Timbunan di TPS (kg)	208.020,22	730.144,44
Sampah Tidak Tertangani (kg)	5.868.735,41	39.666,68
Laju ke TPS (kg/hari)	206.958,33	379.096,59
Laju ke TPS3R (kg/hari)	1.175,81	1.661,22
Timbunan Sampah di Sumber (kg)	887.955,19	426.919,79
Laju Timbunan Sampah (kg/hari)	300.104,92	426.937,21
Jumlah Kendaraan Kecil (unit)	64	188,99
Jumlah Kendaraan Besar (unit)	41	73
Jumlah Kontainer (unit)	68	192,97

**Tabel 18. Hasil Simulasi Skenario 1 (Lanjutan)**

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
Jumlah Alat Berat (unit)	2	3
Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp)	287.422	287.422
Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp)	829.109	829.109
Biaya Operasional Kontainer (Rp)	11.539	11.539
Biaya Operasional Alat Berat (Rp)	356.350	356.350
Total Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp/hari)	18.395.008	54.318.766
Total Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp/hari)	33.993.469	60.490.411
Total Biaya Operasional Kontainer (Rp/hari)	784.652	2.226.706
Total Biaya Operasional Alat Berat (Rp/hari)	712.700	1.069.050
Biaya Investasi Kendaraan Kecil (Rp)	-	11.623.708.333,33
Biaya Investasi Kontainer (Rp)	-	7.923.238.888,89
Biaya Investasi Kendaraan Besar (Rp)	-	18.620.030.000
Biaya Investasi Alat Berat (Rp)	-	1.309.000.000
Pendapatan BBJP (Rp)	-	413.860.797.919,8

Tabel 18 menunjukkan hasil simulasi skenario 1. Hasil simulasi skenario 1 menunjukkan pada tahun 2046 laju TPS meningkat mencapai 379.096 kg/hari dikarenakan adanya penambahan jumlah kendaraan angkut. Jumlah sampah yang masuk ke TPSA besarnya 421.513 kg/hari, sampah tersebut diserap sebanyak 230.000 kg/hari untuk kebutuhan produksi BBJP sehingga laju *open dumping* berkurang sebesar 228.274 kg/hari. Kapasitas *landfill* diakhir tahun 2046 adalah 8.760.382 ton, menyisakan 12,4% total kapasitas maksimum *landfill*.

#### 4.2.2.1 Skenario 2 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Produksi BBJP

Skenario 2 merupakan skenario yang dikembangkan sebagai upaya mengurangi kuantitas sampah organik yang masuk ke TPSA tanpa diolah terlebih dahulu. Total kontribusi sampah organik yang diangkut ke TPSA diperkirakan mencapai 64,77%. Sehingga pada skenario 2, tujuan dibangunnya TPS3R adalah sebagai fasilitas pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos yang dapat mereduksi total sampah masuk ke TPSA tanpa diolah terlebih dahulu. Kapasitas produksi pupuk kompos pada satu unit TPS3R adalah 1.400 kg/hari. Selain itu, skenario 2 juga melakukan upaya pengelolaan sampah di hilir dengan melakukan produksi BBJP untuk mengurangi laju *open dumping* pada TPSA Bagendung. Dalam menjalankan simulasi model skenario 2 dibutuhkan asumsi-asumsi pada variabel dalam model. Asumsi tersebut antara lain:

1. Jenis pengolahan sampah yang dilakukan pada 1 unit TPS3R adalah pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos dengan penambahan jumlah TPS3R adalah 2 unit per tahun.
2. Sebanyak 80% pupuk kompos terjual dalam satu hari.
3. Bank sampah berkontribusi mengelola sampah sebesar 3.470 kg/hari. Selama periode simulasi berjalan, diasumsikan nilai kontribusi bank sampah tetap tidak berubah. Sedangkan sampah ditangani pihak lain menangani sebanyak 10% sampah di sumber setiap hari.
4. Sampah masuk ke TPSA berasal dari TPS, TPS3R, dan transporter dari industri, rumah, serta perkantoran. Sampah industri dengan jenis sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) tidak dikirim ke TPSA.
5. Kendaraan angkut kecil (cator dan *pickup*), milik Dinas Lingkungan Hidup, digunakan untuk mengangkut sampah dari sumber ke TPS3R dan TPS. Kebutuhan kendaraan kecil akan bertambah seiring dengan peningkatan laju angkut ke TPS3R dan TPS. Kapasitas angkut 1 unit cator atau *pickup* adalah 800 kg/unit dengan *allowance* 1,2%.
6. Kendaraan angkut besar yang digunakan untuk mengangkut sampah dari TPS3R dan TPS ke TPSA Bagendung adalah *Dump truck* atau *Armroll* milik Dinas Lingkungan Hidup. Penambahan jumlah kendaraan besar didasari pada kebutuhan yang ada di TPS per hari dibagi kapasitas kendaraan besar (2.100 kg/unit) dibagi jumlah ritasi kendaraan besar (2,5 ritasi/hari).
7. Penambahan jumlah alat berat adalah 1 unit per 10 tahun.
8. Penyusutan alami lahan *landfill* adalah 3% per tahun.
9. Elemen biaya yang diperhitungkan dalam operasional kendaraan berupa biaya BBM, biaya perpanjangan pajak kendaraan, biaya Alat Pelindung Diri (APD), dan biaya driver. Biaya operasional tersebut berlaku untuk operasional kendaraan kecil, kendaraan besar, serta alat berat.
10. Biaya investasi kendaraan kecil, kendaraan besar, dan alat berat dihitung dengan mengalikan harga satuan per unit dengan kebutuhan pengadaan unit kendaraan.





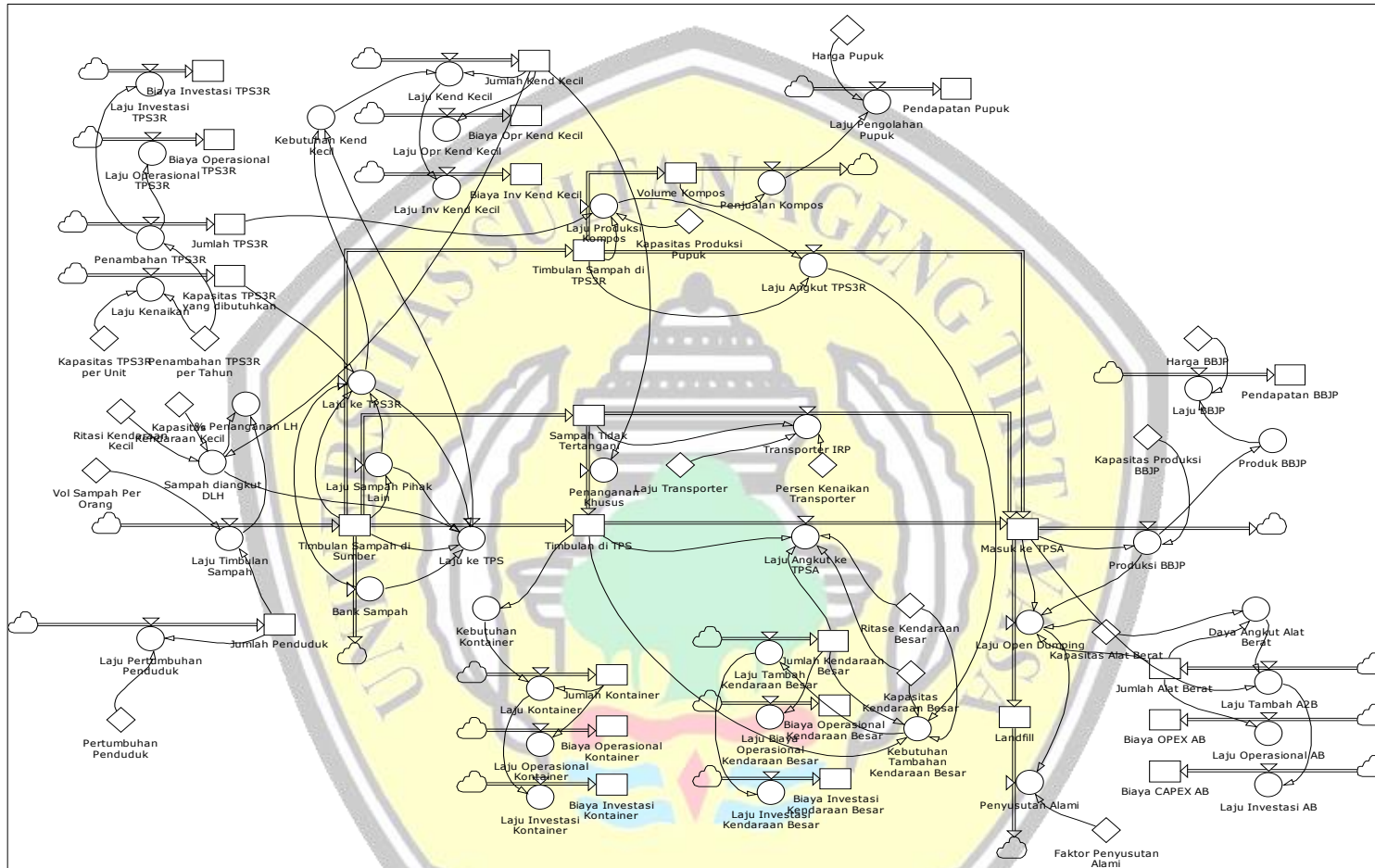
Gambar 11 menunjukkan *causal loop* yang terjadi pada skenario 2, dimana banyaknya *loop* yang ditemukan sama seperti skenario 1. Terdapat tiga *loop* pada sistem skenario 2. *Loop* pertama ditemukan pada bagian kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil. Maksud dari *loop* tersebut adalah kebutuhan kendaraan kecil yang semakin meningkat akan menambah laju tambah kendaraan kecil dan menyebabkan jumlah kendaraan kecil juga meningkat (bertambah). Jumlah kendaraan kecil yang meningkat akan mengurangi kebutuhan kendaraan kecil. *Loop* tersebut menggambarkan hubungan *balancing*.

*Loop* berikutnya terjadi pada laju ke TPS → kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil → sampah diangkut DLH → laju ke TPS. Arti *loop* tersebut adalah semakin tinggi laju ke TPS menyebabkan kebutuhan kendaraan kecil juga meningkat sehingga laju tambah kendaraan kecil juga meningkat. Laju kendaraan kecil yang meningkat akan menyebabkan jumlah kendaraan kecil meningkat, sehingga DLH dapat mengangkut lebih banyak sampah dan laju ke TPS akan meningkat. *Loop* tersebut menunjukkan hubungan *reinforcing loop* atau menguatkan.

*Loop* ketiga terjadi pada kebutuhan tambahan kendaraan besar → laju tambah kendaraan besar → jumlah kendaraan besar → kebutuhan tambahan kendaraan besar. Maksud dari *loop* tersebut adalah apabila semakin besar kebutuhan tambahan kendaraan besar (meningkat), maka laju tambah kendaraan besar akan meningkat sehingga menyebabkan laju tambah kendaraan besar meningkat. Laju tambah kendaraan besar yang meningkat akan menambah jumlah kendaraan besar (jumlahnya meningkat). Jumlah kendaraan besar yang meningkat akan mengurangi kebutuhan tambahan kendaraan besar. *Loop* tersebut menggambarkan hubungan *balancing*.

#### B. *Stock Flow Diagram* (SFD) Skenario 2 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Produksi BBJP

Pengembangan struktur sistem menggunakan *Stock Flow Diagram* (SFD) digambarkan pada Gambar 12.



**Gambar 12. Stock Flow Diagram (SFD) Skenario 2 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Produksi BBJP :**

Gambar 12 merupakan bentuk sistem pada skenario 2. Nilai pada setiap variabel akan berjalan masuk atau keluar dengan aliran (*flow*) yang akan berubah seiring dengan berubahnya waktu. Opsi pengelolaan sampah pada skenario 2 adalah pembangunan unit TPS3R dan produksi BBJP. Secara rinci sistem pengelolaan sampah pada skenario 2 dijabarkan sebagai berikut:

1. Persentase “pertumbuhan penduduk” Kota Cilegon adalah 0,00408% dan “jumlah penduduk” Kota Cilegon mencapai 434.896 jiwa. Nilai tersebut akan meningkat dan menjadi faktor bertambahnya “laju pertumbuhan penduduk” yaitu sebesar 436.670,38 orang/hari. Adapun volume sampah yang dihasilkan satu orang dalam satu hari adalah 0,68 kg/hari. Nilai tersebut menjadi faktor kali dengan “laju pertumbuhan penduduk” sehingga didapat nilai “laju timbunan sampah” yaitu 296.935 kg/hari.
2. Nilai “laju timbunan sampah” akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, sehingga nilai yang masuk ke dalam *stock* pada “timbunan sampah di sumber” juga akan meningkat.
3. Sampah yang dihasilkan warga Kota Cilegon dinyatakan dalam “timbunan sampah di sumber”, nilainya berkurang karena terdapat aliran keluar yaitu adanya “laju ke TPS3R”, “laju sampah pihak lain” yang ditangani oleh pihak ketiga, “laju ke TPS” yang ditangani oleh DLH Kota Cilegon, dan “laju bank sampah”.
4. Nilai “laju ke TPS3R” merupakan nilai yang paling minimum antara kapasitas TPS3R dengan sisa “timbunan sampah di sumber” (yang telah mengalami pengurangan volume akibat adanya laju “bank sampah dan “laju sampah pihak lain”).
5. Kapasitas produksi pupuk pada TPS3R adalah 1.400 kg/hari. Kapasitas produksi akan bertambah karena terdapat penambahan jumlah unit TPS3R setiap tahunnya sebanyak 2 unit.
6. Nilai pada “laju ke TPS” merupakan nilai yang paling minimum antara “sampah diangkut DLH” dengan sisa “timbunan sampah di sumber”

yang nilainya telah dikurangi bank sampah, TPS3R, dan laju sampah pihak lain.

7. Kemampuan “sampah diangkut DLH” dihitung dari “jumlah kendaraan kecil” dikali “ritasi kendaraan kecil” dikali “kapasitas kendaraan kecil”. Laju tersebut akan mempengaruhi meningkat atau menurunnya “timbunan sampah di TPS”.
8. Kendaraan besar seperti *dump truck* dan *arm roll* akan mengangkut sampah dari “timbunan di TPS” ke “masuk ke TPSA”. Menyebabkan nilai “masuk ke TPSA” terus meningkat karena mendapat transfer sampah dari TPS, sampah tidak tertangani, dan residu TPS3R.
9. Sebanyak 230.000 kg/hari sampah yang “masuk ke TPSA” akan diproduksi menjadi BBJP. Sisa sampah yang masuk ke TPSA namun tidak diproduksi menjadi BBJP akan masuk ke “laju *open dumping*” dan tertimbun pada lahan “*landfill*” TPSA Bagendung.

Setelah simulasi terbentuk, dilakukan pemeriksaan ulang pada formulasi model untuk memastikan sistem sudah berjalan dengan sesuai dan tidak ada *error* pada formula model. Setelah dipastikan tidak ada *error* pada formula, model dapat dijalankan. Hasil simulasi skenario 2 yang dapat dilihat pada Tabel 19.

**Tabel 19. Hasil Simulasi Skenario 2**

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
<i>Landfill</i> (ton)	7.647.684	8.446.797
Laju <i>Open dumping</i> (kg/hari)	60.692,31	123.422,73
Masuk ke TPSA (kg)	290.692,31	353.422,73
Laju Angkut ke TPSA (kg/hari)	208.020,22	270.102,97
Timbunan di TPS (kg)	208.020,22	270.102,97
Sampah Tidak Tertangani (kg)	3.609.444,32	39.666,68
Laju ke TPS (kg/hari)	206.958,33	267.083,09
Laju ke TPS3R (kg/hari)	9.922,99	113.674,73
Timbunan Sampah di Sumber (kg)	801.679,53	426.919,79
Laju Timbunan Sampah (kg/hari)	300.104,92	426.937,21
Jumlah Kendaraan Kecil (unit)	64	189
Jumlah Kendaraan Besar (unit)	41	60
Jumlah Kontainer (unit)	68	188
Jumlah Alat Berat (unit)	2	3
Jumlah TPS3R (unit)	0	50
Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp)	287.422	287.422
Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp)	829.109	829.109
Biaya Operasional Kontainer (Rp)	11.539	11.539
Biaya Operasional Alat Berat (Rp)	356.350	356.350

**Tabel 19. Hasil Simulasi Skenario 2 (Lanjutan)**

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
Biaya Operasional TPS3R (Rp)	850.234,78	850.234,78
Total Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp/hari)	18.395.008	54.318.766
Total Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp/hari)	33.993.469	49.550.329
Total Biaya Operasional Kontainer (Rp/hari)	784.652	2.164.356
Total Biaya Operasional Alat Berat (Rp/hari)	712.700	1.069.050
Total Biaya Operasional TPS3R (Rp/hari)	-	42.511.739
Biaya Investasi Kendaraan Kecil (Rp)	-	11.623.708.333
Biaya Investasi Kontainer (Rp)	-	7.580.662.466
Biaya Investasi Kendaraan Besar (Rp)	-	11.120.660.474
Biaya Investasi Alat Berat (Rp)	-	1.309.000.000
Biaya Investasi TPS3R (Rp)	-	80.835.900.000
Pendapatan BBJP (Rp)	-	413.862.189.379,90
Pendapatan Pupuk Kompos (Rp)	-	314.875.256.856

Hasil simulasi skenario 2 yang ditunjukkan pada Tabel 19 memperkirakan kapasitas *landfill* diakhir tahun 2046 adalah 8.446.797 ton sehingga masih menyisakan sekitar 15,53% dari kapasitas maksimum daya tampungnya. Kondisi tersebut disebabkan adanya peningkatan laju pengangkutan sampah ke TPS3R sebesar 113.674 kg/hari. Produksi pupuk kompos pada TPS3R mereduksi jumlah sampah yang masuk ke TPSA menjadi 353.422 kg sampah per hari. Jumlah sampah yang masuk ke TPSA kemudian akan diserap sebanyak 230.000 kg/hari untuk dijadikan bahan baku produksi BBJP, sehingga laju *open dumping* berkurang hingga 123.422 kg/hari.

#### 4.2.2.2 Skenario 3 Pembangunan TPS3R Pencacahan Plastik dan Produksi BBJP

Skenario 3 dikembangkan dengan upaya pembangunan TPS3R dan produksi BBJP. TPS3R pada skenario 3 dibuat untuk menangani jenis sampah anorganik yaitu pencacahan plastik. Latar belakang dibangunnya TPS3R dengan produksi cacahan plastik dikarenakan sampah plastik bukan jenis sampah yang dapat terurai dalam waktu singkat dan sampah plastik berkontribusi menyumbang sampah sebesar 18,18% dari total komposisi sampah. Kapasitas produksi cacahan plastik pada satu unit TPS3R adalah 2.100 kg/hari. Selain TPS3R, skenario 3 juga melakukan upaya pengelolaan sampah di hilir yaitu produksi BBJP yang bertujuan untuk mengurangi laju *open dumping* pada TPSA Bagendung. Asumsi penyusun sistem pada skenario 3 antara lain:

1. Jenis pengolahan sampah yang dilakukan pada 1 unit TPS3R adalah pengolahan sampah anorganik menjadi cacahan plastik. Penambahan jumlah TPS3R adalah 2 unit per tahun.
2. Sebanyak 80% cacahan plastik terjual dalam satu hari.
3. Bank sampah berkontribusi mengelola sampah sebesar 3.470 kg/hari . Selama jalannya periode simulasi diasumsikan nilai kontribusi bank sampah tetap tidak berubah. Sedangkan sampah ditangani pihak lain menangani sebanyak 10% sampah di sumber setiap hari.
4. Sampah masuk ke TPSA berasal dari TPS, TPS3R, dan transporter dari industri, rumah, serta perkantoran. Sampah industri dengan jenis sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) tidak dikirim ke TPSA.
5. Kebutuhan kendaraan kecil akan bertambah seiring dengan peningkatan laju angkut ke TPS3R dan TPS. Kapasitas angkut 1 unit cator atau *pickup* adalah 800 kg/unit dengan *allowance* 1,2%.
6. Penambahan jumlah kendaraan besar didasari pada kebutuhan yang ada di TPS per hari dibagi kapasitas kendaraan besar (2.100 kg/unit) dibagi jumlah ritasi kendaraan besar (2,5 ritasi/hari).
7. Penambahan jumlah alat berat adalah 1 unit per 10 tahun.
8. Penyusutan alami lahan *landfill* adalah 3% per tahun.
9. Elemen biaya yang diperhitungkan dalam operasional kendaraan berupa biaya BBM, biaya perpanjangan pajak kendaraan, biaya alat pelindung diri (APD), dan biaya driver. Biaya yang digunakan dalam perhitungan didasarkan dari beban biaya standar. Biaya operasional tersebut berlaku untuk operasional kendaraan kecil, kendaraan besar, serta alat berat.
10. Biaya investasi kendaraan kecil, kendaraan besar, dan alat berat dihitung dengan mengalikan harga satuan per unit (berdasarkan survey harga satuan) dengan kebutuhan pengadaan unit kendaraan.

Skenario 3 memiliki batasan-batasan yang diterapkan dalam membangun model. Batasan dilakukan agar model yang dibangun dapat terkendali dan relevan dengan kondisi nyata. Batasan-batasan tersebut antara lain, sebagai berikut:





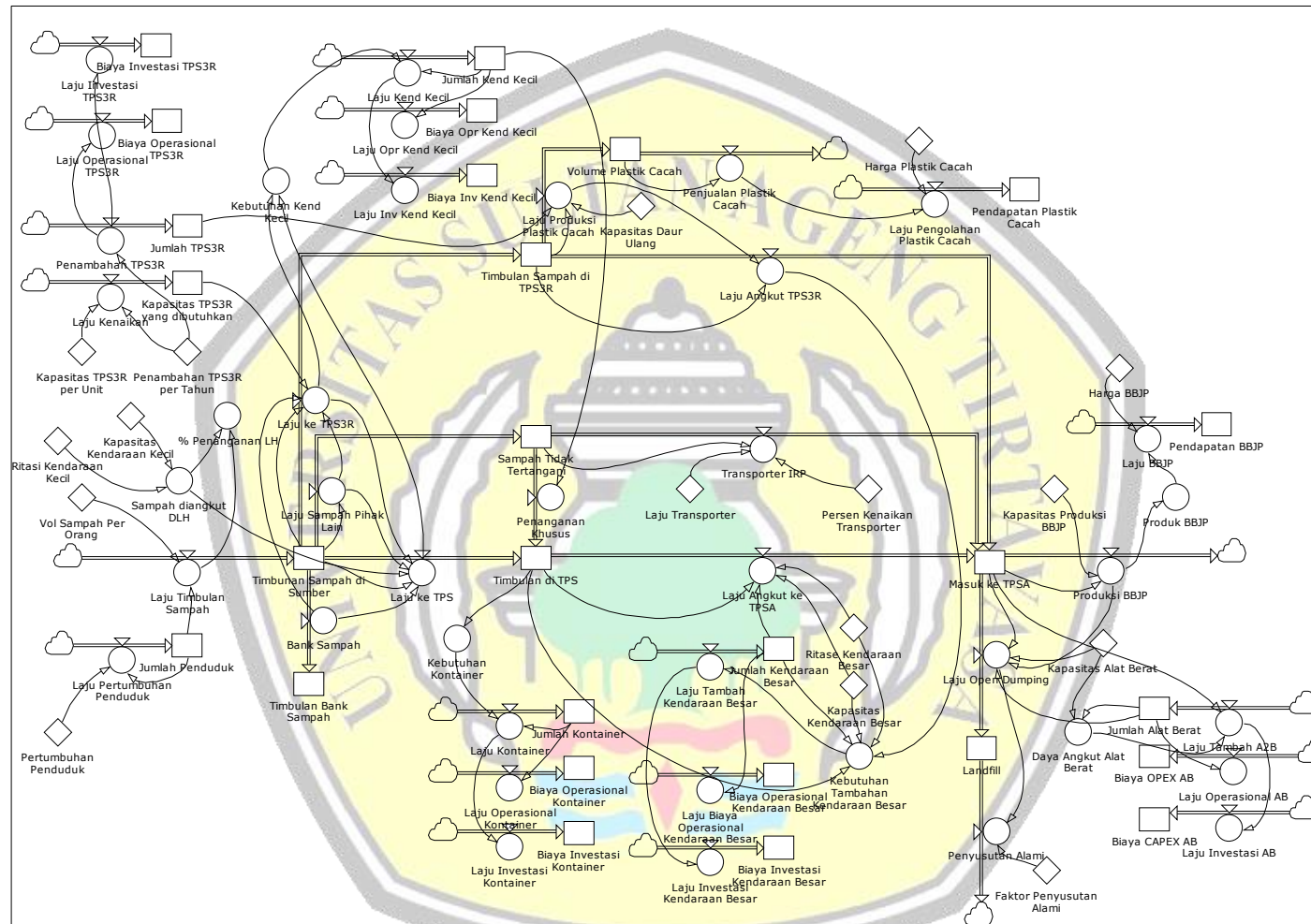
Pada Gambar 13 *loop* pertama ditemukan pada bagian kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil. Kebutuhan kendaraan kecil yang meningkat akan menambah laju tambah kendaraan kecil dan menyebabkan jumlah kendaraan kecil juga meningkat. Jumlah kendaraan kecil yang meningkat akan mengurangi kebutuhan kendaraan kecil. Diketahui perilaku sistem tersebut adalah *balance* karena terdapat *loop* dengan hubungan sebab-akibat searah yaitu satu sifat negatif dan dua sifat positif dan menghasilkan *loop* negatif  $((+) \times (+) \times (-) = (-))$  dengan perilaku *balance*.

