

ANALISIS SISTEM PENGELOLAAN SAMPAH KOTA (STUDI KASUS: KOTA SERANG)

Ricky Febriyanto

Sekolah Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia Salemba - Gedung C (FKG) Lt. 5 dan 6
Jl. Salemba Raya No. 4 - Jakarta Pusat 10430
rickyfebriyanto_rf@yahoo.com

ABSTRAK

ANALISIS SISTEM PENGELOLAAN SAMPAH KOTA SERANG. Pengelolaan sampah perkotaan adalah bentuk pelayanan publik di sektor kebersihan yang dilaksanakan oleh pemerintah daerah. Karakteristik timbulan sampah perkotaan yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk, membutuhkan sistem pengelolaan sampah yang dapat menjamin keberlangsungan di setiap dimensi kehidupan. Saat ini sistem pengelolaan sampah Kota Serang masih dikelola dengan sistem pengelolaan konvensional Kumpul-Angkut-Buang (KAB), sehingga berpotensi menimbulkan dampak negatif pada setiap dimensi kehidupan (sosial, ekonomi dan lingkungan). Untuk mengetahui permasalahan dari kompleksitas sistem pengelolaan sampah Kota Serang, maka digunakan pendekatan yang bersifat multidisiplin dan integralistik. Adapun pendekatan yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif, dengan metode permodelan *System Dynamics*. Hasil analisis menunjukkan, karakteristik timbulan sampah Kota Serang ditandai dengan pertumbuhan Jumlah Timbulan Sampah (JTS), cenderung mengalami peningkatan mengikuti pertumbuhan penduduk. Diperkirakan pada tahun 2014, nilai JTS di Kota Serang adalah sebesar 78.409.628,50 kg dengan nilai Timbulan Sampah per Kapita (TSK) sebesar 0,35 kg/jiwa/hari. Hasil simulasi model pada kondisi *Business as Usual* (BAU) menunjukkan terdapat dua permasalahan utama pada sistem pengelolaan sampah Kota Serang. Permasalahan pertama adalah cakupan pelayanan persampahan yang tidak dapat memenuhi ketentuan SPM (Standar Pelayanan Minimal) cakupan pelayanan persampahan perkotaan sebesar 70%. Diprediksi dari tahun 2008-2030 nilai cakupan pelayanan persampahan Kota Serang hanya mencapai 46,37% penduduk per tahun. Permasalahan ke dua adalah pada tahun 2030 TPA Cilowong telah memasuki keadaan jenuh.

Kata Kunci : sistem pengelolaan sampah, system dynamics, model, status keberlanjutan, cakupan pelayanan persampahan, JTS.

ABSTRACT

ANALYSIS OF SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN SERANG CITY. Municipal solid waste management is a form of public service which is provided by local government. Characteristics of municipal waste generation an ever increasing along with population growth, requiring waste management system that can ensure the sustainability in every dimension of life. The current waste management system in the City of Serang is still managed with conventional management systems (end of pipe), that potentially could be negative impact in every dimension of life (social, economic and environmental). In order to know the problems of complexity waste management system in the city of Serang, therefor the appropriate analytical approach is multidisciplinary and integrative. As for the approach used is a quantitative approach, with method a System Dynamics modeling. Result of analysis shows, waste generation characteristics in the city of Serang characterized by the growth of Amount Waste Generation (JTS), tends to increase following the population growth. Estimated in 2014, the value of JTS in Serang city amounted to 78,409,628.50 kg with a value of Waste Generation per Capita (TSK) of 0.35 kg / person / day. Results of model simulations on condition Business as Usual (BAU) shows that there are two main problems in the waste management system in the city of Serang. The first problem is the coverage waste services cannot fulfill the provisions of SPM urban waste service coverage by 70%. Predicted from years 2008-2030 the value waste services coverage in the City of Serang is only reaches 46.37% of the population per year. The second problem is in 2030 TPA Cilowong has entered the state of saturation.

Keywords: waste management system, system dynamics, models, sustainable status, service coverage for waste, JTS.

PENDAHULUAN

Aktivitas kehidupan sehari-hari manusia tidak terlepas dari sampah. Manusia seringkali tidak menyadari bahwa keberadaan sampah (secara kualitas dan kuantitas) turut mengalami perubahan seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Kualitas sampah dapat mencerminkan tingkat perkembangan kemampuan intelektual dan teknologi yang digunakan manusia saat itu. Kuantitas sampah

identik dengan sumber penghasil sampah yang erat kaitannya dengan pertumbuhan manusia. Semakin meningkat pertumbuhan manusia maka semakin meningkat pula timbulan sampah.

Masalah sampah di Indonesia telah menjadi permasalahan nasional. Diperkirakan hanya sekitar 60% sampah kota-kota besar di Indonesia yang dapat terangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) [1]. Nilai tersebut tidak berbeda secara signifikan dengan hasil penelitian yang

dilakukan Rahim, Nakayama dan Shimaoka [2], terkait pengelolaan sampah di kota-kota besar di Indonesia diantaranya yaitu, DKI Jakarta, Palembang, Medan, Bandung, Bekasi, Makassar, Surabaya, Semarang dan Depok. Menurut mereka, rata-rata jumlah sampah yang dapat terangkut dari kesembilan kota tersebut baru mencapai 69,78%. Sebagian besar kota-kota di Indonesia masih menerapkan paradigma pengelolaan sampah KAB (Kumpul- Angkut-Buang). Akibatnya, TPA sebagai titik akhir pembuangan sampah dituntut untuk dapat menerima sampah dalam jumlah besar tanpa proses pengolahan. Hal inilah yang menjadi sebab terjadi kondisi kegagalan TPA akibat ketidakmampuan TPA dalam menampung sampah maupun mengatasi dampak pencemaran yang ditimbulkannya.

