

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

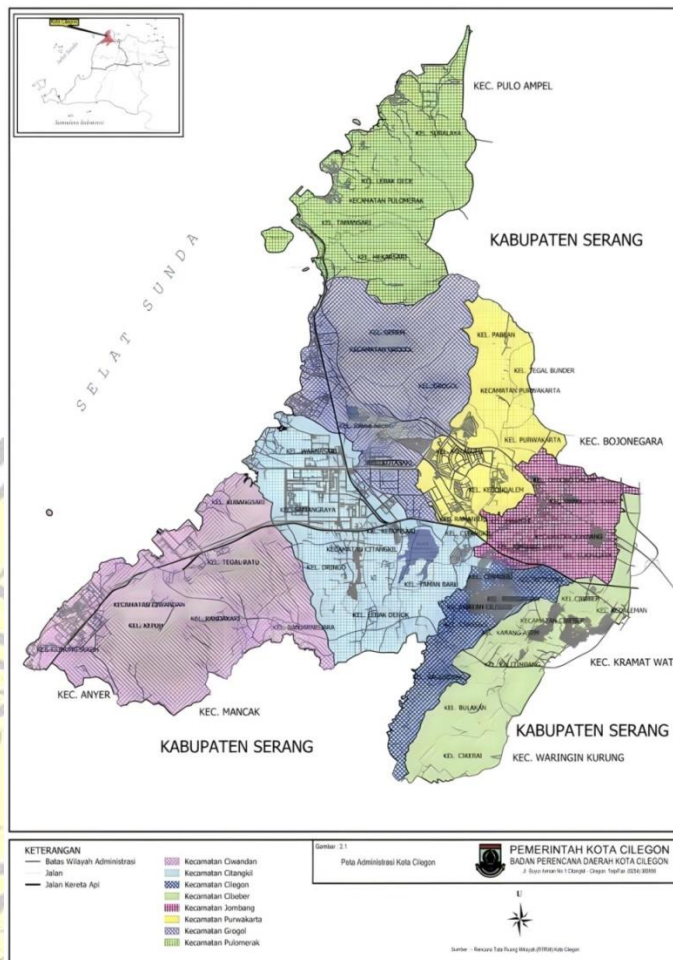
Wilayah penelitian dilakukan pada Kota Cilegon, Provinsi Banten. Secara astronomis Kota Cilegon terletak pada koordinat $5^{\circ}52'24''$ - $6^{\circ}04'07''$ Lintang Selatan (LS), $105^{\circ}54'05''$ - $106^{\circ}05'11''$ Bujur Timur (BT). Peraturan Daerah Kota Cilegon No. 1 Tahun 2020 tentang Rencana 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 ²)
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
Total	8 Kecamatan	43 Kelurahan	163,44

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:

- a. Utara: berbatasan dengan Kecamatan Pulo Ampel dan Kecamatan Bojonegara (Kabupaten Serang).
- b. Selatan: berbatasan dengan Kecamatan Mancak dan Kecamatan Anyer (Kabupaten Serang).
- c. Barat: berbatasan dengan Selat Sunda.
- d. 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

Parameter	Kondisi saat ini	Unit	Referensi
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	https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/3093642?lang=id&type=general
Kapasitas Kontainer	1200	kg/unit	https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/50961282?lang=id&type=general
Kapasitas kendaraan besar	2.100	kg/unit	https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/60728237?lang=id&type=regency
Kapasitas kendaraan kecil	800	kg/unit	https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/44367234?lang=id&type=regency
Kapasitas Produksi Pupuk	1.400	kg/hari	https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/61662632?lang=id&type=regency
Kapasitas Pencacahan Plastik	2.100	kg/hari	https://e-katalog.lkpp.go.id/katalog/produk/detail/57934135?lang=id&type=general
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 ³)	Total Kapasitas	Jumlah	Kapasitas (m ³)	Total Kapasitas (m ³)
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
Total	11	22	82	21	20	142
Infrastruktur	UPT Wilayah III Pulomerak & Grogol			UPT Wilayah IV Purwakarta & Jombang		
	Jumlah	Kapasitas (m ³)	Total Kapasitas	Jumlah	Kapasitas (m ³)	Total Kapasitas (m ³)
TPS Biasa	5	14	70			0
Kontainer 1	15	6	90	27	6	162
Kontainer 2			0		8	0
Kontainer 3			0		8	0
Total	20	20	160	27	22	162