*Loop* kedua ditemukan pada laju ke TPS → kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil → sampah diangkut DLH → laju ke TPS. Semakin tinggi laju ke TPS menyebabkan kebutuhan kendaraan kecil juga meningkat sehingga laju tambah kendaraan kecil juga meningkat. Laju kendaraan kecil yang meningkat menyebabkan jumlah kendaraan kecil meningkat, sehingga sampah diangkut DLH juga meningkat dan laju ke TPS meningkat. *Loop* tersebut menunjukkan hubungan yang menguatkan antar variabelnya (*reinforcing loop*) karena terdapat hubungan sebab-akibat searah dengan lima sifat positif sehingga menghasilkan *loop* positif  $((+) \times (+) \times (+) \times (+) \times (+) = (+))$ .

*Loop* ketiga terjadi pada kebutuhan tambahan kendaraan besar → laju tambah kendaraan besar → jumlah kendaraan besar → kebutuhan tambahan kendaraan besar. Semakin besar kebutuhan tambahan kendaraan besar, maka laju tambah kendaraan besar juga akan meningkat. Laju tambah kendaraan besar yang meningkat, maka jumlah kendaraan besar juga akan meningkat. Jumlah kendaraan besar yang meningkat akan mengurangi kebutuhan tambahan kendaraan besar. Sehingga dari hubungan tersebut diketahui perilaku sistem adalah *balance* karena terdapat *loop* dengan tiga hubungan sebab-akibat searah dengan satu sifat negatif dan dua sifat positif sehingga menghasilkan *loop* negatif  $((+) \times (+) \times (-) = (-))$ .

#### B. *Stock Flow Diagram* (SFD) Skenario 3 Pembangunan TPS3R Pencacahan Plastik dan Produksi BBJP

Struktur pada sistem kemudian dikembangkan dan diformulasikan menggunakan *Stock Flow Diagram* (SFD). Gambar 14 merupakan pengembangan struktur model skenario 3 menggunakan *Stock Flow Diagram* (SFD):



**Gambar 14. Stock Flow Diagram (SFD) Skenario 3 Pembangunan TPS3R Pencacahan Plastik dan Produksi BBJP**

Pada Gambar 14 skenario 3 dikembangkan secara detail dengan komponen yang tersusun atas *stock*, *flow*, *auxiliary*, dan konstanta. Komponen tersebut memiliki nilai yang akan berjalan masuk atau keluar dengan aliran (*flow*) dan berubah seiring dengan berubahnya waktu. Secara rinci sistem pengelolaan sampah pada skenario 3 dijabarkan sebagai berikut:

1. Persentase “pertumbuhan penduduk” Kota Cilegon adalah 0,00408% dan “jumlah penduduk” Kota Cilegon mencapai 434.896 jiwa. Nilai tersebut akan meningkat dan menjadi faktor bertambahnya “laju pertumbuhan penduduk” yaitu sebesar 436.670,38 orang/hari.
2. Volume sampah yang dihasilkan satu orang dalam satu hari adalah 0,68 kg/hari. Nilai tersebut menjadi faktor kali dengan “laju pertumbuhan penduduk” sehingga didapat nilai “laju timbunan sampah” yaitu 296.935 kg/hari.
3. Seiring dengan meningkatnya nilai pertumbuhan penduduk, nilai “laju timbunan sampah” juga akan terus meningkat. Sehingga nilai yang masuk ke dalam *stock* pada “timbunan sampah di sumber” juga akan meningkat.
4. Sampah yang dihasilkan warga Kota Cilegon dinyatakan dalam “timbunan sampah di sumber”, nilainya berkurang karena terdapat aliran keluar yaitu adanya “laju ke TPS3R”, “laju sampah pihak lain” yang ditangani oleh pihak ketiga, “laju ke TPS” yang ditangani oleh DLH Kota Cilegon, dan “laju bank sampah”.
5. Nilai “laju ke TPS3R” merupakan nilai yang paling minimum antara kapasitas TPS3R dengan sisa “timbunan sampah di sumber” (yang telah mengalami pengurangan volume akibat adanya laju “bank sampah dan “laju sampah pihak lain”).
6. Kapasitas produksi plastik cacah pada TPS3R adalah 2.100 kg/hari. Kapasitas produksi akan bertambah karena terdapat penambahan jumlah unit TPS3R setiap tahunnya sebanyak 2 unit.
7. Nilai pada “laju ke TPS” merupakan nilai yang paling minimum antara “sampah diangkut DLH” dengan sisa “timbunan sampah di sumber”

yang nilainya telah dikurangi bank sampah, TPS3R, dan laju sampah pihak lain.

8. Kemampuan “sampah diangkut DLH” dihitung dari “jumlah kendaraan kecil” dikali “ritasi kendaraan kecil” dikali “kapasitas kendaraan kecil”. Laju tersebut akan mempengaruhi meningkat atau menurunnya “timbunan sampah di TPS”.
9. Kendaraan besar seperti *dump truck* dan *arm roll* akan mengangkut sampah dari “timbunan di TPS” ke “masuk ke TPSA”. Menyebabkan nilai “masuk ke TPSA” terus meningkat karena mendapat transfer sampah dari TPS, sampah tidak tertangani, dan residu TPS3R.
10. Sebanyak 230.000 kg/hari sampah yang “masuk ke TPSA” akan diproduksi menjadi BBJP. Sisa sampah yang masuk ke TPSA namun tidak diproduksi menjadi BBJP akan masuk ke “laju *open dumping*” dan tertimbun pada lahan “*landfill*” TPSA Bagendung.

Setelah simulasi terbentuk, dilakukan pemeriksaan ulang pada model untuk memastikan sistem sudah berjalan dengan sesuai dan tidak ada *error* pada formula model. Setelah dipastikan tidak ada *error*, model dapat dijalankan. Hasil simulasi yang dijalankan pada skenario 3 dapat dilihat pada Tabel 20.

**Tabel 20. Hasil Simulasi Skenario 3**

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
<i>Landfill</i> (ton)	7.647,684	8.360.705
Laju <i>Open dumping</i> (kg/hari)	63.358,11	124.198,89
Masuk ke TPSA (kg)	293.358,11	354.198,89
Laju Angkut ke TPSA (kg/hari)	208.020,22	3.023,56
Timbunan di TPS (kg)	208.020,22	3.023,56
Sampah Tidak Tertangani (kg)	58.100,32	39.666,68
Laju ke TPS (kg/hari)	206.958,33	-1,5587E-11
Laju ke TPS3R (kg/hari)	31.502,31	380.757,81
Timbunan Sampah di Sumber (kg)	591.102,79	426.919,79
Laju Timbunan Sampah (kg/hari)	300.104,92	426.937,21
Jumlah Kendaraan Kecil (unit)	64	189
Jumlah Kendaraan Besar (unit)	41	60
Jumlah Kontainer (unit)	68	153,39
Jumlah Alat Berat (unit)	2	3
Jumlah TPS3R (unit)	0	50
Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp)	287.422	287.422
Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp)	829.109	829.109
Biaya Operasional Kontainer (Rp)	11.539	11.539
Biaya Operasional Alat Berat (Rp)	356.350	356.350

**Tabel 20. Hasil Simulasi Skenario 3 (Lanjutan)**

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
Biaya Operasional TPS3R (Rp)	850.234,78	850.234,78
Total Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp/hari)	18.395.008	54.318.766
Total Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp/hari)	33.993.469	49.672.903
Total Biaya Operasional Kontainer (Rp/hari)	784.652	1.769.955
Total Biaya Operasional Alat Berat (Rp/hari)	712.700	1.069.050
Total Biaya Operasional TPS3R (Rp/hari)	-	42.511.739
Biaya Investasi Kendaraan Kecil (Rp)	-	11.623.708.333
Biaya Investasi Kontainer (Rp)	-	5.413.660.448
Biaya Investasi Kendaraan Besar (Rp)	-	11.208.281.350
Biaya Investasi Alat Berat (Rp)	-	1.309.000.000
Biaya Investasi TPS3R (Rp)	-	81.850.000.000
Pendapatan BBJP (Rp)	-	413.862.434.923
Pendapatan Plastik Cacah (Rp)	-	2.405.801.261.451

Berdasarkan Tabel 20, hasil simulasi skenario 3 memperkirakan pada tahun 2046 kapasitas *landfill* adalah 8.360.705 ton atau menyisakan sebesar 16,39% dari kapasitas maksimumnya. Kondisi tersebut disebabkan adanya peningkatan laju pengangkutan sampah ke TPS3R sebesar 380.757 kg/hari. Adanya upaya TPS3R diperkirakan dapat mereduksi jumlah sampah yang masuk ke TPSA menjadi sebesar 354.198 kg/hari. Sampah yang masuk ke TPSA kemudian diserap sebanyak 230.000 kg untuk dijadikan bahan baku produksi BBJP, dan laju *open dumping* yang terjadi per hari mencapai 124.198 kg/hari.

#### 4.2.2.3 Skenario 4 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Pencacahan Plastik serta Produksi BBJP

Skenario 4 merupakan skenario yang dikembangkan dengan menggabungkan skenario 1 produksi BBJP, skenario 2 pembangunan TPS3R pengolahan pupuk (untuk mereduksi sampah organik), dan skenario 3 pembangunan TPS3R pencacahan plastik (untuk mereduksi sampah anorganik). Tujuan pembangunan TPS3R adalah untuk mereduksi jumlah sampah yang diangkut ke TPS, karena sampah pada TPS tidak diolah dan langsung diangkut ke TPSA. TPS3R pada skenario 4 dirancang untuk dapat memproduksi sebanyak 1.400 kg sampah organik dan 2.100 kg sampah anorganik dalam satu hari. Selain itu adanya produksi BBJP bertujuan sebagai bentuk upaya pengolahan sampah di hilir dan mengurangi laju *open dumping* pada TPSA Bagendung.

Dalam menjalankan simulasi model skenario 4 dibutuhkan asumsi-asumsi pada variabel dalam model. Asumsi tersebut antara lain:

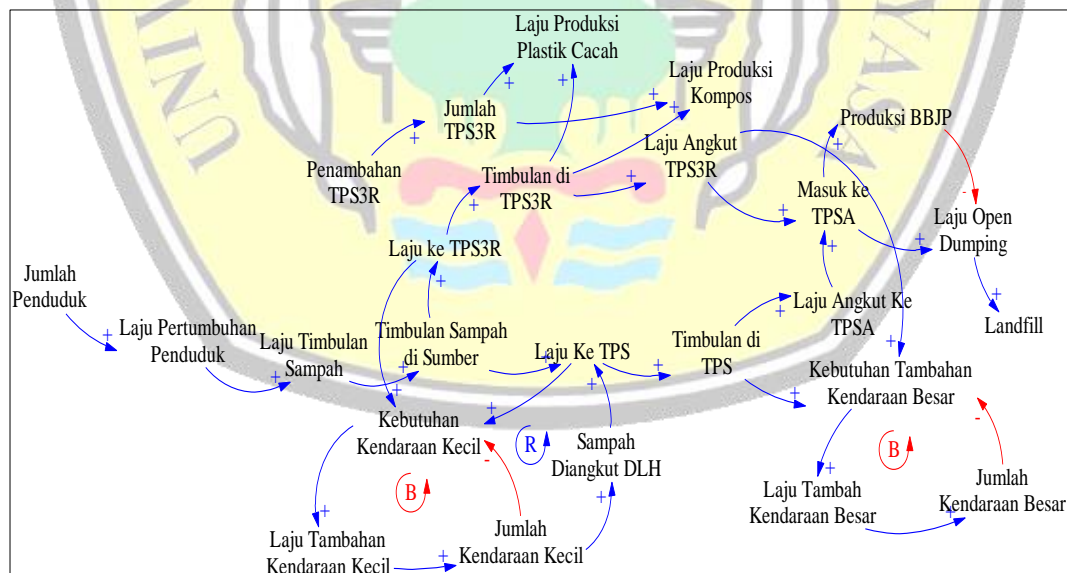
1. Jenis pengolahan sampah yang dilakukan pada 1 unit TPS3R adalah pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos dan pengolahan sampah anorganik yaitu pencacahan plastik. Penambahan jumlah TPS3R adalah 2 unit per tahun.
2. Sebanyak 80% pupuk dan cacahan plastik terjual dalam satu hari.
3. Bank sampah berkontribusi mengelola sampah sebesar 3.470 kg/hari . Selama jalannya periode simulasi diasumsikan nilai kontribusi bank sampah tetap tidak berubah. Sedangkan sampah ditangani pihak lain menangani sebanyak 10% sampah di sumber setiap hari.
4. Sampah masuk ke TPSA berasal dari TPS, TPS3R, dan transporter dari industri, rumah, serta perkantoran. Sampah industri dengan jenis sampah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) tidak dikirim ke TPSA.
5. Kebutuhan kendaraan kecil akan bertambah seiring dengan peningkatan laju angkut ke TPS3R dan TPS. Kapasitas angkut 1 unit cator atau *pickup* adalah 800 kg/unit dengan *allowance* 1,2%.
6. Penambahan jumlah kendaraan besar didasari pada kebutuhan yang ada di TPS per hari dibagi kapasitas kendaraan besar (2.100 kg/unit) dibagi jumlah ritasi kendaraan besar (2,5 ritasi/hari).
7. Penambahan jumlah alat berat adalah 1 unit per 10 tahun.
8. Penyusutan alami lahan *landfill* adalah 3% per tahun.
9. Elemen biaya yang diperhitungkan dalam operasional kendaraan berupa biaya BBM, biaya perpanjangan pajak kendaraan, biaya alat pelindung diri (APD), dan biaya driver. Biaya yang digunakan dalam perhitungan didasarkan dari beban biaya standar, bukan anggaran yang dialokasikan oleh Dinas Lingkungan Hidup. Biaya operasional tersebut berlaku untuk operasional kendaraan kecil, kendaraan besar, serta alat berat.
10. Biaya investasi kendaraan kecil, kendaraan besar, dan alat berat dihitung dengan mengalikan harga satuan per unit (berdasarkan survey harga satuan) dengan kebutuhan pengadaan unit kendaraan.

Dalam membangun model skenario 4, terdapat batasan-batasan yang digunakan agar model yang dibangun dapat terkendali dan relevan dengan kondisi nyata. Batasan-batasan tersebut antara lain:

1. Skenario 4 tidak melibatkan usaha pengelolaan sampah di sisi hulu.
2. Volume sampah yang diangkut pemulung atau swadaya masyarakat tidak dipertimbangkan.
3. Selama berjalannya simulasi, model hanya memperhitungkan jumlah sampah yang dihasilkan Kota Cilegon (transfer sampah dari kabupaten/kota lain tidak diperhitungkan).

Asumsi dan batasan tersebut kemudian dijadikan dasar pembangunan model skenario pengelolaan sampah Kota Cilegon. Tahap selanjutnya adalah pengembangan model menggunakan *Causal Loop Diagram* (CLD) dan *Stock Flow Diagram* (SFD). Berikut merupakan pengembangan model skenario 4:

A. *Causal Loop Diagram* (CLD) Skenario 4 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Pencacahan Plastik serta Produksi BBJP Interaksi sebab-akibat antar variabel penyusun sistem skenario 4 dapat dilihat pada diagram *causal loop* yang digambarkan pada Gambar 15.



**Gambar 15. Causal Loop Diagram (CLD) Skenario 4 Pembangunan TPS3R Pengolahan Pupuk Kompos dan Pencacahan Plastik serta Produksi BBJP**

Sama dengan skenario 1 dan skenario 2, ditemukan tiga *loop* dalam model skenario 3. Pada Gambar 15 *loop* pertama ditemukan pada bagian kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil. Sebagai contoh, kebutuhan kendaraan kecil yang semakin meningkat akan menambah laju tambah kendaraan kecil dan menyebabkan jumlah kendaraan kecil juga meningkat (bertambah). Jumlah kendaraan kecil yang meningkat akan mengurangi kebutuhan kendaraan kecil. *Loop* tersebut menggambarkan hubungan yang *balancing*.

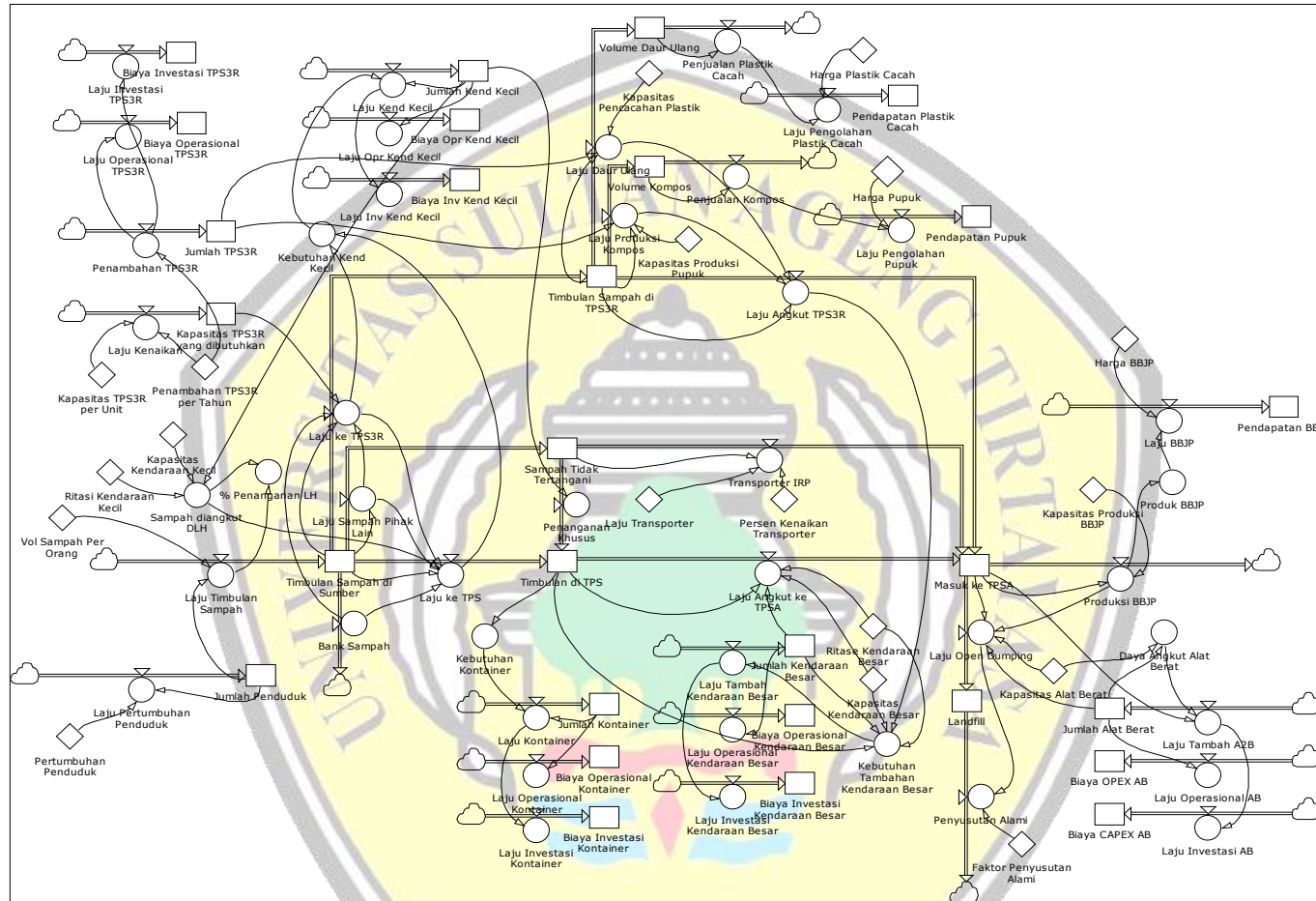
*Loop* kedua ditemukan pada laju ke TPS → kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil → sampah diangkut DLH → laju ke TPS. Semakin tinggi laju ke TPS menyebabkan kebutuhan kendaraan kecil juga meningkat sehingga laju tambah kendaraan kecil juga meningkat. Apabila laju kendaraan kecil meningkat maka jumlah kendaraan kecil juga akan meningkat, sehingga DLH dapat mengangkut lebih banyak sampah dan laju ke TPS akan meningkat. *Loop* tersebut menunjukkan hubungan yang menguatkan antar variabelnya atau dapat disebut *reinforcing loop*.

*Loop* ketiga terjadi pada kebutuhan tambahan kendaraan besar → laju tambah kendaraan besar → jumlah kendaraan besar → kebutuhan tambahan kendaraan besar. Semakin besar kebutuhan tambahan kendaraan besar, maka laju tambah kendaraan besar juga akan meningkat. Laju tambah kendaraan besar yang meningkat, maka jumlah kendaraan besar juga akan meningkat. Jumlah kendaraan besar yang meningkat akan mengurangi kebutuhan tambahan kendaraan besar. Sehingga dari hubungan tersebut diketahui perilaku sistem adalah *balance* karena terdapat *loop* dengan tiga hubungan sebab-akibat searah dengan satu sifat negatif dan dua sifat positif sehingga menghasilkan *loop* negatif  $((+) \times (+) \times (-) = (-))$  dengan perilaku *balance*.

#### B. *Stock Flow Diagram* (SFD) Skenario 4 Pembangunan TPS3R Pengelolaan Pupuk Kompos dan Pencacahan Plastik serta Produksi BBJP

Setelah mengetahui hubungan sebab-akibat, rancangan *Stock Flow Diagram* (SFD) pada skenario 4 dapat dilihat pada Gambar 16.