Kota Serang sebagai Ibu Kota Provinsi Banten adalah daerah hasil pemekaran sebagian wilayah dari Kabupaten Serang. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah penduduk Kota Serang pada tahun 2012 adalah 611.897 jiwa, meningkat dari 598.407 jiwa pada tahun 2011. Sebagaimana yang diperlihatkan pada Tabel 1, rata-rata pertumbuhan penduduk Kota Serang dari tahun 2008-2012, mencapai angka pertumbuhan sebesar 5,7% per tahun. Jumlah penduduk Kota Serang yang terus meningkat membawa konsekuensi logis peningkatan aktivitas penduduk, yang berarti juga dapat meningkatkan jumlah timbulan sampah. Hal ini didukung pula melalui penelitian yang dilakukan oleh Hanafiah, ia mengungkapkan bahwa

meningkatnya pertumbuhan penduduk di Kota Serang diikuti dengan peningkatan timbulan sampah yang menyebabkan peningkatan kebutuhan sarana persampahan [3].

Tabel 1 Jumlah Penduduk Kota Serang Tahun 2008-2012.

No	Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
1	2008	493.232
2	2009	497.910
3	2010	577.785
4	2011	598.407
5	2012	611.897

Sumber: BPS Kota Serang [4]

Kota Serang saat ini memiliki satu buah sarana TPA, yaitu TPA Cilowong yang terletak di Kecamatan Taktakan sebelah barat Kota Serang. TPA Cilowong pada mulanya didirikan oleh Pemerintah Kabupaten Serang. Semenjak Kabupaten Serang mengalami pemekaran, kepemilikan aset TPA Cilowong menjadi wewenang dari Pemerintah Kota Serang. Berdasarkan data rekapitulasi penerimaan sampah TPA Cilowong (Tahun 1995-2011) yang diperlihatkan pada Tabel 2, menunjukkan bahwa penerimaan sampah di TPA Cilowong setiap tahunnya mengalami peningkatan. Kondisi tersebut apabila tidak disertai dengan pengelolaan sampah yang tepat, maka dapat mengakibatkan TPA akan cepat penuh dan mempersingkat usia TPA.

Tabel 2 Rekapitulasi Penerimaan Sampah yang Masuk ke TPA Cilowong (Tahun 1995-2010).

No	Tahun	Jumlah Sampah Masuk (m ³)	Keterangan
1	1995	32.480	Kabupaten Serang
2	1996	42.840	Kabupaten Serang
3	1997	47.880	Kabupaten Serang
4	1998	52.920	Kabupaten Serang
5	1999	57.960	Kabupaten Serang
6	2000	60.340	Kabupaten Serang
7	2001	63.840	Kabupaten Serang
8	2002	65.870	Kabupaten Serang
9	2003	69.160	Kabupaten Serang
10	2004	73.360	Kabupaten Serang
11	2005	80.430	Kabupaten Serang
12	2006	85.255	Kabupaten Serang
13	2007	89.824	Kabupaten Serang
14	2008	99.373	Kota/Kabupaten Serang
15	2009	136.097	Kota/Kabupaten Serang
16	2010	159.216	Kota/Kabupaten Serang

Sumber: DTK Kota Serang [5].

Adanya bukti keterkaitan antara jumlah penduduk, timbulan sampah, kebutuhan sarana persampahan, dan kapasitas TPA, membuktikan bahwa sistem pengelolaan sampah Kota Serang termasuk kedalam sistem yang kompleks (rumit). Terdapat berbagai unsur penyusun sistem pengelolaan sampah Kota Serang, yang satu sama lain saling berhubungan dan bersifat interdipendensi. Peningkatan jumlah penduduk Kota Serang yang telah dijelaskan sebelumnya, berkorelasi sebagai penyebab terjadinya peningkatan timbulan sampah. Bertambahnya jumlah timbulan sampah, juga berhubungan dengan unsur peningkatan kebutuhan akan sarana dan prasarana. Kondisi meningkatkan biaya kebutuhan tersebut, akan mempengaruhi biaya pengelolaan sampah yang harus direalisasikan oleh Pemerintah Kota Serang. Semakin besar realisasi biaya pengelolaan sampah yang dikeluarkan, maka semakin tinggi pula nilai cakupan pelayanan persampahan yang dapat dicapai. Cakupan pelayanan persampahan pada akhirnya akan mempengaruhi jumlah timbulan sampah yang dapat diangkut menuju TPA.

Belum adanya penelitian terkait kompleksitas sistem pengelolaan sampah Kota Serang, mengakibatkan selama ini kebijakan persampahan yang diambil didasarkan pada pendekatan analisis yang parsial. Padahal kajian yang bersifat parsial memiliki keterbatasan dalam memberikan informasi maupun penjelasan untuk pembuatan keputusan yang bersifat makro, sehingga berpotensi menghasilkan kebijakan yang keliru. Oleh karena itu dibutuhkan pendekatan yang komprehensif dalam menyelesaikan setiap permasalahan sampah yang muncul, sehingga diperoleh sistem kelola sampah yang baik dan berkelanjutan.

Pengelolaan sampah berkelanjutan adalah pengelolaan sampah yang dilaksanakan berdasarkan empat hal yaitu, kemampuan sumber daya, kondisi ekologi, ekonomi serta pengelolaan yang dapat diwariskan untuk generasi masa depan [6]. Klundert, menyatakan bahwa pengelolaan sampah berkelanjutan merupakan pengelolaan sampah terpadu dengan kondisi layak secara prespektif teknis, lingkungan, sosial, ekonomi dan kelembagaan [7]. Serangkaian proses pengelolaan sampah yang berkelanjutan harus dapat memenuhi tiga dimensi paradigma berkelanjutan yaitu ekonomi, sosial dan lingkungan sehingga dapat memenuhi kebutuhan serta kelangsungan untuk generasi di masa mendatang.