Berdasarkan Tabel 5 terdapat empat jenis fasilitas TPS dengan kapasitas yang berbeda-beda. Jumlah TPS biasa adalah 7 buah dengan total kapasitas 98 m³. Jumlah kontainer 1 adalah 64 buah dan total kapasitasnya adalah 384 m³. Jumlah kontainer 2 adalah 7 buah dengan total kapasitasnya adalah 56 m³. Adapun jumlah kontainer 3 adalah 1 buah dan total kapasitasnya adalah 8 m³.

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
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

Uraian	Keterangan
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 ²
C. Kantor TPSA/pos jaga	60 m ²
D. Gudang	24 m ²
E. Toilet	18 m ²

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
A. Investasi				
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
Total				Rp. 1.653.718.000,00
B. Operasional (perbulan)				
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
Total				Rp. 25.861.308,00
Total Operasional per Tahun				Rp. 310.335.696,00

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
Investasi				
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
Total				Rp. 1.616.718.000,00

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
Investasi				
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
Total				Rp. 1.637.000.000,00

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
A. Investasi			
1	Kontainer	1	Rp. 63.400.000,00
Total			Rp. 63.400.000,00
B. Operasional			
1	Perawatan	1	Rp. 4.211.735,00
Total per tahun			Rp. 4.211.735,00
Total per hari			Rp. 11.539,00

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
A. Investasi				
1	Cator	1	Rp. 93.000.000,00	Rp. 93.000.000,00
Total				Rp. 93.000.000,00
B. Operasional (perbulan)				
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
Total				Rp. 8.622.666,67
Total per hari				Rp. 287.422,22

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
A. Investasi				
1	Dump truck	1	Rp.592.680.000,00	Rp. 592.680.000,00
Total				Rp. 592.680.000,00
B. Operasional (perbulan)				
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
Total				Rp. 25.218.750,00
Total per hari				Rp. 829.109,00

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
A. Investasi				
1	Alat Berat	1	Rp. 1.309.000.000,00	Rp. 1.309.000.000,00
Total				Rp. 1.309.000.000,00
B. Operasional (perbulan)				
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
Total				Rp. 10.839.000,00
Total per hari				Rp. 356.350,68

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 ≥ 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:

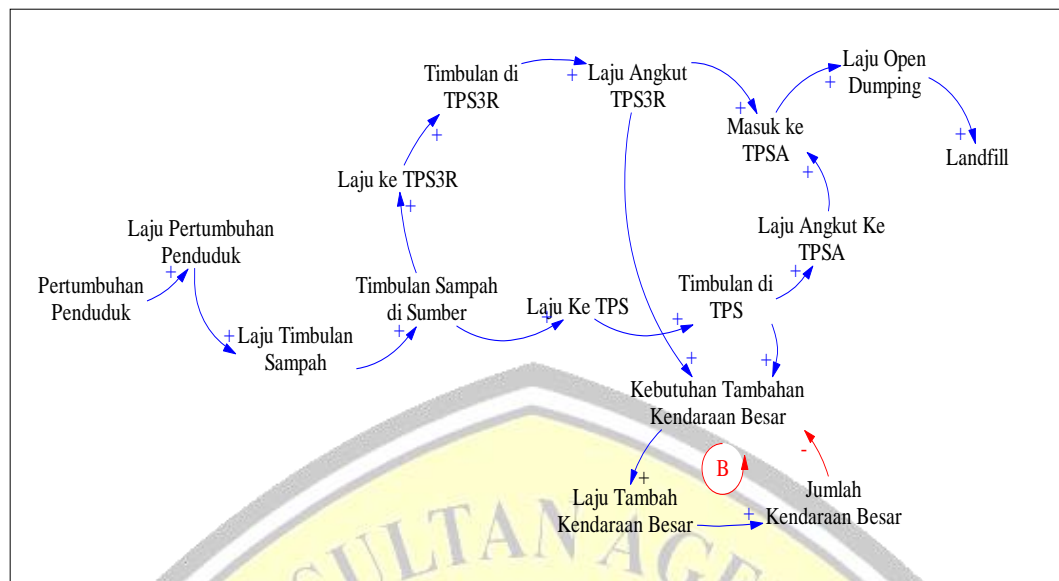
1. Model yang dibangun tidak mempertimbangkan dan memperhitungkan aliran sampah yang dari daerah luar Kota Cilegon seperti aliran sampah dari Kabupaten Serang.