**Gambar 16. Stock Flow Diagram (SFD) Skenario 4 Pembangunan TPS3R Pengelolaan Pupuk Kompos dan Pencacahan Plastik serta Produksi BBJP**

Gambar 16 merupakan struktur formulasi model skenario 4 yang dikembangkan menggunakan komponen yang tersusun atas *stock*, *flow*, *auxiliary*, dan konstanta yang masing-masing memiliki nilai yang akan berubah seiring dengan berubahnya waktu. Pada skenario 4 opsi pengolahan sampah organik dan anorganik digabungkan pada satu unit TPS3R, sehingga kemampuan pengolahan sampah pada TPS3R semakin besar dan sampah yang diangkut ke TPS semakin berkurang. Secara rinci sistem pengelolaan sampah pada skenario 4 dijabarkan sebagai berikut:

1. Nilai “pertumbuhan penduduk” Kota Cilegon adalah 0,00408%. Adapun “jumlah penduduk” Kota Cilegon mencapai 434.896 jiwa. Nilai tersebut akan meningkat dan menjadi faktor bertambahnya “laju pertumbuhan penduduk” yaitu sebesar 436.670,38 orang/hari. Adapun volume sampah yang dihasilkan satu orang dalam satu hari adalah 0,68 kg/hari. Nilai tersebut menjadi faktor kali dengan “laju pertumbuhan penduduk” sehingga didapat nilai “laju timbunan sampah” yaitu 296.935 kg/hari.
2. Nilai “laju timbunan sampah” akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, sehingga nilai yang masuk ke dalam *stock* pada “timbunan sampah di sumber” juga akan meningkat.
3. Nilai “timbunan sampah di sumber” merupakan banyaknya sampah yang dihasilkan warga Kota Cilegon, nilainya berkurang karena terdapat aliran keluar yaitu adanya “laju ke TPS3R”, “laju sampah pihak lain” yang ditangani oleh pihak ketiga, “laju ke TPS” yang ditangani oleh DLH Kota Cilegon, dan “laju bank sampah”.
4. Nilai “laju ke TPS3R” merupakan nilai yang paling minimum antara kapasitas TPS3R dengan sisa “timbunan sampah di sumber” (yang telah mengalami pengurangan volume akibat adanya laju “bank sampah dan “laju sampah pihak lain”).
5. Kapasitas TPS3R produksi pupuk adalah 1.400 kg/hari dan kapasitas produksi cacahan plastik adalah 2.100 kg/hari. Kapasitas produksi

tersebut akan bertambah karena terdapat penambahan jumlah unit TPS3R setiap tahunnya sebanyak 2 unit.

6. Nilai pada “laju ke TPS” merupakan nilai yang paling minimum antara “sampah diangkut DLH” dengan sisa “timbunan sampah di sumber” yang nilainya telah dikurangi bank sampah, TPS3R, dan laju sampah pihak lain.
7. Kemampuan “sampah diangkut DLH” dihitung dari “jumlah kendaraan kecil” dikali “ritasi kendaraan kecil” dikali “kapasitas kendaraan kecil”. Laju tersebut akan mempengaruhi meningkat atau menurunnya “timbunan sampah di TPS”.
8. Kendaraan besar (*dump truck* dan *arm roll*) mengangkut sampah dari “timbunan di TPS” ke “masuk ke TPSA”. Sehingga nilai “masuk ke TPSA” terus meningkat karena mendapat transfer sampah dari TPS, sampah tidak tertangani, dan residu TPS3R.
9. Sebanyak 230.000 kg/hari sampah yang “masuk ke TPSA” akan diproduksi menjadi BBJP. Sisa sampah yang masuk ke TPSA namun tidak diproduksi menjadi BBJP akan masuk ke “laju *open dumping*” dan tertimbun pada lahan “*landfill*” TPSA Bagendung.

Setelah simulasi terbentuk dan dipastikan tidak ada *error* pada formula, model dapat dijalankan. Berdasarkan hasil simulasi model, diperkirakan tahun 2038 sebagian besar sampah di sumber tidak lagi diangkut ke TPS. Hasil simulasi skenario 4 dapat dilihat pada Tabel 21.

**Tabel 21. Hasil Simulasi Skenario 4**

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
<i>Landfill</i> (ton)	7.647,684	8.045,836
Laju <i>Open dumping</i> (kg/hari)	60.565,89	54.206,66
Masuk ke TPSA (kg)	290.565,89	284.206,66
Laju Angkut ke TPSA (kg/hari)	208.020,22	3.023,56
Timbunan di TPS (kg)	208.020,22	3.023,56
Sampah Tidak Tertangani (kg)	58.100,32	39.666,68
Laju ke TPS (kg/hari)	206.958,33	-1,56E-11
Laju ke TPS3R (kg/hari)	31.502,31	380.757,81
Timbunan Sampah di Sumber (kg)	591.102,79	426.919,79
Laju Timbunan Sampah (kg/hari)	300.104,92	426.937,21
Jumlah Kendaraan Kecil (unit)	64	189
Jumlah Kendaraan Besar (unit)	41	49,34

**Tabel 21. Hasil Simulasi Skenario 4 (Lanjutan)**

Parameter	01/01/2023	31/12/2046
Jumlah Kontainer (unit)	68	153,39
Jumlah Alat Berat (unit)	2	2
Jumlah TPS3R (unit)	0	50
Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp)	287.422	287.422
Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp)	829.109	829.109
Biaya Operasional Kontainer (Rp)	11.539	11.539
Biaya Operasional Alat Berat (Rp)	356.350	356.350
Biaya Operasional TPS3R (Rp)	850.234,78	850.234,78
Total Biaya Operasional Kendaraan Kecil (Rp/hari)	18.395.008	54.318.766
Total Biaya Operasional Kendaraan Besar (Rp/hari)	33.993.469	40.910.598
Total Biaya Operasional Kontainer (Rp/hari)	784.652	1.769.955
Total Biaya Operasional Alat Berat (Rp/hari)	712.700	712.700
Total Biaya Operasional TPS3R (Rp/hari)	-	42.511.739
Biaya Investasi Kendaraan Kecil (Rp)	-	11.623.708.333
Biaya Investasi Kontainer (Rp)	-	5.413.660.448
Biaya Investasi Kendaraan Besar (Rp)	-	4.944.637.865
Biaya Investasi Alat Berat (Rp)	-	0
Biaya Investasi TPS3R (Rp)	-	82.685.900.000
Pendapatan BBJP (Rp)	-	413.862.881.315,4
Pendapatan Pupuk Kompos (Rp)	-	314.875.256.856
Pendapatan Plastik Cacah (Rp)	-	2.405.835.867.230

Berdasarkan Tabel 21 simulasi skenario 4 memperkirakan kapasitas *landfill* diakhir tahun 2046 masih menyisakan sekitar 19,54% dari kapasitas maksimum daya tampungnya. Kapasitas akhir *landfill* pada tahun 2046 adalah 8.045.836 ton sampah. Pembangunan TPS3R berhasil menekan jumlah sampah yang tertimbun di TPS dan menekan laju angkut ke TPSA. Semula timbunan sampah di TPS dan laju angkut ke TPSA mengangkut sampah sebanyak 208.020 kg/hari, kemudian nilai tersebut berkurang menjadi 3.023 kg/hari pada tahun 2046. Kondisi tersebut disebabkan adanya peningkatan laju pengangkutan sampah ke TPS3R sebesar 380.757 kg/hari dan mereduksi jumlah sampah yang masuk ke TPSA sebesar 284.206 kg/hari. Sampah yang masuk ke TPSA diserap sebanyak 230.000 kg untuk produksi BBJP, dan laju *open dumping* per hari mencapai 54.206 kg/hari.

#### 4.2.4 Perbandingan Parameter

Parameter merupakan elemen pada sistem yang nilainya menjadi tolak ukur suatu keadaan. Perbandingan parameter dilakukan untuk membantu menentukan kondisi terbaik dari skenario-skenario yang dibentuk. Perbandingan parameter dapat dilihat pada Tabel 22.

Tabel 22. Perbandingan Parameter Simulasi

Parameter pembanding	Existing	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
Laju TPS3R 2046 (kg/hari)	1.661	1.661	113.674	380.757	380.757
Laju TPS 2046 (kg/hari)	342.000	379.096	267.083	-1,56E-11	-1,56E-11
Laju Angkut ke TPSA 2046 (kg/hari)	343.807	380.187	270.102	3.023	3.023
Masuk ke TPSA 2046 (kg)	421.058	421.513	353.422	354.198	284.206
Laju <i>Open dumping</i> 2046 (kg/hari)	421.058	191.513	123.422	124.198	54.206
<i>Landfill</i> 2046 (ton)	10.755.423	8.761.324	8.446.797	8.360.705	8.045.836
Tahun <i>Landfill</i> Penuh	01/01/2042	01/01/2062	01/01/2072	01/01/2071	01/01/2089

Perbandingan parameter simulasi pada Tabel 22 menunjukkan pengaruh adanya upaya pengelolaan sampah baik di sisi tengah maupun di hilir terhadap penuhnya TPSA pada tahun 2046. Kapasitas maksimum TPSA Bagendung adalah 10.000.000 ton dan diperkirakan *landfill* mencapai kondisi maksimum pada tahun 2042. Adapun pada tahun 2046, kapasitas *landfill* pada sistem *existing* akan melebihi kapasitas maksimumnya yaitu 10.755.423 ton.

Parameter laju TPS3R menunjukkan banyaknya sampah yang diangkut dari sumber ke TPS3R, semakin besar jumlahnya maka semakin baik. Skenario dengan laju TPS3R paling besar adalah skenario 3 dan skenario 4, nilainya mencapai 380.757 kg/hari. Hal disebabkan karena kapasitas pengolahan sampah pada TPS3R pada skenario tersebut lebih besar dibandingkan dengan skenario lain. Adapun laju TPS menunjukkan banyaknya sampah yang diangkut dari sumber ke TPS. Laju TPS terjadi apabila TPS3R tidak dapat menampung sampah, sehingga sampah ditimbun di TPS sebelum diangkut menuju ke TPSA. Semakin sedikit jumlahnya semakin baik, artinya sampah akan lebih banyak diangkut dan diolah di TPS3R. Skenario dengan nilai laju ke TPS terkecil adalah skenario 3 dan skenario 4, nilainya adalah -1,56E-11. Hal ini disebabkan pada skenario tersebut sampah lebih banyak diangkut ke TPS3R.

Adapun parameter laju angkut ke TPSA merupakan banyaknya sampah yang diangkut menggunakan kendaraan besar dari TPS ke TPSA. Nilainya semakin

kecil semakin baik, artinya sampah segar yang tertimbun di TPS dan diangkut ke TPSA semakin kecil jumlahnya. Skenario dengan nilai laju angkut ke TPSA terkecil adalah skenario 3 dan skenario 4 yaitu 3.023 kg/hari. Adapun parameter sampah masuk ke TPSA merupakan banyaknya sampah yang masuk ke TPSA berasal dari timbunan di TPS, sampah residu TPS3R, dan transporter (industri, rumah, dan perkantoran). Semakin sedikit jumlah sampah yang masuk ke TPSA maka semakin baik, artinya sudah ada upaya pengolahan sebelum sampah masuk ke TPSA. Skenario dengan jumlah sampah masuk ke TPSA yang paling sedikit adalah skenario 4 yaitu 284.206 kg. Hal ini disebabkan sebelum masuk ke sisi hilir sampah pada skenario 4 diolah menjadi pupuk kompos dan cacahan plastik pada TPS3R.

Sampah yang masuk ke TPSA akan diproses menjadi BBJP sebanyak 230.000 kg/hari. Produksi BBJP di hilir akan menekan jumlah sampah yang masuk ke sistem *open dumping*. Semakin kecil laju *open dumping* maka semakin baik. Skenario dengan laju *open dumping* yang paling kecil adalah skenario 4, yaitu 54.206 kg/hari. Hal ini disebabkan pada skenario 4 terdapat TPS3R yang mengolah sampah (menjadi pupuk dan cacahan plastik) sebelum masuk ke TPSA. Setelah sampah masuk ke TPSA, sampah diserap untuk produksi BBJP. Adapun pada tahun 2046 skenario dengan kapasitas *landfill* terisi paling sedikit terdapat pada skenario 4 dengan perkiraan kapasitas *landfill* terisi penuh pada tahun 2089.

Dibandingkan dengan kondisi *existing*, nilai investasi dan operasional pada skenario yang dibangun memiliki jumlah yang lebih banyak. Pada sistem *existing*, investasi jumlah kendaraan ditetapkan penambahannya sebanyak 2 unit per tahun, sehingga pelayanan pengangkutan sampah tidak dapat dilakukan secara maksimal sesuai dengan kebutuhan angkutnya. Sedangkan nilai investasi dan operasional pada skenario yang dibangun lebih tinggi karena adanya penambahan fasilitas TPS3R dan penyesuaian kebutuhan kendaraan angkut dengan laju sampah yang akan diangkut. Perbandingan biaya pada setiap model yang dibangun dapat dilihat pada Tabel 23.

Tabel 23. Perbandingan Biaya dan Pendapatan

Biaya	Existing	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
Operasional TPS3R	-	-	Rp. 15.516.784.800	Rp. 15.516.784.800	Rp. 15.516.784.800
Operasional Kend. Kecil	Rp. 230.217.836.450	Rp. 327.176.059.366	Rp. 327.176.059.366	Rp. 327.176.059.366	Rp. 327.176.059.366
Operasional Kontainer	Rp. 19.353.858.604	Rp. 13.548.950.043	Rp. 18.388.494.002	Rp. 15.852.310.530	Rp. 15.852.310.530
Operasional Kend. Besar	Rp. 385.536.142.573	Rp. 443.048.406.092	Rp. 397.838.214.251	Rp. 388.836.742.164	Rp. 365.320.173.513
Operasional Alat Berat	Rp. 10.422.792.062	Rp. 8.054.222.700	Rp. 6.633.455.250	Rp. 6.576.439.250	Rp. 6.414.300.000
<b>Total Biaya Operasional</b>	<b>Rp. 645.530.629.691</b>	<b>Rp. 791.827.638.202</b>	<b>Rp. 765.553.007.670</b>	<b>Rp. 753.958.336.111</b>	<b>Rp. 730.279.628.211</b>
Investasi TPS3R	-	-	Rp. 80.835.900.000	Rp. 81.849.999.999	Rp. 82.685.900.000
Investasi Kend. Kecil	Rp. 4.650.000.000	Rp. 11.623.708.333	Rp. 11.623.708.333	Rp. 11.623.708.333	Rp. 11.623.708.333
Investasi Kontainer	Rp. 10.825.131.246	Rp. 7.923.238.888	Rp. 7.580.662.465	Rp. 5.413.660.447	Rp. 5.413.660.447
Investasi Kend. Besar	Rp. 14.698.641.559	Rp. 18.620.030.000	Rp. 11.120.660.473	Rp. 11.208.281.350	Rp. 4.944.637.865
Investasi Alat Berat	Rp. 3.272.500.000	Rp. 1.309.000.000	Rp. 1.309.000.000	Rp. 1.309.000.000	-
<b>Total Biaya Investasi</b>	<b>Rp. 33.446.272.806</b>	<b>Rp. 39.475.977.222</b>	<b>Rp. 112.469.931.272</b>	<b>Rp. 111.404.650.130</b>	<b>Rp. 104.667.906.645</b>
Pendapatan BBJP	-	Rp. 413.860.797.919	Rp. 413.862.189.379	Rp. 413.862.434.922	Rp. 413.862.881.315
Pendapatan Pupuk	-	-	Rp. 314.875.256.856	-	Rp. 314.875.256.856
Pendapatan Plastik Cacah	-	-	-	Rp. 2.405.801.261.451	Rp. 2.405.835.867.230
<b>Total Pendapatan</b>	<b>-</b>	<b>Rp. 413.860.797.919</b>	<b>Rp. 728.737.446.235</b>	<b>Rp. 2.819.663.696.373</b>	<b>Rp. 3.134.574.005.401</b>

Tabel 23 menunjukkan perbandingan biaya operasional dan biaya investasi pada model *existing* dan model skenario. Biaya operasional dikeluarkan untuk menjalankan kegiatan operasional seperti upah operator, listrik, air, bahan bakar kendaraan, perpanjangan pajak kendaraan, alat pelindung diri operator, perawatan fasilitas. Sedangkan biaya investasi dikeluarkan untuk memperoleh aset yang dapat menunjang upaya pengelolaan sampah di Kota Cilegon seperti investasi mesin pencacah plastik, mesin pencacah kompos, kontainer TPS, kendaraan kecil, kendaraan besar, dan alat berat.

Total biaya operasional yang dikeluarkan untuk sistem *existing* adalah Rp. 645.530.629.691,00. Adapun pada skenario 1 kebutuhan operasional meningkat dikarenakan adanya peningkatan jumlah kendaraan yang disesuaikan dengan kebutuhan angkut sampah, sehingga total biaya operasional yang dibutuhkan pada skenario 1 adalah Rp. 791.827.638.202,00. Pada skenario 2 total biaya operasional yang dibutuhkan adalah Rp. 765.553.007.670,00. Biaya tersebut lebih rendah dibandingkan dengan skenario 1 karena pada skenario 2 sebagian sampah diolah menjadi pupuk kompos. Pada skenario 3 total biaya operasional yang dibutuhkan juga lebih rendah dibandingkan dengan skenario 1. Hal ini disebabkan karena adanya pengolahan sampah menjadi cacahan plastik, sehingga total biaya yang dibutuhkan adalah Rp. 753.958.336.111,00. Sedangkan pada skenario 4 total biaya operasional yang dibutuhkan mencapai Rp. 730.279.628.211,00. Biaya operasional untuk menjalankan skenario 4 lebih rendah dibandingkan dengan skenario 2 dan skenario 3 karena satu unit TPS3R pada skenario 4 mengolah dua jenis sampah. Hal ini menyebabkan penambahan kendaraan angkut akan semakin berkurang karena sampah lebih banyak diolah pada TPS3R.

Kebutuhan investasi dikeluarkan untuk memperoleh kebutuhan penunjang kegiatan pengelolaan sampah seperti mesin pencacah kompos, mesin pencacah plastik, kontainer, kendaraan angkut, alat berat dan lain-lain. Total biaya investasi yang dibutuhkan pada sistem *existing* adalah Rp. 33.446.272.806,00. Adapun biaya investasi yang dibutuhkan untuk skenario 1 adalah Rp. 39.475.977.222,00. Kebutuhan investasi pada skenario 1 meningkat karena penambahan jumlah kendaraan angkut tidak dibatasi per tahun, sehingga jumlah kendaraan angkut



angka menyesuaikan kebutuhan angkut sampah. Pada skenario 2 kebutuhan biaya investasi mencapai Rp. 112.469.931.272,00. Kebutuhan biaya investasi pada skenario 2 lebih besar dibandingkan dengan skenario 1. Hal ini disebabkan setiap tahunnya pada skenario 2 terdapat penambahan unit fasilitas TPS3R sebanyak dua unit per tahun. Pada skenario 3 kebutuhan biaya investasi mencapai Rp. 111.404.650.130,00. Biaya tersebut lebih rendah dari skenario 2 disebabkan penambahan kebutuhan kontainer pada skenario 3 lebih sedikit dibandingkan skenario 2. Kebutuhan biaya investasi pada skenario 4 lebih kecil dibandingkan dengan skenario 2 dan skenario 3. Hal ini disebabkan pada skenario 4 tidak ada penambahan investasi alat berat dan kebutuhan investasi kendaraan besar lebih sedikit dibandingkan dengan skenario 1, skenario 2, dan skenario 3. Kebutuhan biaya investasi pada skenario 4 adalah Rp. 104.667.906.645,00.

Adapun total pendapatan masing-masing skenario didapat dari hasil penjualan produk berupa produk BBJP (briket), pupuk kompos, serta cacahan plastik. Pada skenario 1 pendapatan didapatkan dari hasil penjualan produk BBJP yaitu sebesar Rp. 413.860.797.919,00. Pada skenario 2 pendapatan didapatkan dari hasil pendualan produk BBJP dan pupuk kompos, total yang didapat dari hasil penjualan diperkirakan sebesar Rp. 728.737.446.235,00. Adapun hasil penjualan skenario 3 adalah produk BBJP dan cacahan plastik dan total pendapatan yang didapat adalah Rp. 2.819.663.696.373,00. Sedangkan hasil penjualan skenario 4 didapat dari penjualan produk BBJP, pupuk kompos, dan cacahan plastik dengan hasil pendapatannya adalah Rp. 3.134.574.005.401,00.

#### **4.2.5 Benefit-Cost Ratio (BCR)**

*Benefit-cost ratio* digunakan sebagai ukuran perbandingan antara variabel dengan biaya yang digunakan dalam proses pengelolaan sampah. Perbandingan dilakukan untuk menilai suatu keputusan dengan membandingkan nilai manfaat yang diperoleh dengan biaya yang dikeluarkan. Perbandingan nilai *benefit-cost ratio* pada penelitian ini dilakukan dengan membandingkan nilai manfaat dari pendapatan, laju angkut ke TPSA, laju ke TPS3R, volume sampah diolah di TPS3R, volume sampah diolah menjadi BBJP, serta kapasitas tersisa *landfill* dengan nilai investasinya.

**Tabel 24. Benefit-Cost Ratio Pendapatan**

Skema	Pendapatan (Rp)	Biaya Investasi (Rp)	BCR
<i>Existing</i>	-	Rp. 33.264.009.203	0
Skenario 1	Rp. 413.860.390.092	Rp. 39.797.012.222	10,40
Skenario 2	Rp. 728.737.446.235	Rp. 112.469.931.272	6,48
Skenario 3	Rp. 2.819.663.696.373	Rp. 111.404.650.130	25,31
Skenario 4	Rp. 3.134.574.005.401	Rp. 104.667.906.645	29,95

Contoh perhitungan:

$$BCR = \frac{413.860.390.092}{39.797.012.222} = 10,40$$

Tabel 24 menunjukkan nilai rasio BCR pendapatan. Nilai terbaik ditunjukkan pada nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai perbandingan paling maksimum didapatkan pada skenario 4 dengan nilai BCR yaitu 29,95. Perbandingan tersebut didapat dengan membandingkan nilai pendapatan yaitu Rp. 3.134.574.005.401,00 dengan nilai investasinya yaitu Rp. 104.667.906.645,00.

**Tabel 25. Benefit-Cost Ratio Laju Angkut ke TPSA**

Skema	Laju Angkut ke TPSA (kg/hari)	Biaya Investasi (Rp)	BCR
<i>Existing</i>	199.039,24	Rp. 33.264.009.203	0,000005983621
Skenario 1	383.031,25	Rp. 39.797.012.222	0,000009624623
Skenario 2	270.102,97	Rp. 112.469.931.272	0,000002401557
Skenario 3	3.023,56	Rp. 111.404.650.130	0,000000027140
Skenario 4	3.023,56	Rp. 104.667.906.645	0,000000028887

Contoh perhitungan:

$$BCR = \frac{199.039,24}{33.264.009.203} = 0,000005983621$$

Tabel 25 merupakan perbandingan antara nilai laju angkut ke TPSA dengan biaya investasi. Rasio BCR terbaik ditunjukkan pada nilai perbandingan yang paling minimum. Nilai perbandingan paling minimum didapatkan pada skenario 3 dengan nilai BCR yaitu 0,000000027140. Perbandingan tersebut didapat dengan membandingkan nilai laju angkut ke TPSA pada skenario 3 yaitu 3.023,56 kg/hari dengan nilai investasinya yaitu Rp. 111.404.650.130,00.