Pengelolaan sampah di Kota Serang yang sesuai dengan konsep berkelanjutan, tercantum di dalam peraturan daerah (perda) Kota Serang nomor 10 tahun 2012 Tentang Pengelolaan Sampah. Perda tersebut mengatur

bahwa pengelolaan sampah harus bertujuan untuk menjaga kelestarian fungsi lingkungan hidup, kesehatan masyarakat dan menjadikan sampah sebagai sumber daya [8]. Kenyataan yang ada sekarang di Kota Serang justru sebaliknya. Sistem pengelolaan sampah Kota Serang belum dapat memenuhi tujuan pengelolaan sampah berdasarkan perda Kota Serang nomor 10 tahun 2012. Indikatornya adalah karakteristik timbulan sampah Kota Serang yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduknya, masih dikelola dengan sistem konvensional (Kumpul-Angkut-Buang). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik timbulan sampah di Kota Serang seiring dengan pertumbuhan penduduknya dan menganalisis model *System Dynamics* (SD) yang komprehensif dan dapat merepresentasikan sistem pengelolaan sampah Kota Serang saat ini, sehingga dapat dipahami permasalahan yang dihadapinya.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat teoretis dan praktis diantaranya yaitu; Memberikan pengetahuan tentang bagaimana melakukan analisis kebijakan secara teknis dan operasional, menggunakan simulasi model sistem pengelolaan sampah perkotaan berdasarkan metode SD. Selain itu penelitian ini bermanfaat dalam memberikan informasi berbasis komputer melalui aplikasi *software* permodelan, tentang bagaimana dinamika sampah yang terjadi di dalam sistem pengelolaan sampah Kota Serang.

METODOLOGI

Pendekatan yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif. Untuk tercapainya tujuan dari penelitian ini, maka digunakan dua cara pencapaian, yaitu metode SNI Nomor 19-3964-1995, Tentang Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan dan metode permodelan *System Dynamics*.

A. Metode SNI Nomor 19-3964-1995

Teknik pengambilan sampel di setiap lokasi sampel dilakukan dengan teknik *simple random sampling*. Diperoleh total sampel sebanyak 261 KK yang tersebar di setiap wilayah administratif Kota Serang (Kecamatan; Cipocok Jaya, Curug, Kasemen, Serang, Taktakan dan Walantaka). Setelah diperoleh lokasi sampel, tahapan selanjutnya adalah pengukuran sampel yang dilakukan dengan cara menimbang berat sampah. Setelah diperoleh berat sampah secara menyeluruh, maka dapat ditentukan nilai sampel Timbulan Sampah per Kapita (TSK) berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan [9]:

$$TSK = \frac{B_s}{u}$$

Keterangan:

TSK = Timbulan Sampah per Kapita (kg/jiwa/minggu)

B_s = Berat sampah yang diukur (kg/minggu).

u = Jumlah unit penghasil sampah (jiwa)

Setelah diperoleh nilai TSK, maka dapat dilakukan analisis selanjutnya yaitu analisis jumlah timbulan sampah (JTS). Analisis JTS adalah estimasi jumlah sampah yang dihasilkan di Kota Serang dari sumber sampah permukiman dalam jangka waktu satu tahun. Estimasi ini merupakan langkah awal penelitian yang berfungsi sebagai dasar dari perancangan, dan pengkajian model sistem pengelolaan sampah perkotaan. Mengacu pada peraturan SNI 19-3964-1995, maka estimasi jumlah sampah yang dihasilkan dalam satu tahun dapat dihitung menggunakan persamaan berikut [9]:

$$JTS = TSK \times \text{Penduduk}$$

Keterangan:

JTS = Jumlah timbulan sampah (kg/tahun).

TSK = Timbulan sampah per kapita (kg/jiwa/tahun).

Penduduk = Jumlah manusia yang tercatat sebagai warga atau masyarakat Kota Serang setiap tahun (jiwa).

Analisis selanjutnya adalah analisis kapasitas TPA. Analisis ini, adalah mengestimasi luas lahan ideal yang dibutuhkan dalam menampung sampah. Analisis kapasitas TPA ditentukan berdasarkan rasio pemadatan, yaitu pengurangan volume sampah setelah mengalami proses pemadatan ditempat TPA baik sengaja dipadat maupun pemadatan akibat berat sendiri sampah. Asumsi rasio sebesar 1 bagian tanah penutup berbanding 4 bagian sampah, maka kebutuhan lahan ideal untuk TPA *landfill* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$V = 1,25 \times \frac{R}{D} \times \left(1 - \frac{P}{100}\right)$$

dimana:

$$A = \frac{VN}{d}$$

Keterangan:

V = Volume sampah dan tanah penutup per jiwa per tahun (m³/jiwa/tahun)

R = Laju timbulan sampah per orang per tahun (kg/jiwa/tahun)

D = Densitas sampah sebelum dipadatkan yang tiba di TPS/TPA (kg/m³)

P = Persentase pengurangan volume karena pemadatan

A = Luas lahan yang diperlukan (m²/tahun)

N = Jumlah penduduk yang dilayani (jiwa)

d = Tinggi/kedalaman sampah dan tanah penutup

B. Metode Permodelan *System Dynamics*.

Penggunaan metode permodelan diawali dengan tahapan deskriptif analitik yaitu proses pemahaman sistem pengelolaan sampah Kota Serang yang diuraikan kedalam bentuk deskripsi sistem. Proses deskripsi sistem dilakukan melalui penyusunan informasi dan data yang diperoleh dari berbagai sumber baik dari observasi dilapangan maupun dari berbagai sumber kajian ilmiah. Hasil penyusunan informasi dan data kemudian diinterpretasikan secara sistematis dan digeneralisasi kedalam bentuk model diagram hubungan sebab-akibat antara variabel-variabel utama penyusun sistem pengelolaan sampah Kota Serang. Adapun Model diagram hubungan sebab-akibat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Causal Loop Diagram* (CLD).