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.

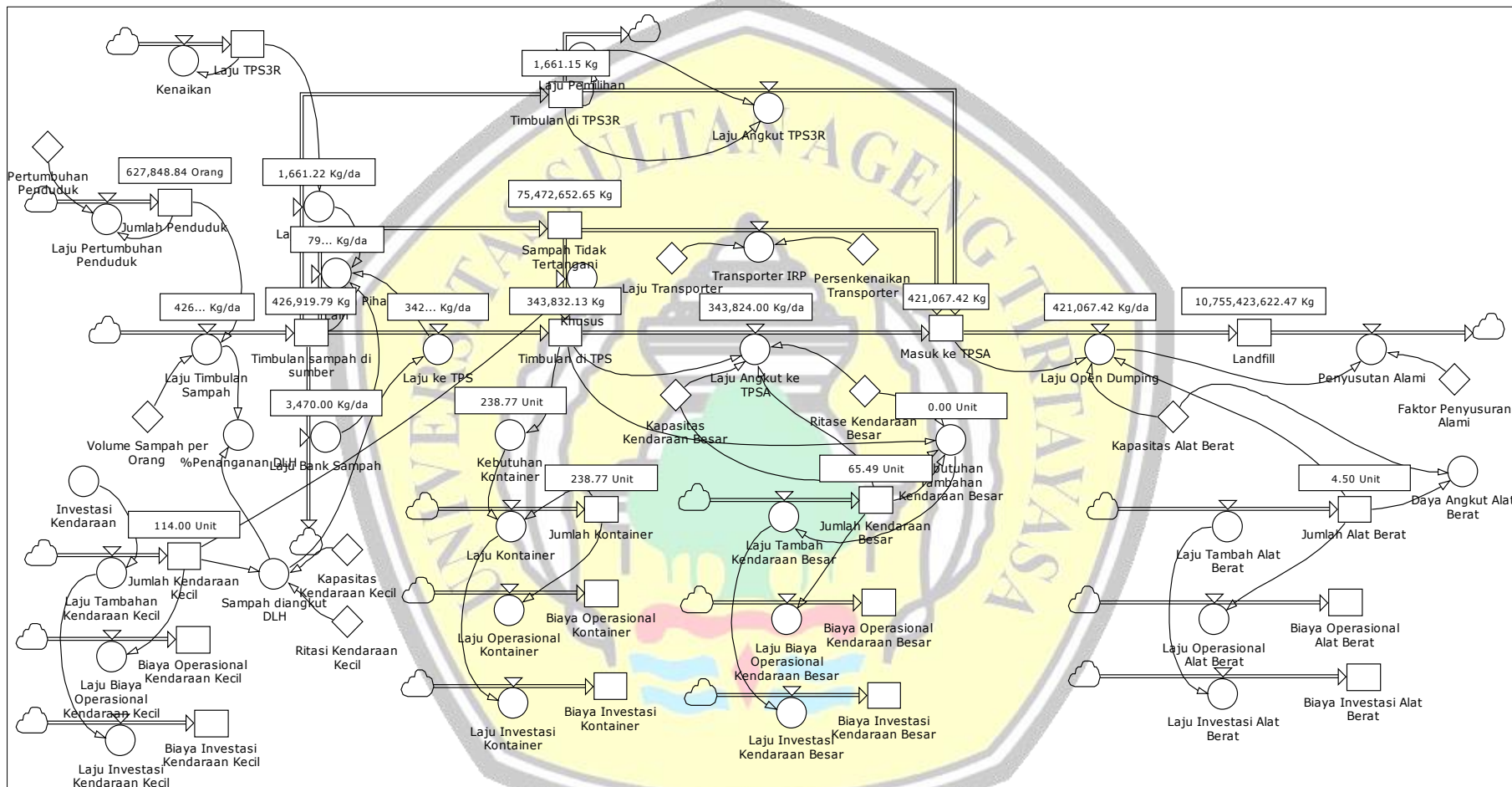


Gambar 7. Causal Loop Diagram (CLD) Model Existing Pengelolaan Sampah Kota Cilegon

Pada Gambar 7 loop terjadi pada bagian kebutuhan tambahan kendaraan besar → laju tambah kendaraan besar → jumlah kendaraan besar → 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	Landfill manual	Landfill simulasi existing	Error	Absolute value of error	Square of error	Absolute values of error divided by actual values