**Tabel 26. Benefit-Cost Ratio Laju ke TPS3R**

Skema	Laju ke TPS3R (kg/hari)	Biaya Investasi (Rp)	BCR
<i>Existing</i>	1.175,81	Rp. 33.264.009.203	0,00000004
Skenario 1	233,00	Rp. 39.797.012.222	0,00000001
Skenario 2	113.674,73	Rp. 112.469.931.272	0,00000101
Skenario 3	380.757,81	Rp. 111.404.650.130	0,00000342
Skenario 4	380.757,81	Rp. 104.667.906.645	0,00000364

Contoh perhitungan:

$$BCR = \frac{1.175,81}{33.264.009.203} = 0,00000004$$

Tabel 26 merupakan nilai perbandingan antara laju ke TPS3R (sampah diangkut ke TPS3R) dengan biaya investasi. Rasio BCR terbaik ditunjukkan pada nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai perbandingan paling maksimum didapatkan pada skenario 4 dengan nilai yaitu 0,00000364. Nilai tersebut didapat dengan membandingkan nilai laju ke TPS3R yaitu 380.757,81 (kg/hari) dengan nilai investasinya yaitu Rp. 104.667.906.645,00.

**Tabel 27. Benefit-Cost Ratio Sampah Diolah di TPS3R**

Skema	Sampah diolah di TPS3R (kg/hari)	Biaya Investasi (Rp)	BCR
<i>Existing</i>	-	Rp. 33.264.009.203	-
Skenario 1	-	Rp. 39.797.012.222	-
Skenario 2	70.000,00	Rp. 112.469.931.272	0,00000062
Skenario 3	69.218,92	Rp. 111.404.650.130	0,00000062
Skenario 4	139.218,92	Rp. 104.667.906.645	0,00000133

Contoh perhitungan:

$$BCR = \frac{70.000}{112.469.931.272} = 0,00000062$$

Tabel 27 menunjukkan nilai perbandingan antara nilai sampah yang diolah di TPS3R dengan biaya investasi. Nilai rasio BCR terbaik ditunjukkan pada nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai perbandingan paling maksimum didapatkan pada skenario 4 dengan nilai BCR yaitu 0,00000133. Perbandingan tersebut didapat dengan membandingkan nilai sampah yang diolah di TPS3R yaitu 139.218,92 (kg/hari) dengan nilai investasinya yaitu Rp. 104.667.906.645,00.

**Tabel 28. Benefit-Cost Ratio Sampah Diolah Menjadi BBJP**

Skema	Produksi BBJP (kg/hari)	Biaya Investasi (Rp)	BCR
<i>Existing</i>	-	Rp. 33.264.009.203	-
Skenario 1	230.000	Rp. 39.797.012.222	0.00000578
Skenario 2	230.000	Rp. 112.469.931.272	0.00000204
Skenario 3	230.000	Rp. 111.404.650.130	0.00000206
Skenario 4	230.000	Rp. 104.667.906.645	0.00000220

Contoh perhitungan:

$$BCR = \frac{230.000}{39.797.012.222} = 0,00000578$$

Tabel 28 menunjukkan nilai perbandingan antara banyaknya sampah yang diolah menjadi BBJP dengan biaya investasi. Nilai rasio BCR terbaik ditunjukkan pada nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai perbandingan paling maksimum didapatkan pada skenario 1 dengan nilai BCR yaitu 0,00000578. Perbandingan tersebut didapat dengan membandingkan nilai sampah yang diolah menjadi BBJP yaitu 230.000 (kg/hari) dengan nilai investasinya yaitu Rp. 39.797.012.222,00.

**Tabel 29. Benefit-Cost Ratio Kapasitas Tersisa Landfill**

Skema	Kapasitas Tersisa (ton)	Biaya Investasi (Rp)	BCR
<i>Existing</i>	- 755.423	Rp. 33.264.009.203	- 0,00002271
Skenario 1	1.239.618	Rp. 39.797.012.222	0,00003115
Skenario 2	1.553.203	Rp. 112.469.931.272	0,00001381
Skenario 3	1.639.295	Rp. 111.404.650.130	0,00001471
Skenario 4	1.954.164	Rp. 104.667.906.645	0,00001867

Contoh perhitungan:

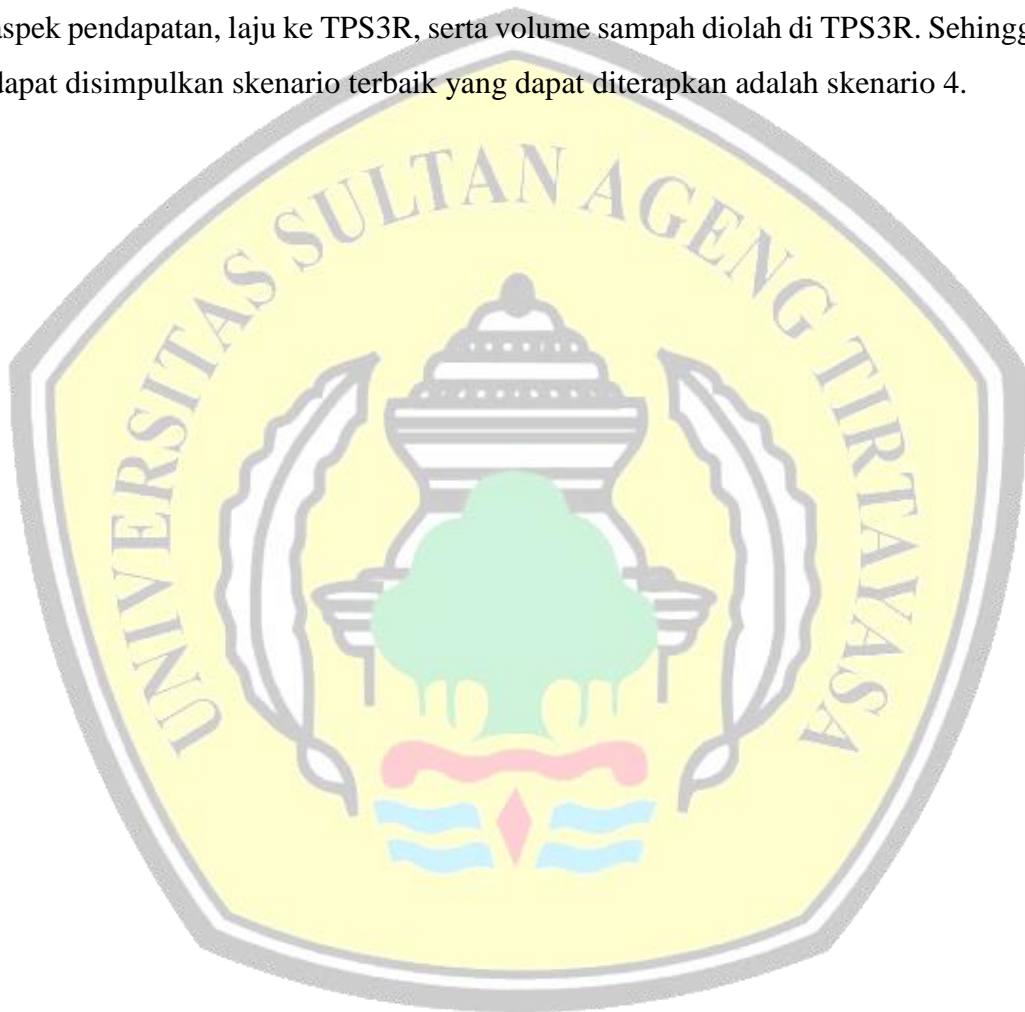
$$BCR = \frac{1.239.618}{39.797.012.222} = 0,00003115$$

Tabel 29 menunjukkan nilai perbandingan antara kapasitas tersisa *landfill* dengan biaya investasi. Nilai rasio BCR terbaik ditunjukkan pada nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai perbandingan paling maksimum didapatkan pada skenario 1 dengan nilai BCR yaitu 0,00003115. Perbandingan tersebut didapat dengan membandingkan nilai kapasitas tersisa *landfill* yaitu 1.239.618 ton dengan nilai investasinya yaitu Rp. 39.797.012.222,00.

**Tabel 30. Rekapitulasi Hasil Benefit-Cost Ratio**

No	BCR	<i>Existing</i>	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
1	Pendapatan					✓
2	Laju Angkut ke TPSA				✓	
3	Laju ke TPS3R					✓
4	Vol. Sampah diolah di TPS3R					✓
5	Vol. Sampah diolah menjadi BBJP		✓			
6	Kapasitas Tersisa <i>Landfill</i>		✓			

Tabel 30 merupakan rekapitulasi hasil perbandingan manfaat dengan biaya investasi. Terdapat lima aspek perbandingan manfaat yaitu pendapatan, laju angkut ke TPSA, laju ke TPS3R, volume sampah diolah di TPS3R, volume sampah diolah menjadi BBJP, serta kapasitas tersisa *landfill*. Berdasarkan perbandingan lima aspek tersebut, skenario 4 mengungguli skenario 1, skenario 2, dan skenario 3 dari aspek pendapatan, laju ke TPS3R, serta volume sampah diolah di TPS3R. Sehingga dapat disimpulkan skenario terbaik yang dapat diterapkan adalah skenario 4.



## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Analisis Skenario 1

Pengelolaan sampah di Kota Cilegon membutuhkan upaya pengelolaan sampah yang dapat menekan penuhnya kapasitas *landfill* di TPSA Bagendung. Skenario 1 merupakan salah satu upaya penanganan di hilir dengan melakukan produksi briket berbahan baku sampah (BBJP). Besarnya timbunan sampah yang dihasilkan pada skenario 1 dipengaruhi oleh laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon tahun 2020 yaitu 1,49% dengan jumlah penduduknya yaitu 434.896 jiwa. Dalam satu hari timbunan sampah yang dihasilkan Kota Cilegon tahun 2023 mencapai 300.104 kg/hari hingga pada akhir periode simulasi memperkirakan jumlah timbunan sampah dalam satu hari akan meningkat pada tahun 2046, mencapai 426.937 kg/hari. Upaya pengangkutan sampah pada skenario 1 dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan angkut sampah dengan kendaraan angkutnya sehingga sampah dapat terangkut secara maksimal. Jumlah awal kendaraan angkut kecil yang dimiliki Kota Cilegon pada tahun 2023 adalah 64 unit kendaraan, berupa cator atau *pickup*. Diperkirakan terdapat penambahan jumlah kendaraan angkut kecil pada tahun 2046 mencapai 189 unit kendaraan.

Sebagian besar sampah diangkut ke TPS tanpa ada upaya pengolahan. Laju pengangkutan sampah ke TPS tahun 2023 mencapai 206.958 kg/hari dan diperkirakan pada tahun 2046 lajunya akan meningkat mencapai 379.096 kg/hari. Adapun laju pengangkutan sampah ke TPS3R berkontribusi sebesar 1,49% per tahun sehingga pada tahun 2023 laju ke TPS3R adalah 1.175 kg/hari dan diakhir periode simulasi (tahun 2046) adalah 1.661 kg/hari. Timbunan sampah pada TPS dan TPS3R diangkut menuju TPSA Bagendung menggunakan kendaraan besar berupa *dump truck* atau *armroll*. Jumlah awal kendaraan besar yang dimiliki Kota Cilegon adalah 41 unit, dan diperkirakan jumlahnya bertambah sebanyak 73 unit pada tahun 2046.

Sampah yang masuk ke TPSA, pada tahun 2023, mencapai 284.761 kg/hari. Produksi BBJP menyerap sebanyak 230.000 kg/hari sampah, sehingga laju *open dumping* diawal periode berkurang menjadi 54.761 kg/hari. Jumlah sampah yang masuk ke TPSA diakhir periode simulasi mencapai 421.513 kg/hari dan diserap sebesar 230.000 kg/hari untuk produksi BBJP. Sehingga laju *open dumping* menyusut menjadi 191.513 kg/hari diakhir periode simulasi. Sampah yang masuk ke TPSA diangkut menuju *landfill* menggunakan alat berat. Jumlah awal alat berat yang tersedia di TPSA Bagendung adalah 2 unit dan diperkirakan akan bertambah mencapai 3 unit pada tahun 2046. Kapasitas *landfill* pada TPSA Bagendung pada tahun 2023 mencapai 7.647.684 ton. Diperkirakan diakhir periode simulasi, pada tahun 2046, jumlahnya mencapai 8.761.324 ton. Kapasitas *landfill* diakhir periode simulasi tersisa sebesar 1.238.676 ton atau 12,39% dari kapasitas maksimumnya yaitu 10.000.000 ton (kapasitas maksimum berdasarkan Amdal 2015).

Berdasarkan hasil simulasi skenario 1, total kebutuhan biaya yang digunakan untuk menjalankan operasional pengelolaan sampah mencapai Rp. 791.827.638.202,00. Biaya tersebut dikeluarkan untuk kebutuhan operasional kendaraan angkut kecil, perawatan kontainer sampah, operasional kendaraan besar, serta operasional alat berat. Kebutuhan biaya operasional kendaraan angkut kecil mencapai Rp. 327.176.059.366,00. Kebutuhan biaya operasional perawatan kontainer (TPS) mencapai Rp. 13.548.950.043,00. Kebutuhan biaya operasional kendaraan besar mencapai Rp. 443.048.406.092,00. Sedangkan kebutuhan biaya operasional alat berat mencapai Rp. 8.054.222.700,00. Adapun berdasarkan hasil simulasi kebutuhan biaya investasi pada skenario 1 dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan kendaraan angkut kecil dan kendaraan angkut besar, kebutuhan kontainer (TPS), serta kebutuhan tambah alat berat. Total biaya investasi yang diperlukan untuk menjalankan skenario 1 mencapai Rp. 39.475.977.222,00. Kebutuhan biaya investasi kendaraan kecil mencapai Rp. 11.623.708.333,00. Kebutuhan biaya investasi kontainer (TPS) mencapai Rp. 7.923.238.888,00. Kebutuhan biaya investasi kendaraan besar mencapai Rp. 18.620.030.000,00. Sedangkan kebutuhan biaya investasi alat berat mencapai Rp. 1.309.000.000,00. Adapun total hasil pendapatan dari BBJP mencapai Rp. 413.860.797.919,00.

## 5.2 Analisis Skenario 2

Upaya pengelolaan sampah di Kota Cilegon yang dapat menekan penuhnya kapasitas *landfill* di TPSA Bagendung lainnya adalah dengan menambahkan upaya pengolahan sampah berbasis 3R di sisi tengah. Skenario 2 merupakan salah satu upaya penanganan yang memiliki upaya pengolahan sampah di tengah dan di hilir yaitu dengan melakukan produksi pupuk kompos di TPS3R dan produksi briket berbahan baku sampah (BBJP). Besarnya timbunan sampah yang dihasilkan pada skenario 2 dipengaruhi oleh laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon tahun 2020 yaitu 1,49% dengan jumlah penduduknya yaitu 434.896 jiwa. Dalam satu hari timbunan sampah yang dihasilkan Kota Cilegon tahun 2023 mencapai 300.104 kg/hari hingga pada akhir periode simulasi memperkirakan jumlah timbunan sampah dalam satu hari akan meningkat pada tahun 2046, mencapai 426.937 kg/hari. Pengangkutan sampah yang dilakukan pada skenario 2 dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan angkut sampah. Jumlah awal kendaraan angkut kecil yang dimiliki Kota Cilegon pada tahun 2023 adalah 64 unit kendaraan, berupa cator atau *pickup*. Hasil simulasi memperkirakan terdapat penambahan jumlah kendaraan angkut kecil pada tahun 2046 yaitu mencapai 189 unit kendaraan.

Laju sampah diangkut ke TPS3R pada awal periode simulasi adalah 9.922 kg/hari. Laju sampah diangkut ke TPS3R meningkat diakhir periode simulasi mencapai 113.674 kg/hari. Adapun laju sampah diangkut ke TPS pada awal periode simulasi adalah 206.958 kg/hari. Laju sampah diangkut ke TPS pada akhir periode simulasi mencapai 267.083 kg/hari. Timbunan sampah di TPS dan sampah residu hasil produksi pupuk kompos pada TPS3R diangkut ke TPSA Bagendung menggunakan kendaraan besar. Jumlah awal kendaraan besar adalah 41 unit dan jumlah diakhir periode simulasi (tahun 2046) adalah 60 unit.

Pada tahun 2023 sampah yang masuk ke TPSA mencapai 290.692 kg/hari. Produksi BBJP menyerap sebanyak 230.000 kg/hari sampah, sehingga laju *open dumping* diawal periode berkurang menjadi 60.692 kg/hari. Adapun banyaknya sampah yang masuk ke TPSA pada tahun 2046 diakhir periode simulasi mencapai 353.422 kg/hari dan diserap sebesar 230.000 kg/hari untuk produksi BBJP. Laju *open dumping* pada tahun 2046 menyusut menjadi 123.422 kg/hari. Sampah yang



masuk ke TPSA kemudian diangkut menuju *landfill* menggunakan alat berat. Jumlah awal alat berat yang tersedia di TPSA Bagendung adalah 2 unit dan diperkirakan akan bertambah mencapai 3 unit pada tahun 2046. Kapasitas *landfill* TPSA Bagendung pada awal periode simulasi adalah 7.647.684 ton dan diperkirakan pada akhir periode simulasi (tahun 2046) jumlahnya mencapai 8.446.797 ton. Kapasitas *landfill* diakhir periode simulasi tersisa sebesar 1.553.203 ton atau 15,53% dari kapasitas maksimumnya yaitu 10.000.000 ton (berdasarkan Amdal 2015).

Total kebutuhan biaya yang digunakan untuk menjalankan operasional pengelolaan sampah pada skenario 2 adalah Rp. 765.553.007.670,00. Kebutuhan biaya operasional tersebut dikeluarkan untuk berjalannya operasional TPS3R, kendaraan angkut kecil, perawatan kontainer sampah (TPS), operasional kendaraan besar, serta operasional alat berat. Kebutuhan biaya operasional TPS3R adalah Rp. 15.516.784.800,00. Sedangkan kebutuhan biaya operasional kendaraan angkut kecil adalah Rp. 327.176.059.366,00. Adapun kebutuhan biaya operasional perawatan kontainer (TPS) adalah Rp. 18.388.494.002,00. Kebutuhan biaya operasional kendaraan besar mencapai Rp. 397.838.214.251,00. Sedangkan kebutuhan biaya operasional alat berat mencapai Rp. 6.633.455.250,00. Berdasarkan hasil simulasi, skenario 2 mengeluarkan biaya investasi untuk memenuhi kebutuhan pembangunan fasilitas TPS3R, kendaraan angkut kecil dan kendaraan angkut besar, kebutuhan kontainer (TPS), serta kebutuhan tambah alat berat. Total biaya investasi yang diperlukan untuk menjalankan skenario 2 mencapai Rp. 112.469.931.272,00. Biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan fasilitas TPS3R mencapai Rp. 80.835.900.000,00. Adapun kebutuhan biaya investasi untuk kendaraan kecil adalah Rp. 11.623.708.333,00. Kebutuhan biaya investasi untuk kontainer (TPS) adalah Rp. 7.580.662.465,00. Kebutuhan biaya investasi kendaraan besar mencapai Rp. 11.120.660.473,00. Sedangkan kebutuhan biaya investasi alat berat adalah Rp. 1.309.000.000,00. Adapun total hasil pendapatan dari produksi BBJP mencapai Rp. 413.862.189.379,00 dan total hasil pendapatan dari produksi pupuk kompos adalah Rp. 314.875.256.856,00.

### 5.3 Analisis Skenario 3

Upaya pengelolaan sampah pada skenario 3 menekan penuhnya kapasitas *landfill* di TPSA Bagendung dengan melakukan pengolahan sampah pencacahan plastik di sisi tengah dan produksi briket berbahan baku sampah (BBJP) di hilir. Timbunan sampah yang dihasilkan pada skenario 3 dipengaruhi oleh adanya laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon (tahun 2020) yaitu 1,49% dengan jumlah penduduknya yaitu 434.896 jiwa. Timbunan sampah yang dihasilkan Kota Cilegon dalam satu hari tahun 2023 mencapai 300.104 kg/hari. Pada akhir periode simulasi (tahun 2046) diperkirakan jumlah timbunan sampah dalam satu hari meningkat, mencapai 426.937 kg/hari. Pada skenario 3, penambahan jumlah kendaraan angkut sampah dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan angkut sampah. Jumlah awal kendaraan angkut kecil (berupa cator atau *pickup*) yang dimiliki Kota Cilegon pada tahun 2023 adalah 64 unit kendaraan, sedangkan berdasarkan hasil simulasi skenario 3 diperkirakan terdapat penambahan jumlah kendaraan angkut kecil pada tahun 2046 yaitu mencapai 189 unit kendaraan.

Kendaraan angkut kecil akan mengangkut sampah yang dihasilkan di sumber ke TPS3R dan TPS. Besar laju sampah diangkut ke TPS3R pada awal periode simulasi adalah 31.502 kg/hari, sedangkan laju diakhir periode simulasi mencapai 380.757 kg/hari. Adapun laju sampah diangkut ke TPS pada awal periode simulasi (tahun 2023) adalah 206.958 kg/hari, sedangkan laju ke TPS pada akhir periode simulasi (tahun 2046) adalah  $-1,56E-11$  kg/hari. Sampah residu hasil produksi pada TPS3R dan timbunan sampah di TPS diangkut ke TPSA Bagendung menggunakan kendaraan besar berupa *dump truck* atau *armroll*. Jumlah awal (tahun 2023) kendaraan besar adalah 41 unit dan jumlah diakhir periode simulasi (tahun 2046) adalah 60 unit.

Jumlah sampah yang masuk ke TPSA pada tahun 2023 adalah 293.358 kg/hari. Sebanyak 230.000 kg/hari sampah diserap untuk kebutuhan bahan baku produksi BBJP, sehingga laju *open dumping* diawal periode berkurang menjadi 63.358 kg/hari. Banyaknya sampah yang masuk ke TPSA pada tahun 2046 mencapai 354.198 kg/hari dan diserap sebesar 230.000 kg/hari untuk produksi BBJP sehingga laju *open dumping* pada tahun 2046 menyusut menjadi 124.198

kg/hari. Sampah yang masuk ke TPSA dan tidak diolah menjadi BBJP masuk ke sistem *open dumping* kemudian diangkut menuju *landfill* menggunakan alat berat. Jumlah alat berat yang tersedia di awal periode simulasi pada TPSA Bagendung adalah 2 unit dan diperkirakan akan bertambah mencapai 3 unit pada tahun 2046. Masuknya sampah ke TPSA akan meningkatkan kapasitas *landfill*. Kapasitas maksimum *landfill* TPSA Bagendung adalah 10.000.000 ton. Pada awal periode simulasi (tahun 2023) kapasitas *landfill* pada TPSA Bagendung adalah 7.647.684 ton dan diperkirakan pada akhir periode simulasi (tahun 2046) jumlahnya mencapai 8.360.705 ton. Adapun kapasitas tersisa *landfill* diakhir periode simulasi adalah 1.639.295 ton atau 16,39%.