Setelah diperoleh model CLD, pekerjaan selanjutnya adalah mengembangkan CLD ke dalam model diagram alir berbasis komputer, berupa *Stock and Flow Diagrams* (SFD). Proses transformasi CLD ke SFD berfungsi menganalisis secara kuantitatif model sistem pengelolaan sampah Kota Serang, sehingga dihasilkan data numerik yang lebih spesifik dari setiap komponen penyusun model. Adapun program komputer yang digunakan untuk membangun SFD pada penelitian ini, adalah menggunakan bantuan perangkat lunak permodelan *Powersim Studio 8 Enterprise*, dengan lisensi berasal dari Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (Bakosurtanal).

Berdasarkan hasil pembuatan model SFD, maka dilakukan teknik simulasi yaitu proses operasionalisasi model SFD secara simultan dalam jangka waktu tertentu pada kondisi skenario model *Business as Usual* (BAU). Menurut Soesilo dan Karuniasa, Simulasi memberikan gambaran kinerja sistem,

baik kinerja sistem sampai dengan saat ini maupun prediksi sistem hingga periode waktu tertentu [10].

Simulasi model SFD menghasilkan data numerik dari setiap komponen model, yang ditampilkan dalam bentuk tabel maupun grafik waktu. Beberapa data komponen model yang akan ditampilkan pada tahapan ini adalah data penduduk, jumlah sampah TPA, realisasi biaya pengelolaan sampah dan PDRB. Setelah diperoleh data numerik dari setiap komponen model, maka langkah selanjutnya adalah memvalidasi model.

Model dinyatakan valid apabila secara struktur model telah sesuai dengan informasi dan data (kondisi eksisting Kota Serang sebagai wilayah penelitian, karakteristik timbulan sampah, pelayanan persampahan Kota Serang dan landasan teoretis ilmiah) serta secara statistik ditandai dengan nilai penyimpangan model berada dibawah ketentuan nilai perhitungan validitas nilai *Absolute Mean Errors* (AME). Ketentuan perhitungan validitas nilai AME, yaitu nilai $AME \leq 10\%$ untuk penelitian di dalam laboratorium (hampir semua variabel dapat dikontrol), dan nilai $AME \leq 30\%$ untuk penelitian lapangan (dimana hampir semua variabel tidak dapat dikontrol). Berikut rumus AME yang digunakan untuk menghitung penyimpangan tersebut [11]:

$$AME = \frac{|\bar{X}_s - \bar{X}_e|}{\bar{X}_e} \times 100\%$$

Nilai \bar{X}_s adalah nilai rata-rata dari data hasil simulasi, nilai \bar{X}_e adalah nilai rata-rata dari data empirik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Karakteristik Timbulan Sampah di Kota Serang.

Bertambahnya penduduk Kota Serang setiap tahunnya, menggambarkan semakin banyak orang yang menetap dan bertempat

tinggal di wilayah permukiman Kota Serang. Hal ini mengindikasikan semakin tinggi aktivitas yang berpotensi menghasilkan sampah di wilayah permukiman. Hasil analisis timbulan sampah Kota Serang dengan menggunakan metode SNI 19-3964-1995, menghasilkan nilai rata-rata timbulan sampah Kota Serang per kapita pada tahun 2014 adalah sebesar 0,35 kg/jiwa/hari. Nilai ini menjelaskan bahwa, diperkirakan setiap satu orang penduduk Kota Serang menghasilkan sampah dalam satu hari sebesar 0,35 kg, atau setara dengan volume sampah sebesar 1,75 liter. Secara lebih terperinci hasil analisis terkait pengukuran contoh timbulan sampah di seluruh kecamatan Kota Serang dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan data pada Tabel 3, diperoleh nilai TSK terbesar berasal dari Kecamatan Serang, yaitu sebesar 0,42 kg/jiwa/hari. Diurutan selanjutnya adalah Kecamatan Cipocok Jaya dengan nilai TSK sebesar 0,34 kg/jiwa/hari. Untuk beberapa kecamatan lainnya diperoleh nilai TSK yang tidak berbeda jauh, yaitu berkisar antara 0,28-0,30 kg/jiwa/hari. Nilai TSK membuktikan bahwa jumlah sampah yang dihasilkan di suatu wilayah sangat dipengaruhi oleh jumlah penduduknya. Semakin tinggi jumlah penduduk di suatu wilayah, maka semakin besar potensi sampah yang dihasilkan setiap orangnya.

Tabel 3. Hasil Analisis Pengukuran Timbulan Sampah di Setiap Kecamatan Kota Serang Tahun 2014.

No	Kecamatan	Jiwa	Berat Sampah (kg/hari)
1	Cipocok Jaya	147	49,93
2	Serang	349	145,98
3	Kasemen	165	50,05
4	Walantaka	150	45,28
5	Taktakan	119	33,78
6	Curug	76	23,05
Total		1006	348,08
TSK		0,35 kg/jiwa/tahun	
TSK (dalam tahun)		127,75 kg/jiwa/tahun	

Setelah diperoleh nilai TSK Kota Serang, selanjutnya dilakukan analisis estimasi Jumlah Timbulan Sampah (JTS) dalam jangka waktu satu tahun. Hasil perhitungan menunjukkan, bahwa nilai JTS di Kota Serang pada tahun 2014 sebesar 78.409.628,50 kg, atau setara dengan jumlah volume sampah yang dihasilkan setiap harinya sebesar 1.074,10 m³/hari. Jumlah timbulan sampah yang dihasilkan di Kota Serang sebagian besar dikelola pemerintah dengan cara dikumpulkan, diangkut dan ditimbun di TPA Cilowong. Apabila digunakan asumsi bahwa volume sampah Kota Serang yang masuk ke TPA Cilowong setiap harinya berjumlah sekitar 500 m³/hari [12], maka dapat diperkirakan cakupan pelayanan persampahan Pemerintah Kota Serang pada tahun 2014, baru dapat mencapai agregrat sebesar 46,55%.