	Xm	Xs	Xm-Xs	Xm-Xs	(Xm-Xs)^2	Xm-Xs /Xm
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
Total			21.262	21.262	44.785.800	0,0027562
N					12	
MAD					1.771,83	
MSE					3.732.150	
MAPE					0,0230	

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.

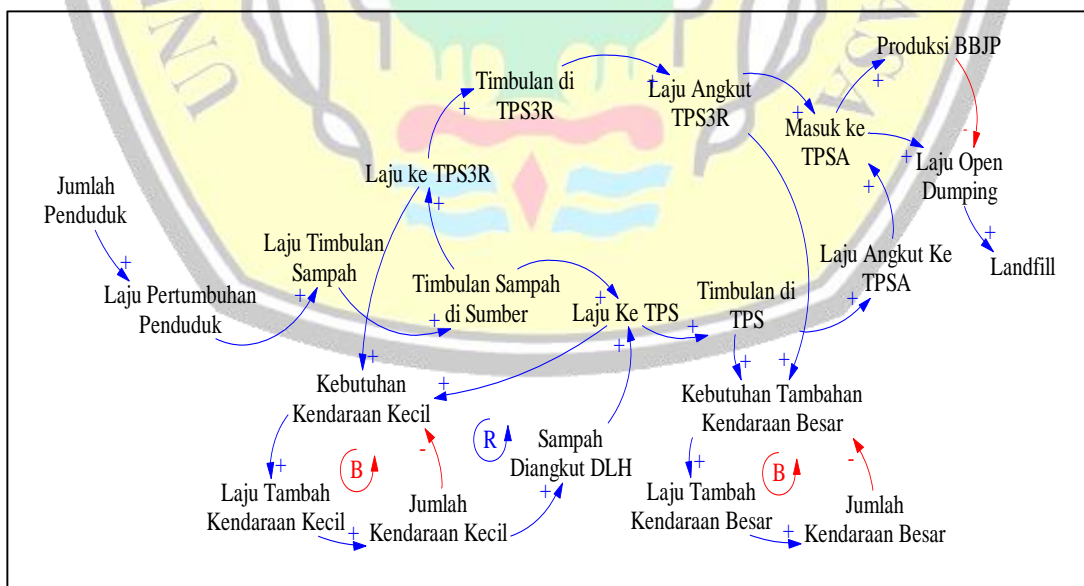
Skenario 1 memiliki batasan-batasan yang diterapkan dalam membangun model. Batasan dilakukan agar model yang dibangun dapat terkendali dan relevan dengan kondisi nyata. Batasan-batasan tersebut antara lain, sebagai berikut:

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

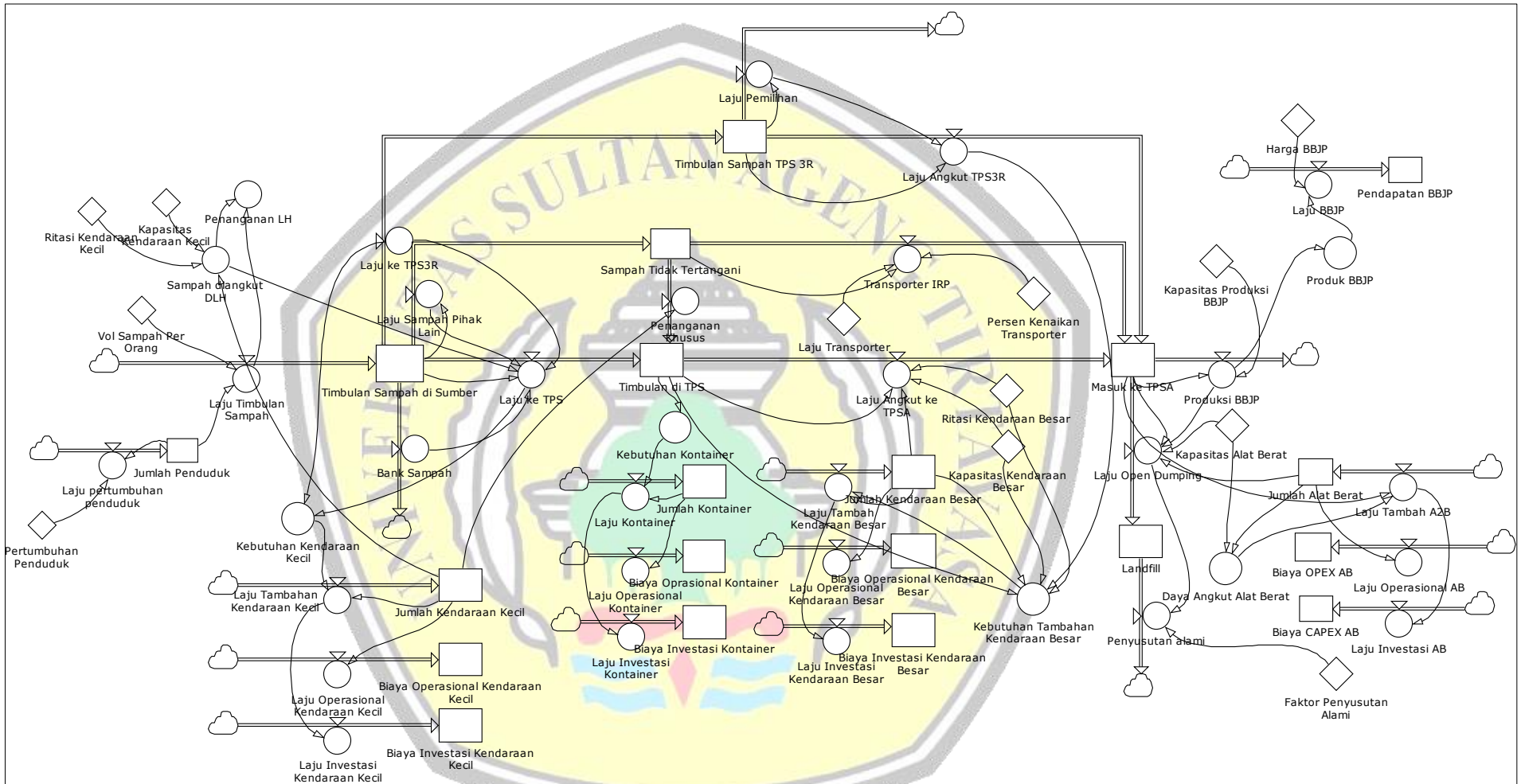
Pada Gambar 9 *loop* pertama terjadi pada kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil. Semakin besar kebutuhan kendaraan kecil, maka laju tambah kendaraan kecil akan meningkat sehingga menyebabkan jumlah kendaraan kecil juga meningkat. Namun terdapat hubungan berlawanan 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.