Kebutuhan biaya operasional yang digunakan untuk menjalankan pengelolaan sampah pada skenario 3 dikeluarkan untuk operasional TPS3R, kendaraan angkut kecil, perawatan kontainer TPS, operasional kendaraan besar, serta operasional alat berat. Biaya yang dikeluarkan untuk operasional TPS3R adalah Rp. 15.516.784.800,00. Adapun kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk kendaraan angkut kecil adalah Rp. 327.176.059.366,00. Kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk perawatan kontainer TPS adalah Rp. 15.852.310.530,00. Kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk kendaraan besar mencapai Rp. 388.836.742.164,00. Sedangkan kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk alat berat mencapai Rp. 6.576.439.250,00. Total biaya operasional yang digunakan untuk menjalankan pengelolaan sampah pada skenario 3 adalah Rp. 753.958.336.111,00. Selain kebutuhan operasional, untuk menunjang upaya pengelolaan sampah, skenario 3 mengeluarkan biaya investasi untuk memenuhi kebutuhan pembangunan fasilitas TPS3R, kendaraan angkut kecil dan kendaraan angkut besar, kebutuhan kontainer TPS, serta kebutuhan tambah alat berat. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan fasilitas TPS3R mencapai Rp. 81.849.999.999,00. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk kendaraan angkut kecil adalah Rp. 11.623.708.333,00. Adapun biaya investasi yang dikeluarkan untuk kontainer TPS adalah Rp. 5.413.660.447,00. Kebutuhan biaya investasi yang dikeluarkan untuk kendaraan besar adalah Rp. 11.280.281.350,00. Sedangkan kebutuhan biaya investasi yang

dikeluarkan alat berat adalah Rp. 1.309.000.000,00. Sehingga total biaya investasi yang diperlukan untuk menjalankan skenario 3 adalah Rp. 111.404.650.130,00. Adapun berdasarkan hasil simulasi pendapatan yang didapat pada skenario 3 didapat dari produksi BBJP mencapai Rp. 413.862.434.922,00 dan total hasil pendapatan dari produksi pencacahan plastik adalah Rp. 2.405.801.261.451,00.

#### 5.4 Analisis Skenario 4

Upaya pengelolaan sampah pada skenario 4 menekan penuhnya kapasitas *landfill* di TPSA Bagendung dengan melakukan pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos dan pengolahan sampah plastik menjadi cacahan plastik di TPS3R (sisi tengah) serta produksi briket berbahan baku sampah yaitu BBJP (hilir). Timbunan sampah yang dihasilkan pada skenario 4 dipengaruhi oleh adanya laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon. Pada tahun 2020 laju pertumbuhan penduduk Kota Cilegon adalah 1,49% dan jumlah penduduknya yaitu 434.896 jiwa. Sehingga, tahun 2023, timbunan sampah yang dihasilkan Kota Cilegon dalam satu hari mencapai 300.104 kg/hari. Sedangkan pada akhir periode simulasi (tahun 2046) diperkirakan jumlah timbunan sampah dalam satu hari meningkat, mencapai 426.937 kg/hari. Penambahan jumlah kendaraan angkut sampah pada skenario 4 dilakukan dengan menyesuaikan kebutuhan angkut sampah. Jumlah awal kendaraan angkut kecil (cator atau *pickup*) yang dimiliki Kota Cilegon pada tahun 2023 adalah 64 unit. Sedangkan pada tahun 2046, hasil simulasi memperkirakan kebutuhan jumlah kendaraan angkut kecil mencapai 189 unit kendaraan.

Besarnya laju sampah diangkut ke TPS3R pada awal periode simulasi (2023) adalah 31.502 kg/hari. Adapun laju ke TPS3R diakhir periode simulasi (2046) adalah 380.757 kg/hari. Besarnya laju sampah diangkut ke TPS pada awal periode simulasi (tahun 2023) adalah 206.958 kg/hari, sedangkan laju ke TPS pada akhir periode simulasi (tahun 2046) adalah -1,56E-11 kg/hari. Sampah yang tidak dapat diproduksi pada TPS3R (sampah residu) dan sampah yang ditimbun pada TPS diangkut ke TPSA Bagendung menggunakan kendaraan besar berupa *dump truck* atau *armroll*. Jumlah awal (tahun 2023) kendaraan besar adalah 41 unit dan jumlah diakhir periode simulasi (tahun 2046) adalah 49 unit.

Pada tahun 2023, banyaknya sampah yang masuk ke TPSA adalah 290.565 kg/hari. Produksi BBJP menyerap sampah yang masuk ke TPSA (sebagai bahan baku BBJP) sebesar 230.000 kg/hari, sehingga laju *open dumping* diawal periode berkurang menjadi 60.565 kg/hari. Adapun pada tahun 2046 banyaknya sampah yang masuk ke TPSA mencapai 284.206 kg/hari dan diserap sebesar 230.000 kg/hari untuk produksi BBJP, sehingga laju *open dumping* pada tahun 2046 menyusut menjadi 54.206 kg/hari. Sampah yang masuk ke TPSA dan masuk ke sistem *open dumping* akan diangkut menuju *landfill* menggunakan alat berat. Pada tahun 2023, jumlah alat berat yang tersedia pada TPSA Bagendung adalah 2 unit dan tidak ada penambahan jumlah unit hingga akhir periode simulasi (tahun 2046). Kapasitas maksimum *landfill* TPSA Bagendung adalah 10.000.000 ton. Kapasitas *landfill* pada TPSA Bagendung tahun 2023 adalah 7.647.684 ton. Jumlahnya bertambah pada tahun 2046 mencapai 8.045.836 ton. Sehingga kapasitas tersisa *landfill* pada akhir periode simulasi adalah 1.954.164 ton atau 19,54%.

Pada skenario 4 kebutuhan biaya operasional dikeluarkan untuk menjalankan operasional pengelolaan sampah seperti operasional fasilitas TPS3R, kendaraan angkut kecil, perawatan kontainer TPS, operasional kendaraan besar, serta operasional alat berat. Pada skenario 4, biaya operasional yang dikeluarkan untuk TPS3R adalah Rp. 15.516.784.800,00. Adapun biaya operasional yang dikeluarkan untuk kendaraan angkut kecil adalah Rp. 327.176.059.366,00. Kebutuhan biaya operasional yang dikeluarkan untuk perawatan kontainer TPS adalah Rp. 15.852.310.530,00. Biaya operasional yang dikeluarkan untuk kendaraan besar adalah Rp. 365.320.173.513,00. Adapun biaya operasional yang dikeluarkan untuk alat berat adalah Rp. 6.414.300.000,00. Total biaya operasional yang diperlukan untuk menjalankan operasional pengelolaan sampah pada skenario 4 adalah Rp. 730.279.628.211,00. Selain kebutuhan operasional, kebutuhan investasi diperlukan untuk menunjang upaya pengelolaan sampah. Pada skenario 4 biaya investasi dikeluarkan untuk memenuhi kebutuhan pembangunan fasilitas TPS3R, kendaraan angkut kecil dan kendaraan angkut besar, kebutuhan kontainer TPS, serta kebutuhan tambah alat berat. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk pembangunan fasilitas TPS3R adalah Rp. 82.685.900.000,00. Adapun biaya

investasi yang dikeluarkan untuk kendaraan angkut kecil adalah Rp. 11.623.708.333,00. Biaya investasi yang dikeluarkan untuk kontainer TPS adalah Rp. 5.413.660.447,00. Kebutuhan biaya investasi yang dikeluarkan untuk kendaraan besar adalah Rp. 4.944.637.865,00. Adapun pada skenario 4 tidak mengeluarkan biaya investasi karena kebutuhan angkut sampah di TPSA Bagendung masih mencukupi dengan 2 unit alat berat. Sehingga total biaya investasi yang diperlukan untuk skenario 4 adalah Rp. 104.667.906.645,00. Berdasarkan hasil simulasi, pendapatan yang didapat pada skenario 4 diperoleh dari hasil penjualan BBJP, pupuk kompos, serta pencacahan plastik. Pendapatan yang didapat dari produksi BBJP adalah Rp. 413.862.881.315,00. Sedangkan total pendapatan yang didapat dari produksi pupuk kompos adalah Rp. 314.875.256.856,00. Adapun total hasil pendapatan dari produksi pencacahan plastik mencapai Rp. 2.405.835.867.230,00.

### **5.5 Analisis Perbandingan Skenario**

Kondisi *existing* pengelolaan sampah di Kota Cilegon memperkirakan kapasitas *landfill* TPSA Bagendung akan penuh dan tidak dapat menampung sampah pada tahun 2042. Penanganan sampah pada kondisi *existing* belum sepenuhnya berjalan secara optimal sehingga perlu dilakukan upaya pengelolaan sampah dari hulu hingga ke hilir untuk menekan penuhnya kapasitas *landfill*. Dalam penelitian ini terdapat empat alternatif skenario pengelolaan sampah yang dikembangkan berupa pembangunan fasilitas TPS3R di sisi tengah dan produksi BBJP di sisi hilir. Untuk membandingkan hasil simulasi dari keempat skenario dilakukan perbandingan parameter yang dilihat dari sisi lingkungan hidup. Parameter tersebut adalah laju sampah diangkut ke TPS3R tahun 2046, laju sampah diangkut ke TPS tahun 2046, laju sampah diangkut ke TPSA tahun 2046, banyaknya sampah yang masuk ke TPSA tahun 2046, laju banyaknya sampah yang masuk ke sistem *open dumping* tahun 2046, kapasitas *landfill* tahun 2046, serta tahun *landfill* penuh. Selain itu hasil simulasi dibandingkan menggunakan *Benefit-Cost Ratio* (BCR) untuk mengetahui nilai manfaat dari investasi yang direncanakan. Nilai manfaat yang dibandingkan antara lain pendapatan, laju angkut ke TPSA, laju

ke TPS3R, sampah diolah di TPS3R, sampah diolah menjadi BBJP, kapasitas tersisa *landfill*.

Laju sampah diangkut ke TPS3R merupakan salah satu parameter pembandingan yang digunakan untuk mengetahui skenario dengan nilai angkut ke TPS3R yang paling maksimum. Semakin banyak sampah yang terangkut ke TPS3R maka semakin kecil (sedikit) timbunan sampah di TPS. Berdasarkan Tabel 22 nilai laju ke TPS3R paling maksimum terjadi pada skenario 3 dan skenario 4. Pada skenario 3 dan skenario 4 nilai laju ke TPS3R mencapai 380.757 kg/hari. Hal tersebut disebabkan skenario 3 dan skenario 4 mengalami penambahan jumlah TPS3R sebanyak 2 unit/tahun dengan kapasitas masing-masing TPS3R sebesar 2.100 kg/unit. Sehingga dengan adanya penambahan jumlah TPS3R pada akhir periode simulasi skenario 3 dan skenario 4 merupakan skenario dengan laju pengangkutan sampah ke TPS3R terbaik (paling maksimum).

Parameter laju ke TPS digunakan untuk mengetahui skenario dengan nilai angkut ke TPS yang paling minimum. Semakin kecil jumlah sampah yang terangkut ke TPS maka semakin baik karena laju sampah akan dominan terangkut ke TPS3R dan sampah akan diolah terlebih dahulu sebelum diangkut ke TPSA. Tabel 22 menunjukkan nilai laju ke TPS yang paling minimum adalah skenario 3 dan skenario 4 yaitu  $-1,56E-11$  kg/hari. Artinya pada kondisi tersebut sudah tidak ada sampah yang terangkut ke TPS dan secara maksimal sampah terangkut ke TPS3R. Kondisi tersebut dapat terjadi karena sampah di sumber tersedap ke TPS3R, bank sampah, dan sampah dikelola pihak lain. Berdasarkan hasil simulasi skenario dengan jumlah pengangkutan sampah ke TPS paling minimum pada tahun 2046 adalah skenario 3 dan skenario 4.

Parameter laju angkut ke TPSA Bagendung merupakan banyaknya sampah yang diangkut dari TPS ke TPSA menggunakan kendaraan besar. Nilai laju angkut yang paling minimum merupakan nilai yang terbaik. Artinya timbunan sampah pada TPS semakin sedikit dan jumlah sampah yang terangkut ke TPSA semakin berkurang. Pada Tabel 22 nilai laju angkut ke TPSA pada skenario 3 dan skenario 4 merupakan nilai yang paling minimum yaitu 3.023 kg/hari. Kondisi tersebut dapat terjadi disebabkan sampah lebih banyak terangkut ke TPS3R dan menyebabkan

suplai sampah di TPS berkurang, sehingga laju angkut dari TPS ke TPSA berkurang. Kondisi ini merupakan kondisi terbaik karena sebagian besar sampah akan diolah terlebih dahulu di TPS3R sebelum masuk dan tertimbun di TPSA. Selain itu kondisi pada skenario 3 dan skenario 4 akan menekan jumlah investasi kendaraan besar.

Parameter pembanding lainnya adalah banyaknya sampah yang masuk ke TPSA. Nilai banyaknya sampah yang masuk ke TPSA dibandingkan untuk diketahui skenario yang memiliki nilai yang paling minimum. Semakin sedikit sampah yang masuk ke TPSA (hilir) maka semakin besar upaya pengolahan sampah di sisi tengah. Berdasarkan hasil simulasi, nilai yang paling minimum untuk parameter masuk ke TPSA adalah skenario 4 yaitu 284.206 kg. Skenario 4 menekan jumlah sampah yang masuk ke TPSA dengan memaksimalkan sistem *recycle* pada TPS3R. Upaya yang dilakukan adalah memaksimalkan pengolahan sampah anorganik dan organik menjadi cacahan plastik dan pupuk kompos sehingga hasil residu sampah pada TPS3R sedikit.

Parameter pembanding laju *open dumping* merupakan laju banyaknya sampah yang masuk ke sistem pembuangan terbuka di mana limbah padat dibuang tanpa dilapisi atau ditutup. Terdapat upaya pengolahan di hilir (TPSA) yaitu pengolahan sampah menjadi BBJP sebanyak 230.000 kg/hari. Sisa sampah yang masuk ke TPSA namun tidak diolah menjadi BBJP akan masuk dalam sistem *open dumping*. Semakin kecil laju terjadinya *open dumping* semakin baik, artinya upaya pengolahan sampah dilakukan secara maksimal. Berdasarkan hasil simulasi, skenario 4 merupakan skenario dengan nilai laju *open dumping* yang paling kecil yaitu 54.206 kg/hari. Upaya pengolahan sampah di sisi tengah yang dilakukan pada skenario 4 secara maksimal dapat mengurangi jumlah sampah yang masuk ke TPSA dan upaya yang dilakukan di hilir membantu menekan jumlah sampah yang masuk ke dalam sistem *open dumping*.

Adapun hasil akhir dari adanya upaya yang dijalankan dapat dilihat dari total akhir kondisi kapasitas *landfill* pada tahun 2046. Kapasitas *landfill* yang paling kecil merupakan yang paling baik. Berdasarkan hasil simulasi skenario dengan kapasitas *landfill* tahun 2046 terkecil adalah skenario 4 yaitu 8.045.836 ton. Hal ini



terjadi disebabkan pada skenario 4 upaya *recycle* pada TPS3R berhasil mengurangi timbunan sampah organik dan anorganik yang tidak terolah dan langsung diangkut ke TPSA. Selain itu di sisi hilir terdapat upaya produksi BBJP sehingga mereduksi jumlah sampah yang masuk dan tertimbun pada *landfill*.

Berdasarkan hasil simulasi, upaya pengolahan sampah di sisi tengah dan di hilir merupakan kunci untuk memperpanjang umur *landfill*. Skenario 4 merupakan skenario dengan keterisian *landfill* paling lama. Diperkirakan kondisi *landfill* pada skenario 4 akan penuh di tahun 2089. Pada kondisi *existing*, *landfill* akan mencapai 10.000.000 ton pada tahun 2042, hal ini disebabkan upaya pengolahan sampah di sisi tengah belum berjalan secara maksimal dan tidak adanya pengolahan sampah di sisi hilir. Upaya yang diterapkan pada skenario 4 berhasil menekan jumlah sampah yang tertimbun di *landfill* dan memperpanjang umur *landfill*.

Perbandingan lain dilakukan menggunakan *Benefit-Cost Ratio* (BCR) dengan membandingkan nilai manfaat dengan nilai investasi. Nilai manfaat tersebut antara lain pendapatan, laju angkut ke TPSA, laju ke TPS3R, volume sampah di TPS3R, volume sampah diolah menjadi BBJP, serta kapasitas tersisa *landfill*. Perbandingan BCR terbaik antara pendapatan dan biaya investasi ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Didapatkan nilai perbandingan antara pendapatan dan nilai investasi paling maksimum adalah skenario 4 dengan nilai rasio yaitu 29,95. Nilai perbandingan tersebut merupakan yang terbaik disebabkan pada skenario 4 pendapatan yang dihasilkan jumlahnya besar dan biaya investasi yang dibutuhkan tidak sebesar skenario 2 dan skenario 3 sehingga rasio perbandingan yang didapat merupakan yang paling besar diantara skenario lain. Pendapatan yang dihasilkan pada skenario 4 (sebesar Rp. 3.134.574.005.401) didapat dari hasil penjualan pupuk kompos, plastik cacahan, dan juga BBJP. Sedangkan biaya investasi yang dibutuhkan sebesar Rp. 104.667.906.645. Biaya investasi tersebut lebih besar dibandingkan dengan skenario 1 dikarenakan pada skenario 1 tidak ada biaya investasi yang dikeluarkan untuk membangun TPS3R, sedangkan apabila dibandingkan dengan skenario 2 dan skenario 3 biaya investasi lebih kecil karena pada skenario 4 tidak ada penambahan unit alat berat dan penambahan kendaraan besar tidak bertambah secara signifikan.

Perbandingan BCR terbaik pada laju angkut ke TPSA ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling minimum. Nilai perbandingan rasio paling minimum didapatkan pada skenario 3 yaitu 0,000000027140. Nilai laju angkut ke TPSA pada skenario 3 adalah 3.023 kg/hari. Nilai tersebut merupakan nilai yang paling minimum yang disebabkan adanya pengangkutan sampah secara maksimal ke TPS3R, sehingga sampah yang tertimbun di TPS dan diangkut ke TPSA jumlahnya kecil. Nilai laju tersebut dibandingkan dengan nilai investasinya yaitu Rp. 111.404.650.130,00.

Adapun perbandingan BCR untuk laju ke TPS3R yang terbaik ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai rasio BCR untuk laju ke TPS3R yang paling maksimum terdapat pada skenario 4 yaitu 0,00000364. Laju angkut ke TPS3R pada skenario 4 adalah 380.757 kg/hari. Nilai tersebut merupakan nilai yang paling maksimum disebabkan pada skenario 4 sampah diprioritaskan untuk diangkut ke TPS3R untuk dilakukan pengolahan sampah organik dan anorganik. Adapun nilai laju ke TPS3R dibandingkan dengan nilai investasinya yaitu Rp. 104.667.906.645,00. Dibandingkan dengan skenario lain yang memiliki upaya pembangunan TPS3R, nilai investasi pada skenario 4 merupakan yang terkecil disebabkan tidak ada penambahan unit alat berat dan penambahan kendaraan besar tidak bertambah secara signifikan.

Perbandingan BCR lainnya adalah banyaknya sampah yang diolah di TPS3R. Perbandingan terbaik antara sampah diolah di TPS3R dengan nilai investasinya ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai perbandingan rasio paling maksimum didapatkan pada skenario 4 yaitu 0,00000133. Banyaknya sampah yang diolah di TPS3R pada skenario 4 adalah 139.218,92 kg/hari. Nilai tersebut merupakan yang paling maksimum disebabkan pada skenario 4 terdapat dua jenis pengolahan sampah yaitu pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos dan sampah anorganik menjadi cacahan plastik, sehingga sampah yang diolah TPS3R pada skenario 4 lebih banyak dibandingkan dengan skenario 2 dan skenario 4. Adapun nilai investasi yang dikeluarkan untuk skenario 4 adalah Rp. 104.667.906.645,00.

Perbandingan BCR terbaik untuk sampah diolah menjadi BBJP ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Skenario 1 merupakan skenario dengan perbandingan nilai BCR yang paling maksimum yaitu 0,00000578. Nilai tersebut maksimum disebabkan karena nilai investasi pada skenario 1 merupakan yang paling kecil (karena tidak ada biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan fasilitas TPS3R) yaitu Rp. 39.797.012.222,00. Sedangkan jumlah produksi BBJP untuk setiap skenario jumlahnya sama yaitu 230.000 kg/hari. Sehingga hasil perbandingan yang didapat menyebabkan nilai BCR pada skenario 1 merupakan yang paling maksimum.

Selanjutnya, perbandingan BCR terbaik untuk kapasitas tersisa *landfill* ditunjukkan dengan nilai perbandingan yang paling maksimum. Nilai perbandingan rasio paling maksimum terdapat pada skenario 1 yaitu 0,00003115. Skenario 1 memiliki kapasitas tersisa yang paling kecil dibandingkan skenario lainnya, yaitu 1.239.618 ton. Walaupun nilai tersisa skenario 1 yang paling kecil, namun rasionya menjadi yang paling maksimum disebabkan nilai investasi skenario 1 merupakan yang paling kecil. Nilai investasi pada skenario 1 yaitu Rp. 39.797.012.222,00.

Berdasarkan hasil rekapitulasi yang ditunjukkan pada

Tabel 30, dapat disimpulkan skenario terbaik yang dapat diterapkan adalah skenario 4. Hal tersebut disebabkan perbandingan manfaat dan pendapatan pada skenario 4 lebih unggul dibandingkan skenario lainnya pada beberapa aspek. Aspek yang lebih unggul pada skenario 4 antara lain pendapatan, laju angkut ke TPS3R, dan volume sampah diolah di TPS3R. Adapun untuk dapat menjalankan skenario terbaik, pemerintah cilegon perlu untuk melakukan pengadaan fasilitas TPS3R, TPS, alat angkut kecil, alat angkut besar, serta alat berat berikut dengan kebutuhan operasionalnya.