Setelah diperoleh nilai jumlah sampah yang dihasilkan dan agregrat cakupan pelayanan persampahan Kota Serang, maka dapat dilakukan analisis kapasitas TPA Cilowong. Diketahui bahwa pada tahun 2014 nilai luas lahan ideal yang dibutuhkan TPA Cilowong untuk menampung sampah yang dihasilkan dari jumlah penduduk terlayani, adalah seluas 1,37 ha/tahun. Artinya, untuk setiap jumlah sampah yang dihasilkan sebesar 36.500.219 kg, maka diperlukan luas lahan TPA seluas 1,37 ha, atau setara dengan nilai 2,66 ton/m². Pada analisis selanjutnya nilai ini, akan digunakan sebagai standar untuk menentukan daya tampung dan usia TPA Cilowong.

Analisis Model Sistem Pengelolaan Sampah Kota Serang.

Untuk memudahkan pemahaman ruang lingkup sistem pengelolaan sampah Kota Serang, maka dibuat struktur CLD model sistem pengelolaan sampah Kota Serang, yang dibagi kedalam tiga sub-sistem. Sub-sistem pertama adalah dimensi sosial, yang diwakili oleh komponen sosial, yaitu penduduk dan cakupan pelayanan persampahan. Sub-sistem kedua

adalah dimensi lingkungan, yang diwakili oleh komponen lingkungan, seperti sampah kota, volume sampah terangkut, sampah TPA, produksi LFG dan emisi CH₄.

Untuk sub-sistem ketiga adalah dimensi ekonomi, yang diwakili oleh komponen ekonomi, seperti PDRB, realisasi biaya pengelolaan sampah dan total biaya sosial. Ketiga sub-sistem ini, merupakan bentuk generalisasi (penyederhanaan) dari kompleksitasnya hubungan antarkomponen, yang terdapat pada kondisi eksisting Kota Serang sebagai wilayah penelitian, karakteristik timbulan sampah dan pelayanan persampahan Kota Serang.

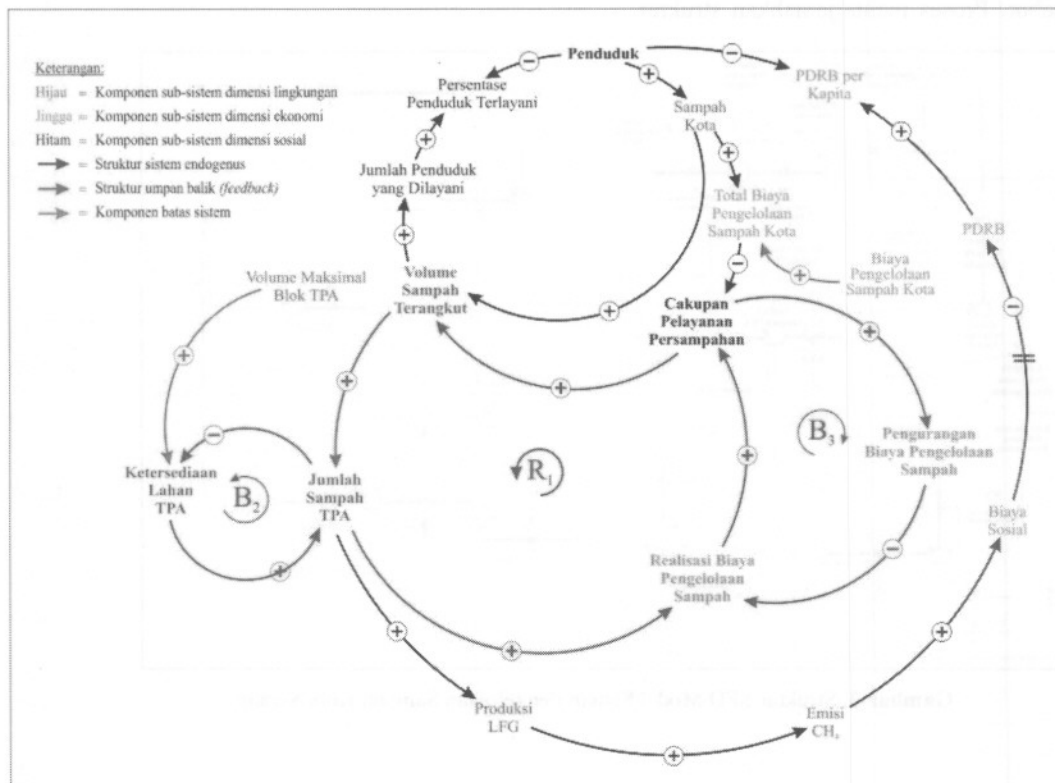
Struktur CLD model sistem pengelolaan sampah Kota Serang, merupakan integrasi hubungan sebab-akibat dari setiap komponen pembentuk sub-sistem. Konsep hubungan sebab-akibat antarsub-sistem, diawali dari pertemuan antara sub-sistem dimensi sosial dengan sub-sistem dimensi lingkungan. Pertemuan tersebut, terbentuk melalui hubungan sebab-akibat antara komponen penduduk dengan komponen sampah Kota. Berdasarkan kondisi Kota Serang, dalam hal ini kondisi demografi dan karakteristik timbulan sampah, maka komponen penduduk dan sampah Kota Serang membentuk hubungan sebab-akibat searah (bergerak ke arah yang sama). Hubungan tersebut, merupakan interpretasi dari kondisi peningkatan penduduk Kota Serang, yang mengakibatkan bertambahnya sampah Kota Serang.