Gambar 10. Stock Flow Diagram (SFD) Skenario 1 Produksi BBJP

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.

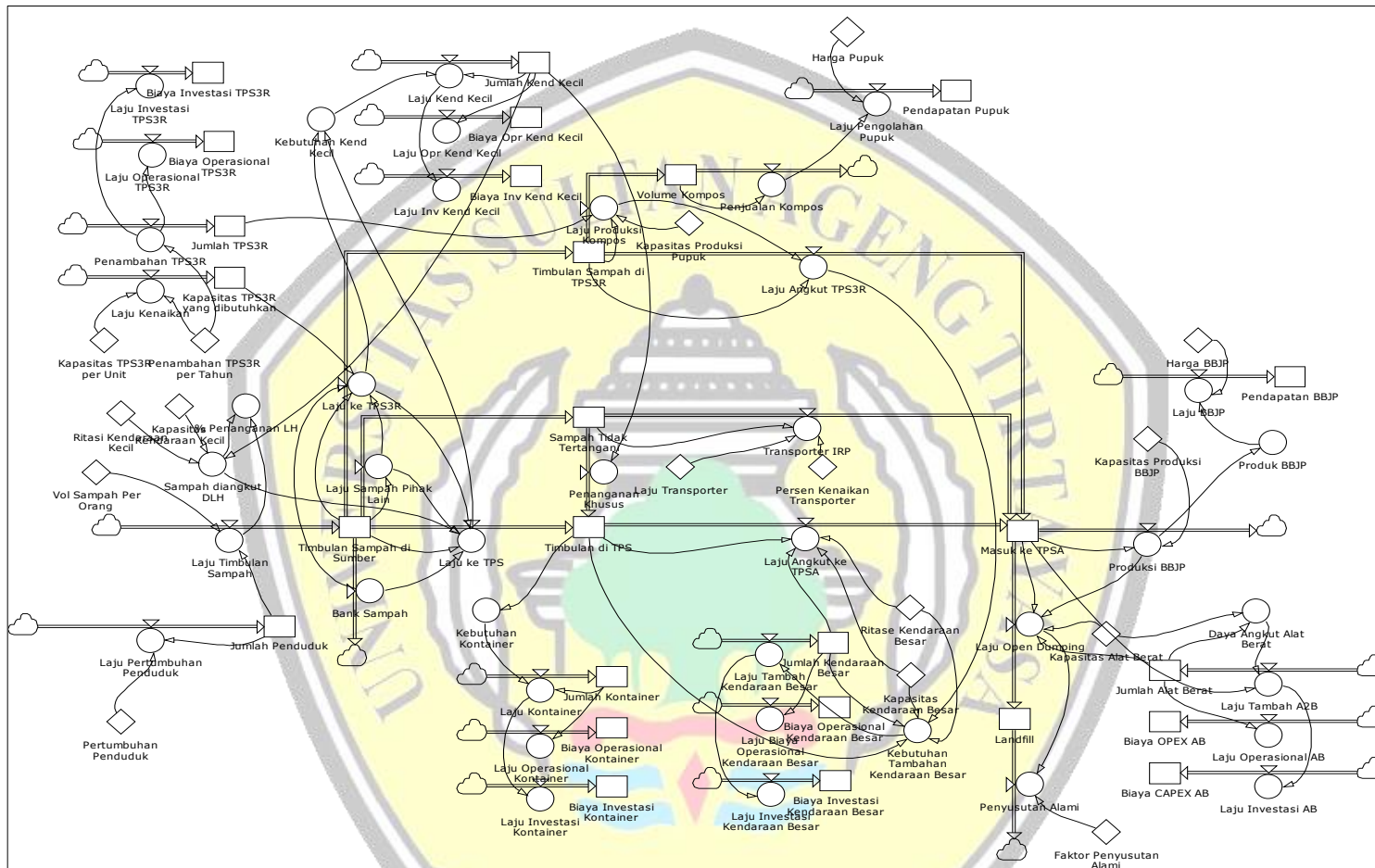
Gambar 11 menunjukkan *causal loop* yang terjadi pada skenario 2, dimana banyaknya *loop* yang ditemukan sama seperti skenario 1. Terdapat tiga *loop* pada sistem skenario 2. *Loop* pertama ditemukan pada bagian kebutuhan kendaraan kecil → laju tambah kendaraan kecil → jumlah kendaraan kecil. Maksud 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):