**Tabel 31. Rekapitulasi Kebutuhan Investasi dan Operasional Skenario 4**

Kebutuhan Investasi				
No.	Keterangan	Jumlah	Harga	Total
<b>A. TPS3R</b>				
1.	Mesin Pencacah	1	Rp 37.000.000,00	Rp 37.000.000,00
2.	Komposting	1	Rp 16.718.000,00	Rp 16.718.000,00
3.	Konstruksi	1	Rp 1.000.000.000,00	Rp 1.000.000.000,00
4.	Lahan	600	Rp 1.000.000,00	Rp 600.000.000,00
			<b>Total</b>	<b>Rp 1.653.718.000,00</b>

**Tabel 31. Rekapitulasi Kebutuhan Investasi dan Operasional Skenario 4 (Lanjutan)**

<b>Kebutuhan Investasi</b>				
<b>No.</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga</b>	<b>Total</b>
<b>B. TPS</b>				
5.	Kontainer	1	Rp 63.400.000,00	Rp 63.400.000,00
			<b>Total</b>	<b>Rp 63.400.000,00</b>
<b>C. Kendaraan Kecil (Cator)</b>				
6.	Cator	1	Rp 93.000.000,00	Rp 93.000.000,00
			<b>Total</b>	<b>Rp 93.000.000,00</b>
<b>D. Kendaraan Besar (Dump truck/Arm Roll)</b>				
7.	Dump truck	1	Rp 592.680.000,00	Rp 592.680.000,00
			<b>Total</b>	<b>Rp 592.680.000,00</b>
<b>Kebutuhan Operasional</b>				
<b>No.</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Jumlah</b>	<b>Harga</b>	<b>Total</b>
<b>A. Operasional TPS3R</b>				
1.	Operator Alat (1 shift)	5	Rp 4.230.000,00	Rp 21.150.000,00
2.	Listrik	1	Rp 1.500.000,00	Rp 1.500.000,00
3.	Air	1	Rp 500.000,00	Rp 500.000,00
4.	Pemeliharaan & Overhead	1	Rp 895.300,00	Rp 895.300,00
5.	Habis Pakai	605.336	Rp 3.000,00	Rp 1.816.008,00
			<b>Total Perbulan</b>	<b>Rp 25.861.308,00</b>
			<b>Total Pertahun</b>	<b>Rp 310.335.696,00</b>
<b>B. Operasional TPS</b>				
6.	Perawatan	1	Rp 4.211.735,00	Rp 4.211.735,00
			<b>Total Pertahun</b>	<b>Rp 4.211.735,00</b>
<b>C. Operasional Kendaraan Kecil (Cator)</b>				
7.	Upah Operator	2	Rp 4.230.000,00	Rp 8.460.000,00
8.	Biaya Bahan Bakar	1	Rp 66.000,00	Rp 66.000,00
9.	Biaya Perpanjangan Pajak Kendaraan	1	Rp 38.333,00	Rp 38.333,00
10.	Biaya APD	2	Rp 29.167,00	Rp 58.334,00
			<b>Total Perbulan</b>	<b>Rp 8.622.667,00</b>
			<b>Total Pertahun</b>	<b>Rp 103.472.004,00</b>
<b>D. Operasional Kendaraan Besar (Dump truck/Arm Roll)</b>				
11.	Upah Operator	5	Rp 4.230.000,00	Rp 21.150.000,00
12.	Biaya Bahan Bakar	1	Rp 3.506.250,00	Rp 3.506.250,00
13.	Biaya Perpanjangan Pajak Kendaraan	1	Rp 416.666,00	Rp 416.666,00
14.	Biaya APD Cator	5	Rp 29.167,00	Rp 145.835,00
			<b>Total Perbulan</b>	<b>Rp 25.218.751,00</b>
			<b>Total Pertahun</b>	<b>Rp 302.625.012,00</b>

Referensi biaya yang digunakan pada rekapitulasi kebutuhan investasi dan operasional skenario 4 mengacu pada Tabel 4. Berdasarkan Tabel 31 hal yang perlu disiapkan pemerintah untuk menjalankan skenario 4 meliputi kebutuhan investasi dan operasional. Kebutuhan investasi meliputi investasi pembangunan TPS3R yang

dibutuhkan antara lain pengadaan mesin pencacah plastik, mesin komposting, konstruksi, serta lahan. Kemudian kebutuhan investasi lain meliputi pengadaan kontainer TPS, pengadaan cator, serta *dump truck*. Adapun kebutuhan operasional TPS3R meliputi upah operator alat, listrik, air, pemeliharaan dan *overhead*, serta barang habis pakai. Sedangkan kebutuhan operasional TPS berupa perawatan kontainer sampah. Kemudian kebutuhan operasional kendaraan baik cator maupun *dump truck* berupa upah operator, biaya bahan bakar, biaya perpanjangan pajak kendaraan, serta biaya APD.

Konsekuensi adanya penyesuaian kebutuhan pengelolaan sampah pada skenario 4 menyebabkan meningkatnya kebutuhan investasi dan operasional. Total kebutuhan investasi pada kondisi *existing* adalah Rp. 33.446.272.806,00 sedangkan total kebutuhan investasi pada skenario 4 adalah Rp. 104.667.906.645,00. Adapun untuk total kebutuhan operasional pada kondisi *existing* adalah Rp. 645.530.629.691,00 dan total kebutuhan operasional pada skenario 4 adalah Rp. 730.279.628.211,00. Hal ini disebabkan pada kondisi *existing* kebutuhan kendaraan angkut seperti cator jumlah penambahannya masih ditentukan setiap tahunnya, sedangkan pada skenario 4 penambahannya menyesuaikan kebutuhan pengangkutan sampah. Selain itu pada kondisi *existing* tidak diberlakukan upaya pengelolaan sampah, sehingga tidak ada pengurangan jumlah sampah dan beban pengangkutan bertambah. Adapun penelitian terdahulu terkait manajemen *landfill* mengembangkan skenario intervensi memiliki hasil yang relevan dengan penelitian ini. Penelitian Darmawan *et al* (2020) mengembangkan skenario intervensi menggunakan sistem dinamis sebagai strategi pengelolaan sampah pada TPST Bantargebang. Penelitian tersebut menghasilkan adanya kenaikan rasio produksi pemulung terhadap *rate* sampah dan persentase status kapasitas *landfill* tidak mencapai 100% sehingga TPST Bantargebang masih dapat digunakan hingga akhir periode simulasi. Hasil penelitian ini cukup relevan dengan penelitian Darmawan *et al* (2020) karena adanya upaya pengelolaan sampah menyebabkan munculnya konsekuensi berupa kenaikan biaya operasional dan investasi dibandingkan dengan kondisi awal pada sistem.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan, kesimpulan yang dapat ditarik pada penelitian ini adalah:

1. Skenario pengelolaan sampah yang dapat mencegah penuhnya TPSA Bagendung adalah skenario 1 dengan upaya produksi BBJP (persentase sisa kapasitas *landfill* 12,39%), skenario 2 dengan upaya produksi pupuk kompos pada TPS3R dan produksi BBJP (persentase sisa kapasitas *landfill* 15,53%), skenario 3 dengan upaya produksi cacahan plastik pada TPS3R dan produksi BBJP (persentase sisa kapasitas *landfill* 16,39%), skenario 4 dengan upaya produksi pupuk kompos dan cacahan plastik pada TPS3R serta produksi BBJP (persentase sisa kapasitas *landfill* 19,54%).
2. Skenario yang paling banyak menyisakan kapasitas *landfill* adalah skenario 4. Diperkirakan *landfill* terisi mencapai 8.045.836 ton pada tahun 2046, sehingga menyisakan 1.954.164 ton atau 19,54% dari total kapasitas maksimumnya.
3. Skenario terpilih untuk mencegah penuhnya TPSA adalah skenario 4. Dalam menjalankan skenario 4, kebutuhan investasi yang perlu disiapkan adalah mesin pencacah, mesin komposting, konstruksi, lahan, kontainer, cator, serta *dump truck*. Adapun kebutuhan operasional yang perlu disiapkan antara lain upah operator TPS3R, listrik, air, pemeliharaan dan *overhead*, barang habis pakai, perawatan, upah operator cator, biaya bahan bakar cator, biaya perpanjangan pajak kendaraan cator, biaya APD operator cator, upah operator *dump truck*, biaya bahan bakar *dump truck*, biaya perpanjangan pajak kendaraan *dump truck*, biaya APD operator *dump truck*.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, berikut merupakan saran untuk Pemerintah Kota Cilegon dan Dinas Lingkungan Hidup Kota Cilegon, antara lain:

1. Perlu dipertimbangkan penambahan ritase pengangkutan sampah atau penambahan kendaraan angkut kecil dan kendaraan angkut besar menyesuaikan dengan kebutuhan pengangkutan sampah. Penambahan ritase pengangkutan atau penambahan kendaraan angkut dilakukan karena adanya peningkatan produksi sampah.
2. Perlu dilakukan *monitoring* serta evaluasi terhadap pengelolaan sampah pada fasilitas TPS3R.

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan penambahan skenario pengolahan sampah di hulu yang banyak mengambil andil peran masyarakat untuk mengolah sampah.
2. Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan penambahan skenario terkait kebijakan pemerintah terhadap pengurangan dan penanganan sampah di hulu.
3. Diperlukan penentuan titik penempatan TPS3R sehingga jarak dan rute optimal dapat diperhitungkan dan ditetapkan.





- Broeke, G. t., & Tobi, H. (2021). Mapping Validity And Validation In Modelling For Interdisciplinary Research. *Quality & Quantity*, 55, 1619 - 1620. doi:<https://doi.org/10.1007/s11135-020-01073-8>
- Budiono, A. (2012). Pengukuran Dampak Sosial: Sebuah Tinjauan Literatur Terhadap Metode, Keterbatasan, Dan Aplikasinya. *Bina Ekonomi*, 21(2), 135.
- Crabolu, G., Font, X., & Eker, S. (2023). Evaluating Policy Complexity With Causal Loop Diagrams. *Annals of Tourism Research*, 100, 4. doi:<https://doi.org/10.1016/j.annals.2023.103572>
- Darmawan, A., Soesilo, T. E., & Wahyono, S. (2020). Model Optimasi Pengelolaan Sampah di TPA (Suatu Studi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang). *Jurnal Pendidikan Lingkungan dan Pembangunan Berkelanjutan*, 21(02), 13-29. doi:<https://doi.org/10.21009/PLPB.212.02>
- Dobiki, J. (2018). Analisis Ketersediaan Prasarana Persampahan di Pulau Kuno dan Pulau Kakara di Kabupaten Halmahera Utara. *Jurnal Spasial*, 5(2), 221 - 222. doi:<https://doi.org/10.35793/sp.v5i2.20803>
- Elamin, M. Z., Ilmi, K. N., Tahirah, T., Zarnuzi, Y. A., Suci, Y. C., Rahmawati, D. R., . . . Nasifa, I. F. (2018). Analisis Pengelolaan Sampah Pada Masyarakat Desa Disanah Kecamatan Sreseh Kabupaten Sampang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(4), 369. doi:<https://doi.org/10.20473/jkl.v10i4.2018.368-375>
- Habibah, E., Novianti, F., & Saputra, H. (2020). Analisis Terhadap Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Penerapan Kebijakan Pengelolaan Sampah Di Yogyakarta Menggunakan Pemodelan Sistem Dinamis. *Jurnal Analisa Sosiologi*. *Jurnal Analisa Sosiologi*, 9, 124 - 135. doi:<https://doi.org/10.20961/jas.v9i0.39809>
- Hanafi, I., & Fitrianto, A. (2022). Skenario Kebijakan Tentang Ruang Terbuka Hijau di Kota Batu: Suatu Pendekatan Simulasi. *Jurnal Administrasi Publik*, 8(1), 1 - 17. doi:<https://doi.org/10.26618/kjap.v8i1.6998>
- Herlina, & Febryanti. (2021). Sosialisasi Dampak Positif Dan Negatif Sampah Bagi Manusia Dan Lingkungan Di Desa Karombang. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 8. doi:10.35329/sipissangngi.v1i2.1979
- Irmawartini, Mulyati, S. S., & Pujiono. (2023). Pengelolaan Sampah Dari Hulu Ke Hilir Di Kota Bandung. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 22(2), 233. doi:<https://doi.org/10.14710/jkli.22.2.229-236>

- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. World Bank Publications. doi:10.1596/978-1-4648-1329-0
- Manurung, D., Bintoro, H., Hadi, S., & Lubis, I. (2016). Analisis Pemilihan Wilayah Terkait Dengan TPA Regional Di TPST Bantargebang Menggunakan Metode Topsis. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 17(2), 80. doi:https://doi.org/10.29122/jtl.v17i2.27
- Maricar, M. A. (2019). Analisa Perbandingan Nilai Akurasi Moving Average dan Exponential Smoothing Untuk Sistem Peramalan Pendapatan Pada Perusahaan XYZ. *Jurnal Sistem dan Informatika*, 13(2), 39.
- Maryati, S., Arifiani, N. F., Humaira, A. N., & Putri, H. T. (2018). Factors influencing household participation in solid waste management (Case study: Waste Bank Malang). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 124. doi:10.1088/1755-1315/124/1/012015
- Mirwan, M., & Maulidah, A. (2022). Perencanaan Sistem Pengangkutan Sampah dengan Metode Dinamis di UPTD Tumpang. *The National Environmental Science and Engineering Conference*, 3(1), 7 - 14.
- Montgomery, D. C., Jennings, C. L., & Kulahci, M. (2008). *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting* (Edisi Pertama ed.). Hoboken: John Wiley & Sons. Inc.
- Nisa, S. Q., Murti, R. H., & Jawwad, M. A. (2023). Estimasi Luas Lahan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kota Kediri dengan Pendekatan Sistem Dinamik. *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 15(1), 40. doi:https://doi.org/10.33005/envirotek.v15i1.12
- Panggabean, F. M., Ekaputra, V., & Satria, T. G. (2018). Perancangan Sistem Forecasting Tren Penyalahgunaan Napza Menggunakan Pendekatan System Dynamics. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*, 7(28), 442.
- Parmawati, T., Hernawan, E., & Listyarini, S. (2023). Pemodelan Sistem Pengelolaan Sampah Di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Kabupaten Tana Tidung Dengan Pendekatan System Dynamic. *Media Ilmiah Teknik Lingkungan (MITL)*, 8(1), 17-24. doi:https://doi.org/10.33084/mitl.v8i1.4651
- Purba, I. G., Putri, D. A., Sitorus, R. J., & Sari, I. P. (2023). Pendampingan Pengelolaan Sampah Terpadu Masyarakat Desa Tanjung Pering Kecamatan

Indralaya Utara. *Jurnal Panrita Abdi*, 7(2).  
doi:<https://doi.org/10.20956/pa.v7i2.19161>

Purnomo, C. W. (2020). *Solusi Pengelolaan Sampah Kota*. Gajah Mada University Press.

Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional. (2023). *Fasilitas TPS3R Tahun 2022*. Retrieved from SIPSN MENLHK:  
<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/home/fasilitas/tps3r>

Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional. (2023). *Komposisi Sampah Kota Cilegon Tahun 2022*. Retrieved from SIPSN MENLHK:  
<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>

Somantri, A. S., & Thahir, R. (2007). Analisis Sistem Dinamik Ketersediaan Beras Di Merauke Dalam Rangka Menuju Lumbung Padi Bagi Kawasan Timur Indonesia. *Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian*, 3. Retrieved from  
<https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/3459>

Sukadaryati, & Andini, S. (2021). Upaya Pengelolaan Minim Sampah Rumah Tangga. *Jurnal Silva Tropika*, 5(2), 424.

Sururi, I., & Agustapraja, H. R. (2020). Studi Kelayakan Investasi Perumahan Menggunakan Metode Benefit Cost Ratio. *Jurnal Teknik*, 18(1), 54 - 55.  
doi:<https://doi.org/10.37031/jt.v18i1.68>

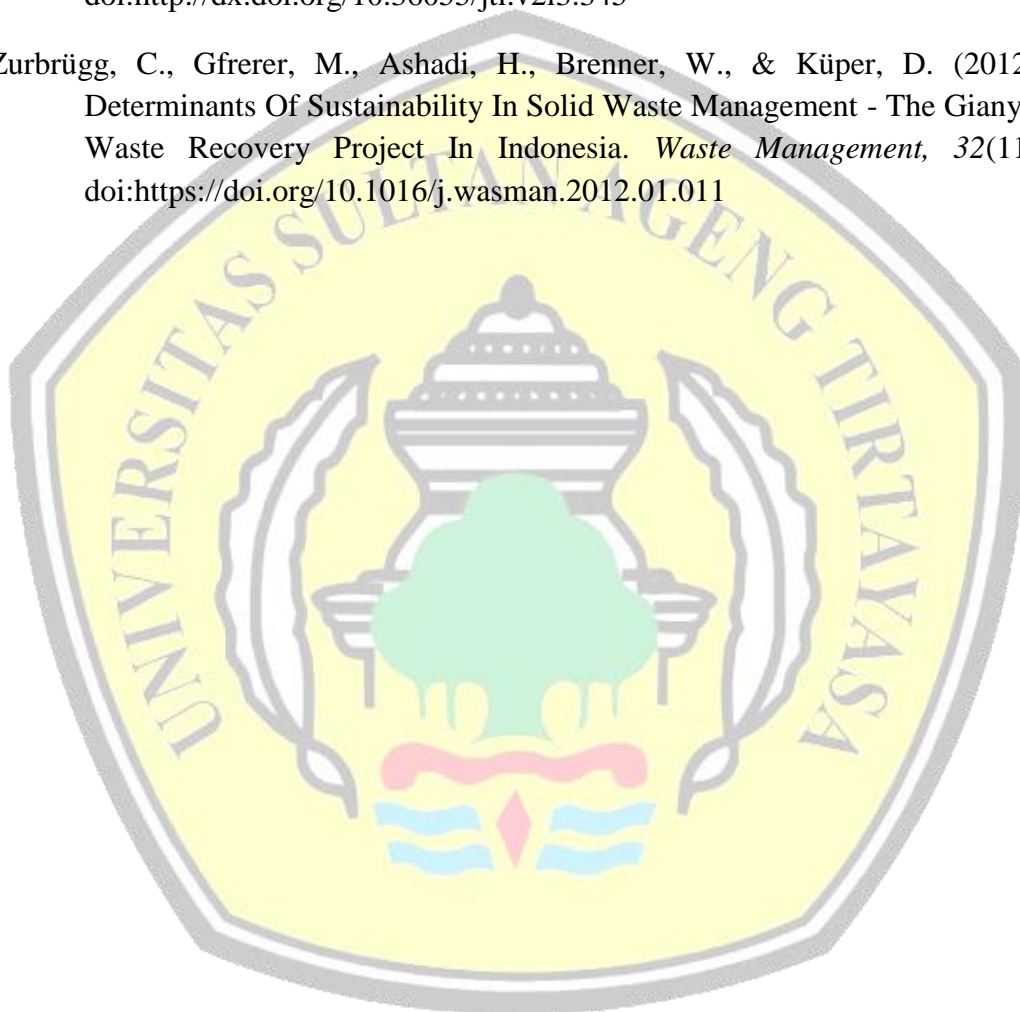
Suryani, A. S. (2014). Peran Bank Sampah Dalam Efektivitas Pengelolaan Sampah (Studi Kasus Bank Sampah Malang). *Aspirasi*, 5(1), 72 - 75.  
doi:<https://doi.org/10.46807/aspirasi.v5i1.447>

Suryani, E., Hendrawan, R. A., & Rahmawati, U. E. (2021). *Model Dan Simulasi Sistem Dinamik*. Deepublish.

Suryowati, E. (2023). *Co-firing PLTU Suralaya, 5 Persen Bahan Bakarnya dari Sampah*. Retrieved Maret 27, 2023, from JawaPos.com:  
<https://www.jawapos.com/energi/01432452/cofiring-pltu-suralaya-5-persen-bahan-bakarnya-dari-sampah>

Tajudin, A. (2023). *TPSA Bagendung Tampung Sampah 245 Ton per Hari*. Retrieved Januari 4, 2024, from TribunBanten.com:  
<https://banten.tribunnews.com/2023/09/25/tpsa-bagendung-tampung-sampah-245-ton-per-hari-dlh-cilegon-paling-banyak-sampah-rumah-tangga>

- Widodo, E. M., Rifa'i, A., & Fuadyani, R. (2023). Sistem Distribusi Logistik Dengan Pendekatan Sistem Dinamik Untuk Mitigasi Bencana Gunung Merapi. *Matrik (Jurnal Manajemen dan Teknik Industri-Produksi)*, 23(2), 101 - 104. doi:<http://dx.doi.org/10.30587/matrik.v23i2.3885>
- Wildanurizal, Bahauddin, A., & Ferdinant, P. F. (2014). Perancangan Model Simulasi Pengelolaan Sampah Dengan Pendekatan Sistem Dinamis Di Kota Cilegon. *Jurnal Teknik Industri*, 2(3), 1 - 7. doi:<http://dx.doi.org/10.36055/jti.v2i3.345>
- Zurbrügg, C., Gfrerer, M., Ashadi, H., Brenner, W., & Küper, D. (2012). Determinants Of Sustainability In Solid Waste Management - The Gianyar Waste Recovery Project In Indonesia. *Waste Management*, 32(11). doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.011>





# LAMPIRAN

**Lampiran 1. Rincian Formulasi Parameter Model Existing**

No	Parameter	Rumus	Unit
1	%Penanganan DLH	'Sampah diangkut DLH'*100/'Laju Timbunan Sampah'	
2	Biaya Investasi	0<<Rp>>	Rp
3	Biaya Investasi Alat Berat	0<<Rp>>	Rp
4	Biaya Investasi Kendaraan Besar	0<<Rp>>	Rp
5	Biaya Investasi Kontainer	0<<Rp>>	Rp
6	Biaya Operasional Alat Berat	0<<Rp>>	Rp
7	Biaya Operasional Kendaraan Besar	0<<Rp>>	Rp
8	Biaya Operasional Kendaraan Kecil	0<<Rp>>	Rp
9	Biaya Operasional Kontainer	0<<Rp>>	Rp
10	Daya Angkut Alat Berat	'Jumlah Alat Berat'*'Kapasitas Alat Berat'	kg/da
11	Faktor Penyusutan Alami	3%/365	%
12	Investasi Kendaraan	2<<Unit/yr>>	unit/yr
13	Jumlah Alat Berat	2<<Unit>>	unit
14	Jumlah Kendaraan Besar	41<<Unit>>	unit
15	Jumlah Kendaraan Kecil	64<<Unit>>	unit
16	Jumlah Kontainer	68<<Unit>>	unit
17	Jumlah Penduduk	434896 <<Orang>>	orang
18	Kapasitas Alat Berat	173808<<Kg/Unit/da>>	kg/(da*unit)
19	Kapasitas Kendaraan Besar	2100<<Kg/Unit>>	kg/unit
20	Kapasitas Kendaraan Kecil	800<<Kg/Unit>>	kg/unit
21	Kebutuhan Kontainer	'Timbunan di TPS'/(1200*1.2<<Kg/Unit>>)	unit
22	Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar	MAX(0<<Unit>>,1<<Rit>>)*('Timbunan di TPS'*1<<1/da>>)/('Kapasitas Kendaraan Besar'*'Ritase Kendaraan Besar')-'Jumlah Kendaraan Besar')	unit
23	Kenaikan TPS3R	0.00004*'Laju TPS3R'*1<<1/da>>	kg/da
24	Laju Angkut ke TPSA	MIN('Timbunan di TPS'*1<<1/da>>,'Jumlah Kendaraan Besar'*'Kapasitas Kendaraan Besar'*'Ritase Kendaraan Besar'*1<<1/Rit>>)	kg/da
25	Laju Angkut TPS3R	'Timbunan di TPS3R'*1<<1/da>>-'Laju Pemilihan'	kg/da
26	Laju Bank Sampah	3470 <<Kg/da>>	kg/da
27	Laju Biaya Operasional Kendaraan Besar	'Jumlah Kendaraan Besar'*829109<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
28	Laju Biaya Operasional Kendaraan Kecil	'Jumlah Kendaraan Kecil'*287422<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
29	Laju Investasi Alat Berat	'Laju Tambah Alat Berat'*1309000000<<Rp/Unit>>	Rp/yr
30	Laju Investasi Kendaraan Besar	'Laju Tambah Kendaraan Besar'*592680000<<Rp/Unit>>	Rp/da