Pertemuan sub-sistem dimensi lingkungan dengan sub-sistem dimensi ekonomi, terbentuk melalui hubungan sebab-akibat antara komponen jumlah sampah TPA dengan realisasi biaya pengelolaan sampah. Berdasarkan kondisi Kota Serang, dalam hal ini kondisi ekonomi dan karakteristik timbulan sampah, maka komponen jumlah sampah TPA dan realisasi biaya pengelolaan sampah Kota Serang membentuk hubungan sebab-akibat searah. Hubungan

tersebut, merupakan interpretasi dari kondisi peningkatan jumlah sampah TPA Cilowong, yang mengakibatkan meningkatnya realisasi biaya pengelolaan sampah.

Pertemuan sub-sistem dimensi ekonomi dengan sub-sistem dimensi sosial terbentuk melalui hubungan sebab-akibat antara komponen realisasi biaya pengelolaan sampah dengan cakupan pelayanan persampahan. Berdasarkan hasil pengamatan beserta kajian literasi, terkait kondisi ekonomi dan pelayanan persampahan Kota Serang, diketahui bahwa komponen realisasi biaya pengelolaan sampah dengan

cakupan pelayanan persampahan membentuk hubungan sebab-akibat searah. Hubungan sebab-akibat searah dari komponen realisasi biaya pengelolaan sampah dengan cakupan pelayanan persampahan, merupakan interpretasi dari kondisi peningkatan realisasi biaya pengelolaan sampah, mengakibatkan cakupan pelayanan persampahan Kota Serang juga mengalami peningkatan. Secara lengkap hubungan sebab-akibat dari setiap komponen pembentuk sub-sistem dimensi lingkungan, ekonomi dan sosial pada model sistem pengelolaan sampah Kota Serang, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur CLD Model Sistem Pengelolaan Sampah Kota Serang.

Gambar 1 memperlihatkan bahwa struktur CLD model sistem pengelolaan sampah Kota Serang, relatif membentuk sistem endogenus. Hubungan sebab akibat antarkomponen penyusun sistem masih tetap berada didalam batas sistem. Adapun batasan sistem dibangun berdasarkan tujuan penelitian ini. Di dalam struktur CLD, batasan sistem direpresentasikan oleh komponen volume maksimal blok TPA dan biaya pengelolaan sampah kota. Nilai kedua komponen tersebut, tidak ditentukan oleh perilaku dari sistem, namun sebagai bagian dari sebuah sistem, maka nilainya dapat diturunkan dari bagian lain dari suatu sistem.

Struktur sistem endogenus model sistem pengelolaan sampah Kota Serang merupakan interpretasi dari model SD, karena fenomena strukturnya membentuk loop umpan balik (feedback structure). Terbentuk tiga loop umpan balik dalam model sistem pengelolaan sampah Kota Serang, antara lain yaitu:

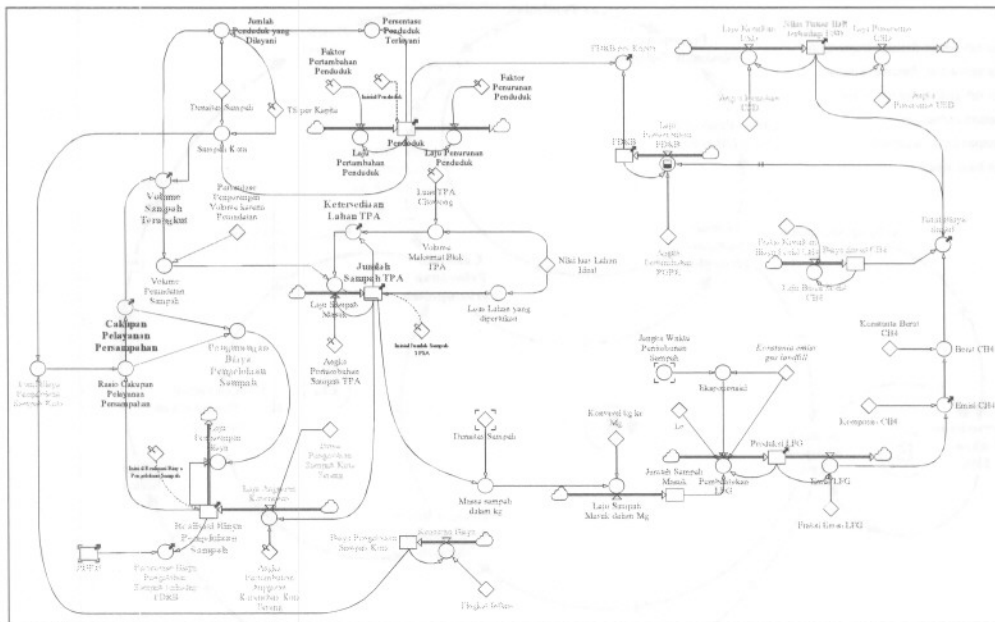
1. Loop umpan balik positif (reinforcement) R1 = Volume Sampah Terangkut → Jumlah Sampah TPA → Realisasi Biaya Pengelolaan Sampah → Cakupan Pelayanan Persampahan → Volume Sampah Terangkut.

2. Loop umpan balik negatif (*balancing*) B2 = Jumlah Sampah TPA → Ketersediaan Lahan TPA → Jumlah Sampah TPA.
3. Loop umpan balik negatif (*balancing*) B3 = Realisasi Biaya Pengelolaan Sampah → Cakupan Pelayanan Persampahan → Pengurangan Biaya Pengelolaan Sampah → Realisasi Biaya Pengelolaan Sampah.

Operasional model, dilakukan dengan cara menterjemahkan struktur CLD kedalam struktur SFD menggunakan bantuan perangkat lunak permodelan Powersim Studio 8 Enterprise. Struktur CLD model sistem pengelolaan sampah Kota Serang merupakan bagian dari struktur SFD model tersebut. Proses menterjemahkan struktur

CLD kedalam struktur SFD adalah tahapan pengembangan model konseptual dengan cara menambahkan komponen model secara lebih terperinci (*detail complexity*).