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:

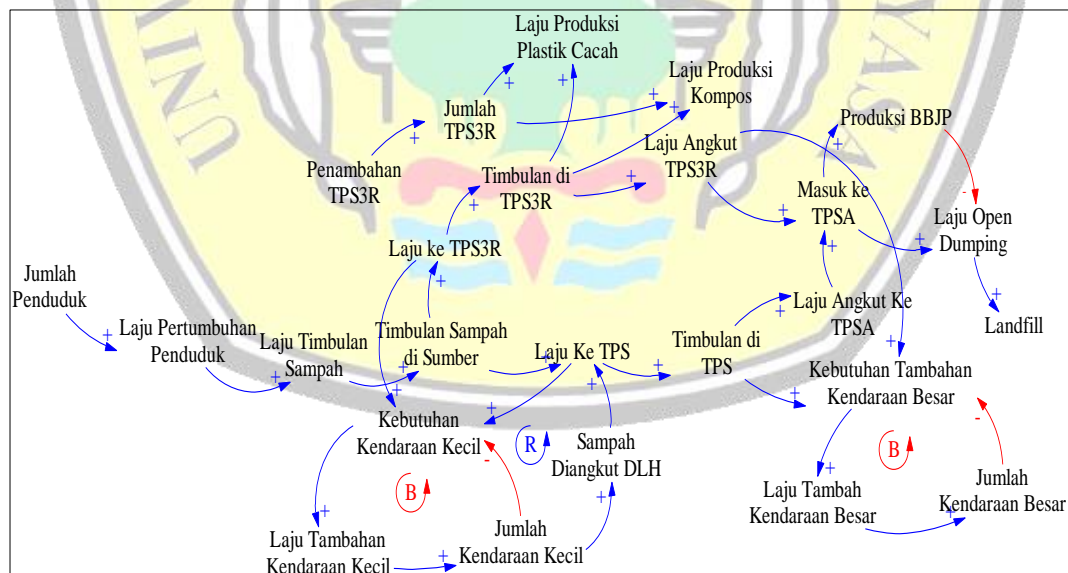
1. Jenis pengolahan sampah yang dilakukan pada 1 unit TPS3R adalah pengolahan sampah organik menjadi pupuk kompos dan pengolahan sampah anorganik yaitu pencacahan plastik. Penambahan jumlah TPS3R adalah 2 unit per tahun.
2. Sebanyak 80% pupuk dan cacahan plastik terjual dalam satu hari.
3. Bank sampah 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 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 pembandingan	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
Total Biaya Operasional	Rp. 645.530.629.691	Rp. 791.827.638.202	Rp. 765.553.007.670	Rp. 753.958.336.111	Rp. 730.279.628.211
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	-
Total Biaya Investasi	Rp. 33.446.272.806	Rp. 39.475.977.222	Rp. 112.469.931.272	Rp. 111.404.650.130	Rp. 104.667.906.645
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
Total Pendapatan	-	Rp. 413.860.797.919	Rp. 728.737.446.235	Rp. 2.819.663.696.373	Rp. 3.134.574.005.401

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.