### Lampiran 1. Rincian Formulasi Parameter Model *Existing* (Lanjutan)

No	Parameter	Rumus	Unit
31	Laju Investasi Kendaraan Kecil	'Laju Tambahan Kendaraan Kecil'*93000000<<Rp/Unit>>	Rp/yr
32	Laju Investasi Kontainer	'Laju Kontainer'*63400000<<Rp/Unit>>	Rp/da
33	Laju ke TPS	'Sampah diangkut DLH'	kg/da
34	Laju ke TPS3R	'Laju TPS3R'*1<<1/da>>	kg/da
35	Laju Kontainer	IF('Kebutuhan Kontainer')*Jumlah Kontainer,'(Kebutuhan Kontainer'-Jumlah Kontainer)*1<<1/da>>,0<<Unit/da>>)	unit/da
36	Laju <i>Open dumping</i>	MIN('Masuk ke TPSA'*1<<1/da>>,'Kapasitas Alat Berat'*Jumlah Alat Berat')	kg/da
37	Laju Operasional Alat Berat	'Jumlah Alat Berat'*356350<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
38	Laju Operasional Kontainer	'Jumlah Kontainer'*11539<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
39	Laju Pemilihan	0%*'Timbunan di TPS3R'*1<<1/da>>	kg/da
40	Laju Pertumbuhan Penduduk	'Jumlah Penduduk'*Pertumbuhan Penduduk'	orang/da
41	Laju Sampah Pihak Lain	MAX(0<<Kg/da>>,'Timbunan sampah di sumber'*1<<1/da>>-'Laju Bank Sampah'-'Laju ke TPS'-'Laju ke TPS3R')	kg/da
42	Laju Tambah Alat Berat	0.1<<Unit/yr>>	unit/yr
43	Laju Tambah Kendaraan Besar	'Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar'*1<<1/da>>	unit/da
44	Laju Tambahan Kendaraan Kecil	Investasi Kendaraan'	unit/yr
45	Laju Timbunan Sampah	'Jumlah Penduduk'*Volume Sampah per Orang'	kg/da
46	Laju TPS3R	1159<<Kg>>	kg
47	Laju Transporter	75300<<Kg/da>>	kg/da
48	<i>Landfill</i>	7647684598<<Kg>>	kg
49	Masuk ke TPSA	0<<Kg>>	kg
50	Penanganan Khusus	1*'Jumlah Kendaraan Kecil'*0.02*845<<Kg/Unit/da>>	kg/da
51	Penyusutan Alami	'Laju <i>Open dumping</i> '*Faktor Penyusutan Alami'	kg/da
52	Persenenaikan Transporter	0.00408	
53	Pertumbuhan Penduduk	0.00408<<%/da>>	%/da
54	Ritase Kendaraan Besar	2.5<<Rit/da>>	rit/da
55	Ritasi Kendaraan Kecil	3.75<<1/da>>	da^-1
56	Sampah diangkut DLH	'Jumlah Kendaraan Kecil'*Kapasitas Kendaraan Kecil'*Ritasi Kendaraan Kecil'	kg/da
57	Sampah Tidak Tertangani	5000<<Kg>>	kg
58	Timbunan di TPS	0<<Kg>>	kg
59	Timbunan di TPS3R	0<<Kg>>	kg
60	Timbunan sampah di sumber	5000<<Kg>>	kg

**Lampiran 1. Rincian Formulasi Parameter Model Existing (Lanjutan)**

No	Parameter	Rumus	Unit
61	Transporter IRP	'Laju Transporter'*(1+'Persenkenaikan Transporter')	kg/da
62	Volume Sampah per Orang	0.68<<Kg/Orang/da>>	kg/(da*orang)

**Lampiran 2. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 1**

No	Parameter	Rumus	Unit
1	Pertumbuhan Penduduk	0.00408<<%/da>>	%/da
2	Jumlah Penduduk	434896<<Orang>>	orang
3	Laju Pertumbuhan Penduduk	'Jumlah Penduduk'*'Pertumbuhan Penduduk'	orang/da
4	Volume Sampah Per Orang	0.68<<Kg/Orang/da>>	kg/(da*orang)
5	Laju Timbunan Sampah	'Jumlah Penduduk'*'Vol Sampah Per Orang'	kg/da
6	Timbunan Sampah di Sumber	0<<Kg>>	kg
7	Ritasi Kendaraan Kecil	3.75<<1/da>>	da <sup>-1</sup>
8	Kapasitas Kendaraan Kecil	800<<Kg/Unit>>	kg/unit
9	Jumlah Kendaraan Kecil	64<<Unit>>	unit
10	Sampah diangkut DLH	'Jumlah Kend Kecil'*'Kapasitas Kendaraan Kecil'*'Ritasi Kendaraan Kecil'	kg/da
11	%Penanganan LH	'Sampah diangkut DLH'*100/'Laju Timbunan Sampah'	kg/da
12	Kebutuhan Kendaraan Kecil	('Laju ke TPS3R'*1<<da>>+'Laju ke TPS'*1<<da>>)/(800*1.2<<Kg/Unit>>)	unit
13	Laju Tambahan Kendaraan Kecil	IF('Kebutuhan Kend Kecil'>'Jumlah Kend Kecil',MIN(('Kebutuhan Kend Kecil'-'Jumlah Kend Kecil')*1<<1/da>>,5<<Unit/yr>>),0<<Unit/da>>)	unit/da
14	Laju Operasional Kendaraan Kecil	Jumlah Kend Kecil'*287422<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
15	Biaya Operasional Kendaraan Kecil	0<<Rp>>	Rp
16	Laju Investasi Kendaraan Kecil	'Laju Kend Kecil'*93000000<<Rp/Unit>>	Rp/da
17	Biaya Investasi Kendaraan Kecil	0<<Rp>>	Rp
18	Laju ke TPS3R	'Laju TPS3R'*1<<1/da>>	kg/da
19	Kenaikan	0,00004*Laju TPS3R'*1<<1/da>>	kg/da
20	Laju Pemilihan	0%*'Timbunan Sampah TPS 3R'*1<<1/da>>	kg/da
21	Timbunan Sampah di TPS3R	0<<Kg>>	kg
22	Laju Angkut TPS3R	MAX('Timbunan Sampah TPS 3R'*1<<1/da>>-'Laju Pemilihan',0<<Kg/da>>)	kg/da
23	Laju Sampah Pihak Lain	10%*'Timbunan Sampah di Sumber'*1<<1/da>>	kg/da
24	Sampah Tidak Tertangani	5000<<Kg>>	kg
25	Penanganan Khusus	1*'Jumlah Kend Kecil' * 0.02 * 800 <<Kg/Unit/da>>	kg/da



**Lampiran 2. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 1 (Lanjutan)**

No	Parameter	Rumus	Unit
26	Laju Transporter	75300<<Kg/da>>	kg/da
27	Persen Kenaikan Transporter	0.00408	
28	Transporter IRP	MIN('Laju Transporter'*(1+'Persen Kenaikan Transporter'),'Sampah Tidak Tertangani'*1<<1/da>>)	kg/da
29	Bank Sampah	3470<<Kg/da>>	Rp
30	Laju ke TPS	MIN('Sampah diangkut DLH','Timbunan Sampah di Sumber'*1<<1/da>>-'Laju ke TPS3R'-'Laju Sampah Pihak Lain'-'Bank Sampah')	kg/da
31	Timbunan di TPS	0<<Kg>>	kg
32	Kebutuhan Kontainer	'Timbunan di TPS'/(1200*1.2<<Kg/Unit>>)	unit
33	Laju Kontainer	IF('Kebutuhan Kontainer'>Jumlah Kontainer',MIN(('Kebutuhan Kontainer'-Jumlah Kontainer')*1<<1/da>>,5<<Unit/yr>>),0<<Unit/da>>)	unit/da
34	Jumlah Kontainer	68<<Unit>>	unit
35	Laju Operasional Kontainer	'Jumlah Kontainer'*11539<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
36	Biaya Operasional Kontainer	0<<Rp>>	Rp
37	Laju Investasi Kontainer	'Laju Kontainer'*63400000<<Rp/Unit>>	Rp/da
38	Biaya Investasi Kontainer	0<<Rp>>	Rp
39	Ritase Kendaraan Besar	2.5<<Rit/da>>	rit/da
40	Kapasitas Kendaraan Besar	2100<<Kg/Unit>>	kg/unit
41	Jumlah Kendaraan Besar	41<<Unit>>	unit
42	Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar	MAX(0<<Unit>>,((1<<Rit>>*( 'Timbunan di TPS'*1<<1/da>>)))+(1<<Rit>>*'Laju Angkut TPS3R'))/('Kapasitas Kendaraan Besar'*'Ritase Kendaraan Besar')-'Jumlah Kendaraan Besar')	unit
43	Laju Tambah Kendaraan Besar	IF('Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar'>Jumlah Kendaraan Besar',MIN(('Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar'-'Jumlah Kendaraan Besar')*1<<1/da>>,3<<Unit/yr>>),0<<Unit/da>>)	unit/da
44	Laju Operasional Kendaraan Besar	'Jumlah Kendaraan Besar'*829109<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
45	Biaya Operasional Kendaraan Besar	0<<Rp>>	Rp
46	Laju Investasi Kendaraan Besar	'Laju Tambah Kendaraan Besar'*592680000<<Rp/Unit>>	Rp/da
47	Biaya Investasi Kendaraan Besar	0<<Rp>>	Rp
48	Laju Angkut ke TPSA	MIN('Timbunan di TPS'*1<<1/da>>,'Jumlah Kendaraan Besar'*'Kapasitas Kendaraan Besar'*'Ritase Kendaraan Besar'*1<<1/Rit>>)	kg/da

**Lampiran 2. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 1 (Lanjutan)**

No	Parameter	Rumus	Unit
49	Masuk ke TPSA	$0 \ll \text{Kg} \gg$	kg
50	Produksi BBJP	$\text{MIN}(\text{'Masuk ke TPSA'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg, \text{'Kapasitas Produksi BBJP'})$	kg/da
51	Kapasitas Produksi BBJP	$230000 \ll \text{Kg}/\text{da} \gg$	kg/da
52	Produk BBJP	$\text{'Produksi BBJP'}/3$	kg/da
53	Harga BBJP	$600 \ll \text{Rp}/\text{Kg} \gg$	Rp/kg
54	Laju BBJP	$\text{Produk BBJP} * \text{'Harga BBJP'}$	Rp/da
55	Pendapatan BBJP	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
56	Kapasitas Alat Berat	$173808 \ll \text{Kg}/\text{Unit}/\text{da} \gg$	kg/(da*unit)
57	Jumlah Alat Berat	$2 \ll \text{Unit} \gg$	unit
58	Daya Angkut Alat Berat	$\text{'Jumlah Alat Berat'} * \text{'Kapasitas Alat Berat'}$	kg/da
59	Laju Tambah A2B	$\text{IF}(\text{'Daya Angkut Alat Berat'} < \text{'Masuk ke TPSA'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg, 1 \ll \text{Unit}/\text{da} \gg, 0 \ll \text{Unit}/\text{da} \gg)$	unit/da
60	Laju Operasional AB	$\text{'Jumlah Alat Berat'} * 356350 \ll \text{Rp}/\text{Unit}/\text{da} \gg$	Rp/da
61	Biaya OPEX AB	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
62	Laju Investasi AB	$\text{'Laju Tambah A2B'} * 1309000000 \ll \text{Rp}/\text{Unit} \gg$	Rp/da
63	Biaya CAPEX AB	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
64	Laju <i>Open dumping</i>	$\text{MIN}(\text{'Masuk ke TPSA'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg - \text{'Produksi BBJP'}, \text{'Kapasitas Alat Berat'} * \text{'Jumlah Alat Berat'})$	kg/da
65	<i>Landfill</i>	$7647684000 \ll \text{Kg} \gg$	kg
66	Faktor Penyusutan Alami	$3\%/365$	%
67	Penyusutan Alami	$\text{'Laju Open dumping'} * \text{'Faktor Penyusutan Alami'}$	kg/da

**Lampiran 3. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 2**

No	Parameter	Rumus	Unit
1	Pertumbuhan Penduduk	$0.00408 \ll \%/ \text{da} \gg$	%/da
2	Jumlah Penduduk	$434896 \ll \text{Orang} \gg$	orang
3	Laju Pertumbuhan Penduduk	$\text{'Jumlah Penduduk'} * \text{'Pertumbuhan Penduduk'}$	orang/da
4	Volume Sampah Per Orang	$0.68 \ll \text{Kg}/\text{Orang}/\text{da} \gg$	kg/(da*orang)
5	Laju Timbunan Sampah	$\text{'Jumlah Penduduk'} * \text{'Vol Sampah Per Orang'}$	kg/da
6	Timbunan Sampah di Sumber	$0 \ll \text{Kg} \gg$	kg
7	Ritasi Kendaraan Kecil	$3.75 \ll 1/\text{da} \gg$	da <sup>-1</sup>
8	Kapasitas Kendaraan Kecil	$800 \ll \text{Kg}/\text{Unit} \gg$	kg/unit
9	Jumlah Kendaraan Kecil	$64 \ll \text{Unit} \gg$	unit
10	Sampah diangkut DLH	$\text{'Jumlah Kend Kecil'} * \text{'Kapasitas Kendaraan Kecil'} * \text{'Ritasi Kendaraan Kecil'}$	kg/da
11	%Penanganan LH	$\text{'Sampah diangkut DLH'} * 100 / \text{'Laju Timbunan Sampah'}$	kg/da
12	Kapasitas TPS3R per Unit	$1400 \ll \text{Kg}/\text{Unit} \gg * 100/57$	kg/unit
13	Penambahan TPS3R per Tahun	$2 \ll \text{Unit}/\text{yr} \gg$	unit/yr
14	Laju Kenaikan	$\text{'Kapasitas TPS3R per Unit'} * \text{'Penambahan TPS3R per Tahun'}$	kg/yr

**Lampiran 3. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 2 (Lanjutan)**

No	Parameter	Rumus	Unit
15	Kapasitas TPS3R yang dibutuhkan	$4 * 1400 \ll \text{Kg} \gg$	kg
16	Penambahan TPS3R	'Penambahan TPS3R per Tahun'	unit/yr
17	Jumlah TPS3R	$0 \ll \text{Unit} \gg$	unit
18	Laju ke TPS3R	$\text{MIN}(\text{'Kapasitas TPS3R yang dibutuhkan'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg, \text{'Timbunan Sampah di Sumber'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg)$	kg/da
19	Laju Operasional TPS3R	$\text{Penambahan TPS3R} * 310335696 \ll \text{Rp/Unit} \gg$	Rp/da
20	Biaya Operasional TPS3R	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
21	Laju Investasi TPS3R	$\text{Penambahan TPS3R} * 1616718000 \ll \text{Rp/Unit} \gg$	Rp/yr
22	Biaya Investasi TPS3R	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
23	Kebutuhan Kendaraan Kecil	$(\text{'Laju ke TPS3R'} * 1 \ll \text{da} \gg + \text{'Laju ke TPS'} * 1 \ll \text{da} \gg) / (2400 * 1.2 \ll \text{Kg/Unit} \gg)$	unit
24	Laju Kendaraan Kecil	$\text{IF}(\text{'Kebutuhan Kend Kecil'} > \text{'Jumlah Kend Kecil'}, \text{MIN}(\text{'Kebutuhan Kend Kecil'} - \text{'Jumlah Kend Kecil'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg, 5 \ll \text{Unit/yr} \gg), 0 \ll \text{Unit/da} \gg)$	unit/da
25	Laju Operasional Kendaraan Kecil	$\text{Jumlah Kend Kecil} * 287422 \ll \text{Rp/Unit/da} \gg$	Rp/da
26	Biaya Operasional Kendaraan Kecil	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
27	Laju Investasi Kendaraan Kecil	$\text{'Laju Kend Kecil'} * 93000000 \ll \text{Rp/Unit} \gg$	Rp/da
28	Biaya Investasi Kendaraan Kecil	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
29	Timbunan Sampah di TPS3R	$0 \ll \text{Kg} \gg$	kg
30	Laju Produksi Kompos	$\text{MIN}(64.77\% * \text{'Timbunan Sampah di TPS3R'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg, \text{'Kapasitas Produksi Pupuk'} * \text{'Jumlah TPS3R'} * 1 \ll 1/\text{Unit} \gg)$	kg/da
31	Kapasitas Produksi Pupuk	$1400 \ll \text{Kg/da} \gg$	kg/da
32	Volume Kompos	$0 \ll \text{Kg} \gg$	kg
33	Penjualan Kompos	$80\% * \text{'Volume Kompos'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg$	kg/da
34	Harga Pupuk	$1000 \ll \text{Rp/Kg} \gg$	Rp/kg
35	Laju Pengolahan Pupuk	$\text{'Penjualan Kompos'} * \text{'Harga Pupuk'}$	Rp/da
36	Pendapatan Pupuk	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
37	Laju Angkut TPS3R	$\text{MAX}(\text{'Timbunan Sampah di TPS3R'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg - \text{'Laju Produksi Kompos'}, 0 \ll \text{Kg/da} \gg)$	kg/da
38	Laju Sampah Pihak Lain	$10\% * \text{'Timbunan Sampah di Sumber'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg$	kg/da
39	Sampah Tidak Tertangani	$5000 \ll \text{Kg} \gg$	kg
40	Penanganan Khusus	$1 * \text{'Jumlah Kend Kecil'} * 0.02 * 800 \ll \text{Kg/Unit/da} \gg$	kg/da
41	Laju Transporter	$75300 \ll \text{Kg/da} \gg$	kg/da
42	Persen Kenaikan Transporter	0.00408	

### Lampiran 3. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 2 (Lanjutan)

No	Parameter	Rumus	Unit
43	Transporter IRP	$\text{MIN}(\text{'Laju Transporter'} * (1 + \text{'Persen Kenaikan Transporter'}), \text{'Sampah Tidak Tertangani'} * 1 \llcorner \llcorner 1/\text{da} \gg \gg)$	kg/da
44	Bank Sampah	$3470 \llcorner \llcorner \text{Kg/da} \gg \gg$	Rp
45	Laju ke TPS	$\text{MIN}(\text{'Sampah diangkut DLH'}, \text{'Timbunan Sampah di Sumber'} * 1 \llcorner \llcorner 1/\text{da} \gg \gg) - \text{'Laju ke TPS3R'} - \text{'Laju Sampah Pihak Lain'} - \text{'Bank Sampah'}$	kg/da
46	Timbunan di TPS	$0 \llcorner \llcorner \text{Kg} \gg \gg$	kg
47	Kebutuhan Kontainer	$\text{'Timbunan di TPS'} / (1200 * 1.2 \llcorner \llcorner \text{Kg/Unit} \gg \gg)$	unit
48	Laju Kontainer	$\text{IF}(\text{'Kebutuhan Kontainer'} > \text{'Jumlah Kontainer'}, (\text{'Kebutuhan Kontainer'} - \text{'Jumlah Kontainer'}) * 1 \llcorner \llcorner 1/\text{da} \gg \gg, 0 \llcorner \llcorner \text{Unit/da} \gg \gg)$	unit/da
49	Jumlah Kontainer	$68 \llcorner \llcorner \text{Unit} \gg \gg$	unit
50	Laju Operasional Kontainer	$\text{'Jumlah Kontainer'} * 11539 \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit/da} \gg \gg$	Rp/da
51	Biaya Operasional Kontainer	$0 \llcorner \llcorner \text{Rp} \gg \gg$	Rp
52	Laju Investasi Kontainer	$\text{'Laju Kontainer'} * 63400000 \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit} \gg \gg$	Rp/da
53	Biaya Investasi Kontainer	$0 \llcorner \llcorner \text{Rp} \gg \gg$	Rp
54	Ritase Kendaraan Besar	$2.5 \llcorner \llcorner \text{Rit/da} \gg \gg$	rit/da
55	Kapasitas Kendaraan Besar	$2100 \llcorner \llcorner \text{Kg/Unit} \gg \gg$	kg/unit
56	Jumlah Kendaraan Besar	$41 \llcorner \llcorner \text{Unit} \gg \gg$	unit
57	Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar	$\text{MAX}(0 \llcorner \llcorner \text{Unit} \gg \gg, ((1 \llcorner \llcorner \text{Rit} \gg \gg) * (\text{'Timbunan di TPS'} * 1 \llcorner \llcorner 1/\text{da} \gg \gg)) + (1 \llcorner \llcorner \text{Rit} \gg \gg) * \text{'Laju Angkut TPS3R'}) / (\text{'Kapasitas Kendaraan Besar'} * \text{'Ritase Kendaraan Besar'}) - \text{'Jumlah Kendaraan Besar'}$	unit
58	Laju Tambah Kendaraan Besar	$\text{'Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar'} * 1 \llcorner \llcorner 1/\text{da} \gg \gg$	unit/da
59	Laju Operasional Kendaraan Besar	$\text{'Jumlah Kendaraan Besar'} * 829109 \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit/da} \gg \gg$	Rp/da
60	Biaya Operasional Kendaraan Besar	$0 \llcorner \llcorner \text{Rp} \gg \gg$	Rp
61	Laju Investasi Kendaraan Besar	$\text{'Laju Tambah Kendaraan Besar'} * 592680000 \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit} \gg \gg$	Rp/da
62	Biaya Investasi Kendaraan Besar	$0 \llcorner \llcorner \text{Rp} \gg \gg$	Rp
63	Laju Angkut ke TPSA	$\text{MIN}(\text{'Timbunan di TPS'} * 1 \llcorner \llcorner 1/\text{da} \gg \gg, \text{'Jumlah Kendaraan Besar'} * \text{'Kapasitas Kendaraan Besar'} * \text{'Ritase Kendaraan Besar'} * 1 \llcorner \llcorner 1/\text{Rit} \gg \gg)$	kg/da
64	Masuk ke TPSA	$0 \llcorner \llcorner \text{Kg} \gg \gg$	kg
65	Produksi BBJP	$\text{MIN}(\text{'Masuk ke TPSA'} * 1 \llcorner \llcorner 1/\text{da} \gg \gg, \text{'Kapasitas Produksi BBJP'})$	kg/da
66	Kapasitas Produksi BBJP	$230000 \llcorner \llcorner \text{Kg/da} \gg \gg$	kg/da
67	Produk BBJP	$\text{'Produksi BBJP'} / 3$	kg/da
68	Harga BBJP	$600 \llcorner \llcorner \text{Rp/Kg} \gg \gg$	Rp/kg
69	Laju BBJP	$\text{'Produk BBJP'} * \text{'Harga BBJP'}$	Rp/da

**Lampiran 3. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 2 (Lanjutan)**

No	Parameter	Rumus	Unit
70	Pendapatan BBJP	0<<Rp>>	Rp
71	Kapasitas Alat Berat	173808<<Kg/Unit/da>>	kg/(da*unit)
72	Jumlah Alat Berat	2<<Unit>>	unit
73	Daya Angkut Alat Berat	'Jumlah Alat Berat'*Kapasitas Alat Berat'	kg/da
74	Laju Tambah A2B	IF('Daya Angkut Alat Berat'<'Masuk ke TPSA'*1<<1/da>>,1<<Unit/da>>,0<<Unit/da>>)	unit/da
75	Laju Operasional AB	'Jumlah Alat Berat'*356350<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
76	Biaya OPEX AB	0<<Rp>>	Rp
77	Laju Investasi AB	'Laju Tambah A2B'*1309000000<<Rp/Unit>>	Rp/da
78	Biaya CAPEX AB	0<<Rp>>	Rp
79	Laju <i>Open dumping</i>	MIN('Masuk ke TPSA'*1<<1/da>>- 'Produksi BBJP', 'Kapasitas Alat Berat'*Jumlah Alat Berat')	kg/da
80	<i>Landfill</i>	7647684598<<Kg>>	kg
81	Faktor Penyusutan Alami	3%/365	%
82	Penyusutan Alami	'Laju <i>Open dumping</i> '*Faktor Penyusutan Alami'	kg/da

**Lampiran 4. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 3**

No	Parameter	Rumus	Unit
1	Pertumbuhan Penduduk	0.00408<<%/da>>	%/da
2	Jumlah Penduduk	434896<<Orang>>	orang
3	Laju Pertumbuhan Penduduk	'Jumlah Penduduk'*Pertumbuhan Penduduk'	orang/da
4	Volume Sampah Per Orang	0.68<<Kg/Orang/da>>	kg/(da*orang)
5	Laju Timbunan Sampah	'Jumlah Penduduk'*Vol Sampah Per Orang'	kg/da
6	Timbunan Sampah di Sumber	0<<Kg>>	kg
7	Ritasi Kendaraan Kecil	3.75<<1/da>>	da^-1
8	Kapasitas Kendaraan Kecil	800<<Kg/Unit>>	kg/unit
9	Jumlah Kendaraan Kecil	64<<Unit>>	unit
10	Sampah diangkut DLH	'Jumlah Kend Kecil'*Kapasitas Kendaraan Kecil'*Ritasi Kendaraan Kecil'	kg/da
11	%Penanganan LH	'Sampah diangkut DLH'*100/Laju Timbunan Sampah'	kg/da
12	Kapasitas TPS3R per Unit	2100<<Kg/Unit>>*100/77	kg/unit
13	Penambahan TPS3R per Tahun	2<<Unit/yr>>	unit/yr
14	Laju Kenaikan	'Kapasitas TPS3R per Unit'*Penambahan TPS3R per Tahun'	kg/yr
15	Kapasitas TPS3R yang dibutuhkan	4*2100<<Kg>>	kg
16	Penambahan TPS3R	'Penambahan TPS3R per Tahun'	unit/yr
17	Jumlah TPS3R	0<<Unit>>	unit