Penambahan komponen model secara terperinci pada penelitian ini, dilakukan dengan menambahkan sebanyak 45 komponen dari jumlah awal komponen pada struktur CLD, yaitu sebanyak 18 komponen. Hal ini dapat diartikan bahwa, terdapat 63 komponen penyusun model pada struktur SFD model sistem pengelolaan sampah Kota Serang. Secara lebih terperinci, struktur SFD model sistem pengelolaan sampah Kota Serang, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Struktur SFD Model Sistem Pengelolaan Sampah Kota Serang.

Untuk membuktikan tingkat kepercayaan dari model yang telah dibangun, maka dilakukan uji validasi dengan menggunakan perhitungan standar uji statistik AME. Hasil uji validasi menunjukkan bahwa persentase penyimpangan data (nilai AME) untuk komponen penduduk adalah 3,95%, untuk jumlah sampah TPA adalah 2,77%, untuk realisasi biaya pengelolaan sampah adalah 1,87% dan untuk PDRB adalah 4,17%.

Secara keseluruhan, nilai AME dari masing-masing komponen menunjukkan nilai yang berada dibawah batas ketentuan validitas perhitungan nilai AME. Berdasarkan hasil uji validasi tersebut, maka dapat dinyatakan bahwa model sistem pengelolaan sampah Kota Serang yang telah dibangun, mampu menirukan kinerja sistem sesungguhnya secara komprehensif dan valid untuk dilanjutkan. Setelah diperoleh model

yang telah dinyatakan valid, maka tahapan selanjutnya adalah simulasi model lanjutan. Simulasi ini, dilakukan dengan cara memproyeksikan model dalam jangka waktu simulasi 22 tahun kedepan (sampai dengan tahun 2030) berdasarkan skenario *Business as Usual* (BAU).

Penentuan jangka waktu simulasi dilakukan berdasarkan asumsi, bahwa dinamika pembangunan Kota Serang tidak akan mengalami perubahan signifikan hingga tahun 2030, sehingga tidak terlalu mempengaruhi kondisi sistem pengelolaan sampah Kota Serang. Dinamika pembangunan tersebut mengacu pada kebijakan perda Kota Serang No. 6 tahun 2011, Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Serang Tahun 2010-2030 [13].

Prediksi perilaku model pada kondisi BAU memperlihatkan jumlah sampah TPA Cilowong dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Semakin meningkat jumlah sampah TPA mengakibatkan semakin menurun nilai ketersediaan lahan TPA, yang pada akhirnya akan menentukan umur TPA tersebut. Nilai ketersediaan lahan adalah perbandingan antara nilai jumlah sampah TPA dengan volume

maksimal blok TPA. Nilai ini berada pada rentang nilai 0 sampai dengan 1. Nilai 0 dianalogikan sebagai kondisi lahan TPA Cilowong tersedia untuk menampung sampah. Untuk nilai 1 dianalogikan sebagai kondisi lahan TPA Cilowong sudah tidak memadai untuk menampung sampah. Hasil simulasi model pada kondisi BAU secara lebih terperinci diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Simulasi Kondisi BAU Persentase Biaya Pengelolaan Sampah terhadap PDRB, PDRB per Kapita, Pertumbuhan PDRB per Kapita, Cakupan Pelayanan Persampahan, Jumlah Sampah TPA, dan Ketersediaan Lahan TPA dari Tahun 2008-2030.

No	Tahun	PDRB per Kapita	Cakupan Pelayanan	Jumlah	Ketersediaan Lahan TPA
		(Rupiah/Jiwa)	Persampahan (%)	Sampah TPA (m ³)	
1	2008	8.827.768,60	34,73	552.919,20	0,29
2	2009	9.504.075,84	36,50	650.753,38	0,34
3	2010	10.232.195,89	38,46	753.712,11	0,40
4	2011	11.016.050,82	40,51	860.214,14	0,45
5	2012	11.859.878,57	42,58	968.278,43	0,51
6	2013	12.768.248,53	44,59	1.075.665,87	0,57
7	2014	13.746.086,43	46,48	1.180.066,46	0,62
8	2015	14.798.701,10	48,17	1.279.305,48	0,68
9	2016	15.931.813,39	49,62	1.371.534,18	0,73
10	2017	17.151.587,36	50,78	1.455.372,55	0,77
11	2018	18.464.663,82	51,63	1.529.982,52	0,81
12	2019	19.878.196,31	52,16	1.595.066,93	0,84
13	2020	21.399.889,77	52,36	1.650.805,74	0,87
14	2021	23.038.042,00	52,25	1.697.751,54	0,90
15	2022	24.801.588,37	51,84	1.736.709,30	0,92
16	2023	26.700.149,85	51,16	1.768.621,34	0,93
17	2024	28.744.084,88	50,24	1.794.471,34	0,95
18	2025	30.944.545,26	49,11	1.815.213,28	0,96
19	2026	33.313.536,47	47,80	1.831.725,32	0,97
20	2027	35.863.982,76	46,35	1.844.784,96	0,98
21	2028	38.609.797,30	44,78	1.855.060,18	0,98
22	2029	41.565.957,85	43,12	1.863.111,47	0,98
23	2030	44.748.588,32	41,40	1.869.400,48	0,99

Berdasarkan hasil analisis penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 3, dapat dipahami bahwa terdapat dua permasalahan utama pada sistem pengelolaan sampah Kota Serang, yaitu:

1. Permasalahan Cakupan Pelayanan Persampahan.

Hasil simulasi model selama periode tahun 2008-2030 menunjukkan pemerintah Kota Serang tidak dapat memenuhi ketentuan SPM

cakupan pelayanan persampahan perkotaan sebesar 70%. Rata-rata cakupan pelayanan persampahan Kota Serang hanya mencapai 46,37% per tahun. Kondisi ini berbeda dengan kebijakan Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kota Serang tahun 2014-2018, yang memprediksi bahwa pada tahun 2017 target cakupan pelayanan persampahan Kota Serang sudah dapat mencapai sebesar 70% [14]. Target kebijakan

Pemerintah Kota Serang tersebut dinilai peneliti sebagai kebijakan yang berlebihan dan sulit untuk diwujudkan.