### Lampiran 4.Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 3 (Lanjutan)

No	Parameter	Rumus	Unit
18	Laju ke TPS3R	$\text{MIN}(\text{'Kapasitas TPS3R yang dibutuhkan'} * 1 \llcorner \text{1/da}\rangle\rangle, \text{'Timbunan Sampah di Sumber'} * 1 \llcorner \text{1/da}\rangle\rangle)$	kg/da
19	Laju Operasional TPS3R	$\text{Penambahan TPS3R} * 310335696 \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit}\rangle\rangle$	Rp/da
20	Biaya Operasional TPS3R	$0 \llcorner \llcorner \text{Rp}\rangle\rangle$	Rp
21	Laju Investasi TPS3R	$\text{'Penambahan TPS3R'} * 1637000000 \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit}\rangle\rangle$	Rp/yr
22	Biaya Investasi TPS3R	$0 \llcorner \llcorner \text{Rp}\rangle\rangle$	Rp
23	Kebutuhan Kendaraan Kecil	$(\text{'Laju ke TPS3R'} * 1 \llcorner \llcorner \text{da}\rangle\rangle + \text{'Laju ke TPS'} * 1 \llcorner \llcorner \text{da}\rangle\rangle) / (2400 * 1.2 \llcorner \llcorner \text{Kg/Unit}\rangle\rangle)$	unit
24	Laju Kendaraan Kecil	$\text{IF}(\text{'Kebutuhan Kend Kecil'} > \text{'Jumlah Kend Kecil'}, \text{MIN}(\text{'Kebutuhan Kend Kecil'} - \text{'Jumlah Kend Kecil'} * 1 \llcorner \llcorner \text{1/da}\rangle\rangle, 5 \llcorner \llcorner \text{Unit/yr}\rangle\rangle), 0 \llcorner \llcorner \text{Unit/da}\rangle\rangle)$	unit/da
25	Laju Operasional Kendaraan Kecil	$\text{Jumlah Kend Kecil} * 287422 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit/da}\rangle\rangle$	Rp/da
26	Biaya Operasional Kendaraan Kecil	$0 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Rp}\rangle\rangle$	Rp
27	Laju Investasi Kendaraan Kecil	$\text{'Laju Kend Kecil'} * 93000000 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit}\rangle\rangle$	Rp/da
28	Biaya Investasi Kendaraan Kecil	$0 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Rp}\rangle\rangle$	Rp
29	Timbunan Sampah di TPS3R	$0 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Kg}\rangle\rangle$	kg
30	Laju Produksi Plastik Cacah	$\text{MIN}(18.18\% * \text{'Timbunan Sampah di TPS3R'} * 1 \llcorner \llcorner \text{1/da}\rangle\rangle, \text{'Kapasitas Daur Ulang'} * \text{'Jumlah TPS3R'} * 1 \llcorner \llcorner \text{1/Unit}\rangle\rangle)$	kg/da
31	Kapasitas Daur Ulang (Pencacahan Plastik)	$2100 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Kg/da}\rangle\rangle$	kg/da
32	Volume Plastik Cacah	$0 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Kg}\rangle\rangle$	kg
33	Penjualan Plastik Cacah	$75\% * \text{'Volume Daur Ulang'} * 1 \llcorner \llcorner \text{1/da}\rangle\rangle$	kg/da
34	Harga Plastik Cacah	$6000 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Rp/Kg}\rangle\rangle$	Rp/kg
35	Laju Pengolahan Plastik Cacah	$\text{'Harga Plastik Cacah'} * \text{'Penjualan Plastik Cacah'}$	Rp/da
36	Pendapatan Plastik Cacah	$0 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Rp}\rangle\rangle$	Rp
37	Laju Angkut TPS3R	$\text{MAX}(\text{'Timbunan Sampah di TPS3R'} * 1 \llcorner \llcorner \text{1/da}\rangle\rangle - \text{'Laju Produksi Plastik Cacah'}, 0 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Kg/da}\rangle\rangle)$	kg/da
38	Laju Sampah Pihak Lain	$10\% * \text{'Timbunan Sampah di Sumber'} * 1 \llcorner \llcorner \text{1/da}\rangle\rangle$	kg/da
39	Sampah Tidak Tertangani	$5000 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Kg}\rangle\rangle$	kg
40	Penanganan Khusus	$1 * \text{'Jumlah Kend Kecil'} * 0.02 * 800 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Kg/Unit/da}\rangle\rangle$	kg/da
41	Laju Transporter	$75300 \llcorner \llcorner \llcorner \text{Kg/da}\rangle\rangle$	kg/da
42	Persen Kenaikan Transporter	$0.00408$	

### Lampiran 4.Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 3 (Lanjutan)

No	Parameter	Rumus	Unit
43	Transporter IRP	MIN('Laju Transporter'*(1+'Persen Kenaikan Transporter'),'Sampah Tidak Tertangani'*1<<1/da>>)	kg/da
44	Bank Sampah	3470<<Kg/da>>	Rp
45	Laju ke TPS	MIN('Sampah diangkut DLH','Timbunan Sampah di Sumber'*1<<1/da>>-'Laju ke TPS3R'-'Laju Sampah Pihak Lain'-'Bank Sampah')	kg/da
46	Timbunan di TPS	0<<Kg>>	kg
47	Kebutuhan Kontainer	'Timbunan di TPS'/(1200*1.2<<Kg/Unit>>)	unit
48	Laju Kontainer	IF('Kebutuhan Kontainer'>'Jumlah Kontainer','(Kebutuhan Kontainer'-'Jumlah Kontainer')*1<<1/da>>,0<<Unit/da>>)	unit/da
49	Jumlah Kontainer	68<<Unit>>	unit
50	Laju Operasional Kontainer	'Jumlah Kontainer'*11539<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
51	Biaya Operasional Kontainer	0<<Rp>>	Rp
52	Laju Investasi Kontainer	'Laju Kontainer'*6340000<<Rp/Unit>>	Rp/da
53	Biaya Investasi Kontainer	0<<Rp>>	Rp
54	Ritase Kendaraan Besar	2.5<<Rit/da>>	Rit/da
55	Kapasitas Kendaraan Besar	2100<<Kg/Unit>>	kg/unit
56	Jumlah Kendaraan Besar	41<<Unit>>	unit
57	Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar	MAX(0<<Unit>>,(1<<Rit>>*(Timbunan di TPS'*1<<1/da>>))+1<<Rit>>*'Laju Angkut TPS3R'))/('Kapasitas Kendaraan Besar'*Ritase Kendaraan Besar)-'Jumlah Kendaraan Besar')	unit
58	Laju Tambah Kendaraan Besar	'Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar'*1<<1/da>>	unit/da
59	Laju Operasional Kendaraan Besar	'Jumlah Kendaraan Besar'*829109<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
60	Biaya Operasional Kendaraan Besar	0<<Rp>>	Rp
61	Laju Investasi Kendaraan Besar	'Laju Tambah Kendaraan Besar'*592680000<<Rp/Unit>>	Rp/da
62	Biaya Investasi Kendaraan Besar	0<<Rp>>	Rp
63	Laju Angkut ke TPSA	MIN('Timbunan di TPS'*1<<1/da>>,'Jumlah Kendaraan Besar'*Kapasitas Kendaraan Besar'*Ritase Kendaraan Besar'*1<<1/Rit>>)	kg/da
64	Masuk ke TPSA	0<<Kg>>	kg
65	Produksi BBJP	MIN('Masuk ke TPSA'*1<<1/da>>,'Kapasitas Produksi BBJP')	kg/da
66	Kapasitas Produksi BBJP	230000<<Kg/da>>	kg/da
67	Produk BBJP	'Produksi BBJP'/3	kg/da

**Lampiran 4. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 3 (Lanjutan)**

No	Parameter	Rumus	Unit
68	Harga BBJP	600<<Rp/Kg>>	Rp/kg
69	Laju BBJP	'Produk BBJP'*'Harga BBJP'	Rp/da
70	Pendapatan BBJP	0<<Rp>>	Rp
71	Kapasitas Alat Berat	173808<<Kg/Unit/da>>	kg/(da*unit)
72	Jumlah Alat Berat	2<<Unit>>	unit
73	Daya Angkut Alat Berat	'Jumlah Alat Berat'*'Kapasitas Alat Berat'	kg/da
74	Laju Tambah A2B	IF('Daya Angkut Alat Berat'<'Masuk ke TPSA'*1<<1/da>>,1<<Unit/da>>,0<<Unit/da>>)	unit/da
75	Laju Operasional AB	'Jumlah Alat Berat'*356350<<Rp/Unit/da>>	Rp/da
76	Biaya OPEX AB	0<<Rp>>	Rp
77	Laju Investasi AB	'Laju Tambah A2B'*1309000000<<Rp/Unit>>	Rp/da
78	Biaya CAPEX AB	0<<Rp>>	Rp
79	Laju <i>Open dumping</i>	MIN('Masuk ke TPSA'*1<<1/da>>- 'Produksi BBJP', 'Kapasitas Alat Berat'*'Jumlah Alat Berat')	kg/da
80	<i>Landfill</i>	7647684598<<Kg>>	kg
81	Faktor Penyusutan Alami	3%/365	%
82	Penyusutan Alami	'Laju <i>Open dumping</i> '*'Faktor Penyusutan Alami'	kg/da

**Lampiran 5. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 4**

No	Parameter	Rumus	Unit
1	Pertumbuhan Penduduk	0.00408<<%/da>>	%/da
2	Jumlah Penduduk	434896<<Orang>>	orang
3	Laju Pertumbuhan Penduduk	'Jumlah Penduduk'*'Pertumbuhan Penduduk'	orang/da
4	Volume Sampah Per Orang	0.68<<Kg/Orang/da>>	kg/(da*orang)
5	Laju Timbunan Sampah	'Jumlah Penduduk'*'Vol Sampah Per Orang'	kg/da
6	Timbunan Sampah di Sumber	0<<Kg>>	kg
7	Ritasi Kendaraan Kecil	3.75<<1/da>>	da^-1
8	Kapasitas Kendaraan Kecil	800<<Kg/Unit>>	kg/unit
9	Jumlah Kendaraan Kecil	64<<Unit>>	unit
10	Sampah diangkut DLH	'Jumlah Kend Kecil'*'Kapasitas Kendaraan Kecil'*'Ritasi Kendaraan Kecil'	kg/da
11	%Penanganan LH	'Sampah diangkut DLH'*100/'Laju Timbunan Sampah'	kg/da
12	Kapasitas TPS3R per Unit	2100<<Kg/Unit>>*100/18.18	kg/unit
13	Penambahan TPS3R per Tahun	2<<Unit/yr>>	unit/yr
14	Laju Kenaikan	'Kapasitas TPS3R per Unit'*'Penambahan TPS3R per Tahun'	kg/yr
15	Kapasitas TPS3R yang dibutuhkan	4*2100<<Kg>>	kg
16	Penambahan TPS3R	'Penambahan TPS3R per Tahun'	unit/yr
17	Jumlah TPS3R	0<<Unit>>	unit



### Lampiran 5. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 4 (Lanjutan)

No	Parameter	Rumus	Unit
18	Laju ke TPS3R	$\text{MIN}(\text{'Kapasitas TPS3R yang dibutuhkan'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg, \text{'Timbunan Sampah di Sumber'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg)$	kg/da
19	Laju Operasional TPS3R	$\text{Penambahan TPS3R} * 310335696 \ll \text{Rp/Unit} \gg$	Rp/da
20	Biaya Operasional TPS3R	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
21	Laju Investasi TPS3R	$\text{'Penambahan TPS3R'} * 1653718000 \ll \text{Rp/Unit} \gg$	Rp/yr
22	Biaya Investasi TPS3R	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
23	Kebutuhan Kendaraan Kecil	$(\text{'Laju ke TPS3R'} * 1 \ll \text{da} \gg + \text{'Laju ke TPS'} * 1 \ll \text{da} \gg) / (800 * 1.2 \ll \text{Kg/Unit} \gg)$	unit
24	Laju Kendaraan Kecil	$\text{IF}(\text{'Kebutuhan Kend Kecil'} > \text{'Jumlah Kend Kecil'}, \text{MIN}(\text{'Kebutuhan Kend Kecil'} - \text{'Jumlah Kend Kecil'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg, 5 \ll \text{Unit/yr} \gg), 0 \ll \text{Unit/da} \gg)$	unit/da
25	Laju Operasional Kendaraan Kecil	$\text{Jumlah Kend Kecil} * 287422 \ll \text{Rp/Unit/da} \gg$	Rp/da
26	Biaya Operasional Kendaraan Kecil	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
27	Laju Investasi Kendaraan Kecil	$\text{'Laju Kend Kecil'} * 93000000 \ll \text{Rp/Unit} \gg$	Rp/da
28	Biaya Investasi Kendaraan Kecil	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
29	Timbunan Sampah di TPS3R	$0 \ll \text{Kg} \gg$	kg
30	Laju Produksi Kompos	$\text{MIN}(64.77\% * \text{'Timbunan Sampah di TPS3R'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg, \text{'Kapasitas Produksi Pupuk'} * \text{'Jumlah TPS3R'} * 1 \ll 1/\text{Unit} \gg)$	kg/da
31	Kapasitas Produksi Pupuk	$1400 \ll \text{Kg/da} \gg$	kg/da
32	Volume Kompos	$0 \ll \text{Kg} \gg$	kg
33	Penjualan Kompos	$80\% * \text{'Volume Kompos'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg$	kg/da
34	Harga Pupuk	$1000 \ll \text{Rp/Kg} \gg$	Rp/kg
35	Laju Pengolahan Pupuk	$\text{'Penjualan Kompos'} * \text{'Harga Pupuk'}$	Rp/da
36	Pendapatan Pupuk	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
37	Laju Daur Ulang	$\text{MIN}(18.18\% * \text{'Timbunan Sampah di TPS3R'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg, \text{'Kapasitas Pencacahan Plastik'} * \text{'Jumlah TPS3R'} * 1 \ll 1/\text{Unit} \gg)$	kg/da
38	Kapasitas Pencacahan Plastik	$2100 \ll \text{Kg/da} \gg$	kg/da
39	Volume Daur Ulang	$0 \ll \text{Kg} \gg$	kg
40	Penjualan Plastik Cacah	$80\% * \text{'Volume Daur Ulang'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg$	kg/da
41	Harga Plastik Cacah	$6000 \ll \text{Rp/Kg} \gg$	Rp/kg
42	Laju Pengolahan Plastik Cacah	$\text{'Harga Plastik Cacah'} * \text{'Penjualan Plastik Cacah'}$	Rp/da
43	Pendapatan Plastik Cacah	$0 \ll \text{Rp} \gg$	Rp
44	Laju Angkut TPS3R	$\text{MAX}(\text{'Timbunan Sampah di TPS3R'} * 1 \ll 1/\text{da} \gg - (\text{'Laju Produksi Kompos'} + \text{'Laju Daur Ulang'}), 0 \ll \text{Kg/da} \gg)$	kg/da

**Lampiran 5. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 4 (Lanjutan)**

No	Parameter	Rumus	Unit
45	Laju Sampah Pihak Lain	$10\% * \text{Timbunan Sampah di Sumber} * 1$	kg/da
46	Sampah Tidak Tertangani	5000	kg
47	Penanganan Khusus	$1 * \text{Jumlah Kend Kecil} * 0.02 * 800$	kg/da
48	Laju Transporter	75300	kg/da
49	Persen Kenaikan Transporter	0.00408	
50	Transporter IRP	$\text{MIN}(\text{Laju Transporter} * (1 + \text{Persen Kenaikan Transporter}), \text{Sampah Tidak Tertangani} * 1)$	kg/da
51	Bank Sampah	3470	Rp
52	Laju ke TPS	$\text{MIN}(\text{Sampah diangkut DLH}, \text{Timbunan Sampah di Sumber} * 1 - \text{Laju ke TPS3R} - \text{Laju Sampah Pihak Lain} - \text{Bank Sampah})$	kg/da
53	Timbunan di TPS	0	kg
54	Kebutuhan Kontainer	$\text{Timbunan di TPS} / (1200 * 1.2)$	unit
55	Laju Kontainer	$\text{IF}(\text{Kebutuhan Kontainer} > \text{Jumlah Kontainer}, (\text{Kebutuhan Kontainer} - \text{Jumlah Kontainer}) * 1, 0)$	unit/da
56	Jumlah Kontainer	68	unit
57	Laju Operasional Kontainer	$\text{Jumlah Kontainer} * 11539$	Rp/da
58	Biaya Operasional Kontainer	0	Rp
59	Laju Investasi Kontainer	$\text{Laju Kontainer} * 63400000$	Rp/da
60	Biaya Investasi Kontainer	0	Rp
61	Ritase Kendaraan Besar	2.5	rit/da
62	Kapasitas Kendaraan Besar	2100	kg/unit
63	Jumlah Kendaraan Besar	41	unit
64	Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar	$\text{MAX}(0, ((1 * \text{Timbunan di TPS} * 1) + (1 * \text{Laju Angkut TPS3R})) / (\text{Kapasitas Kendaraan Besar} * \text{Ritase Kendaraan Besar}) - \text{Jumlah Kendaraan Besar})$	unit
65	Laju Tambah Kendaraan Besar	$\text{Kebutuhan Tambahan Kendaraan Besar} * 1$	unit/da
66	Laju Operasional Kendaraan Besar	$\text{Jumlah Kendaraan Besar} * 829109$	Rp/da
67	Biaya Operasional Kendaraan Besar	0	Rp
68	Laju Investasi Kendaraan Besar	$\text{Laju Tambah Kendaraan Besar} * 592680000$	Rp/da
69	Biaya Investasi Kendaraan Besar	0	Rp

### Lampiran 5. Rincian Formulasi Parameter Model Skenario 4 (Lanjutan)

No	Parameter	Rumus	Unit
70	Laju Angkut ke TPSA	$\text{MIN}(\text{'Timbulan di TPS'} * 1 \llcorner \llcorner / \text{da} \gg \gg, \text{'Jumlah Kendaraan Besar'} * \text{'Kapasitas Kendaraan Besar'} * \text{'Ritase Kendaraan Besar'} * 1 \llcorner \llcorner / \text{Rit} \gg \gg)$	kg/da
71	Masuk ke TPSA	$0 \llcorner \llcorner \text{Kg} \gg \gg$	kg
72	Produksi BBJP	$\text{MIN}(\text{'Masuk ke TPSA'} * 1 \llcorner \llcorner / \text{da} \gg \gg, \text{'Kapasitas Produksi BBJP'})$	kg/da
73	Kapasitas Produksi BBJP	$230000 \llcorner \llcorner \text{Kg/da} \gg \gg$	kg/da
74	Produk BBJP	$\text{'Produksi BBJP'} / 3$	kg/da
75	Harga BBJP	$600 \llcorner \llcorner \text{Rp/Kg} \gg \gg$	Rp/kg
76	Laju BBJP	$\text{'Produk BBJP'} * \text{'Harga BBJP'}$	Rp/da
77	Pendapatan BBJP	$0 \llcorner \llcorner \text{Rp} \gg \gg$	Rp
78	Kapasitas Alat Berat	$173808 \llcorner \llcorner \text{Kg/Unit/da} \gg \gg$	kg/(da*unit)
79	Jumlah Alat Berat	$2 \llcorner \llcorner \text{Unit} \gg \gg$	unit
80	Daya Angkut Alat Berat	$\text{'Jumlah Alat Berat'} * \text{'Kapasitas Alat Berat'}$	kg/da
81	Laju Tambah A2B	$\text{IF}(\text{'Daya Angkut Alat Berat'} < \text{'Masuk ke TPSA'} * 1 \llcorner \llcorner / \text{da} \gg \gg, 1 \llcorner \llcorner \text{Unit/da} \gg \gg, 0 \llcorner \llcorner \text{Unit/da} \gg \gg)$	unit/da
82	Laju Operasional AB	$\text{'Jumlah Alat Berat'} * 356350 \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit/da} \gg \gg$	Rp/da
83	Biaya OPEX AB	$0 \llcorner \llcorner \text{Rp} \gg \gg$	Rp
84	Laju Investasi AB	$\text{'Laju Tambah A2B'} * 1309000000 \llcorner \llcorner \text{Rp/Unit} \gg \gg$	Rp/da
85	Biaya CAPEX AB	$0 \llcorner \llcorner \text{Rp} \gg \gg$	Rp
86	Laju <i>Open dumping</i>	$\text{MIN}(\text{'Masuk ke TPSA'} * 1 \llcorner \llcorner / \text{da} \gg \gg - \text{'Produksi BBJP'}, \text{'Kapasitas Alat Berat'} * \text{'Jumlah Alat Berat'})$	kg/da
87	<i>Landfill</i>	$7647684598 \llcorner \llcorner \text{Kg} \gg \gg$	kg
88	Faktor Penyusutan Alami	$3\% / 365$	%
89	Penyusutan Alami	$\text{'Laju Open dumping'} * \text{'Faktor Penyusutan Alami'}$	kg/da

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

Nama : Iqlima Aulia  
NPM : 3333190092  
Tempat, Tanggal Lahir : Ujung Pandang, 01 Juni 2000  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Agama : Islam  
Email : iqlimaauliaalvionita@gmail.com  
Alamat : VTB II, Jalan Kencana Timur 1, Kel. Kuta Baru,  
Kec. Pasar Kemis, Kab. Tangerang, Banten.

### RIWAYAT PENDIDIKAN

Universitas : Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
SMA : SMAN 4 Kota Tangerang

### RIWAYAT ORGANISASI

1. Anggota Departemen Kastratlitbang Himpunan Mahasiswa Teknik Industri UNTIRTA Periode 2020/2021
2. Anggota Departemen Kastratlitbang Himpunan Mahasiswa Teknik Industri UNTIRTA Periode 2021/2022
3. Asisten Laboratorium Sistem Produksi 2021/2022
4. Asisten Laboratorium Sistem Produksi 2022/2023

### RIWAYAT KEPANITIAAN

1. Kaderisasi Tingkat I - Anggota Divisi Acara
2. Industrial Engineering Event and Exploration – Anggota Divisi Acara
3. Industrial Engineering Event of Innovation – Ketua Pelaksana

### PRESTASI

1. Peraih Insentif Bidang PKM-AI dalam Program Kreativitas Mahasiswa (PKM) Tahun 2022 dengan judul artikel "Tingkat Kepuasan Kualitas Layanan Pembelajaran Daring Dan Pengaruhnya Terhadap Motivasi Belajar Mahasiswa (Studi Kasus: Jurusan Teknik Industri Untirta)"
2. 1st Place National Schools Debating Championship (NSDC) Tingkat Kota Tangerang

### KOMPETENSI YANG DIKUASAI

1. AutoCAD
2. FlexSim: 3D Simulation Modeling
3. Powersim
4. Microsoft Office (Word, Excel, Powerpoint)