Adanya kecenderungan pemerintah dalam merancang pengambilan kebijakan target cakupan pelayanan persampahan, dilakukan dengan cara berpikir linear tidak komprehensif. Pengelolaan sampah di Kota Serang tidak dilihat pemerintah sebagai suatu sistem yang kompleks, terdiri atas berbagai komponen penyusun. Hal ini mengakibatkan penentuan nilai cakupan pelayanan persampahan, hanya dilihat dari faktor penyebab yang dekat dengan nilai tersebut, padahal besar kemungkinan faktor penyebab berada jauh dari nilai cakupan pelayanan persampahan. Sejalan dengan pernyataan Sterman, yang menyatakan bahwa dalam sistem yang kompleks sebab dan akibat dapat berada jauh dalam ruang dan waktu [15]. Pemerintah juga tidak memperhitungkan respon jangka panjang dari nilai cakupan pelayanan persampahan sebagai bagian komponen sistem pengelolaan sampah, yang dapat berbeda dengan respon jangka pendeknya. Cakupan pelayanan persampahan sebagai komponen penyusun sistem, nilainya dapat mempengaruhi dan dipengaruhi oleh satu ataupun lebih komponen sistem lainnya, baik secara langsung maupun tidak langsung.

Nilai cakupan pelayanan persampahan dipengaruhi oleh nilai realisasi biaya pengelolaan sampah Kota Serang. Hingga tahun 2030, diketahui bahwa nilai realisasi biaya pengelolaan sampah Kota Serang tidak dapat menutupi kebutuhan biaya pengelolaan sampahnya. Kondisi ini terjadi akibat jumlah sampah Kota Serang dan biaya pengelolaannya yang semakin meningkat tidak diimbangi dengan peningkatan realisasi biaya pengelolaan sampah yang dikeluarkan oleh pemerintah. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemerintah untuk dapat melakukan perimbangan dana realisasi biaya pengelolaan sampah sehingga dapat memenuhi target cakupan pelayanan persampahan.

Upaya perimbangan dana dapat dilakukan pemerintah dengan cara meningkatkan penerimaan daerah dari sektor kebersihan. Berdasarkan hasil perhitungan, pertumbuhan PDRB per kapita Kota Serang tergolong tinggi, yaitu 7,66% per tahun. Kondisi ini mengindikasikan adanya potensi peningkatan penerimaan daerah dari sektor kebersihan, dengan cara mengoptimalkan peran serta masyarakat untuk memenuhi kewajiban membayar retribusi kebersihan. Walaupun dilakukan optimalisasi penerimaan retribusi

kebersihan, namun sebaiknya pemerintah tidak hanya bergantung pada cara tersebut, karena pada dasarnya sifat kenaikan pungutan akan dinilai masyarakat sebagai beban.

Pemerintah harus dapat mengembangkan potensi sampah menjadi sumber daya yang dapat menghasilkan nilai ekonomi. Sampah seharusnya tidak hanya dianggap sebagai objek belanja keuangan daerah, namun dapat menjadi salah satu sumber Pendapatan Asli Daerah (PAD). Adanya penambahan PAD dari pengelolaan sampah akan menjadi nilai tambah pendanaan di sektor kebersihan, sehingga secara otomatis dapat mendorong peningkatan cakupan pelayanan persampahan tanpa membebankan masyarakat.

2. Permasalahan Jumlah Sampah TPA.

Jumlah sampah TPA Cilowong yang terus terakumulasi mengakibatkan pada tahun tertentu hasil simulasi akan menunjukkan nilai ketersediaan lahan TPA sebesar 1, artinya TPA dinyatakan penuh dan berhenti beroperasi. Pada kondisi inilah, dapat diperkirakan seberapa lama umur TPA mampu beroperasi. Diperkirakan pada tahun 2030 TPA Cilowong sudah memasuki keadaan jenuh yaitu kondisi berhenti beroperasi. Apabila dihitung berdasarkan asumsi TPA Cilowong pertama kali beroperasi menggunakan sistem *Controlled Landfill* (CL) tahun 2013, maka dapat diprediksi umur TPA Cilowong adalah selama 17 tahun. Hasil prediksi tersebut, tidak berbeda jauh dengan perkiraan umur TPA Cilowong yang dihasilkan oleh DTK Kota Serang. Menurut DTK Kota Serang (2012), diperkirakan bahwa TPA Cilowong dengan sistem CL akan mampu beroperasi selama 15 tahun hingga tahun 2026, kecuali ada peningkatan teknologi pengelolaan sehingga dapat memperpanjang umur TPA.

Peningkatan jumlah sampah TPA, menggambarkan kondisi timbunan sampah di TPA Cilowong yang terus bertambah. Timbunan sampah tersebut terakumulasi dan menghasilkan emisi CH_4 , yang berpotensi menimbulkan dampak negatif. TPA Cilowong sebagai asal penghasil emisi CH_4 , memiliki luas lahan seluas 14,2 ha. Luas ini diestimasi mampu menampung volume sampah hingga mencapai 1.891.617,19 m^3 . Volume maksimal blok TPA Cilowong yang mampu menampung sampah dalam jumlah besar, membawa konsekuensi menghasilkan emisi CH_4 dalam jumlah yang besar.

Keberadaan gas CH_4 di TPA Cilowong, seharusnya dapat dimanfaatkan Pemerintah Kota Serang, sebagai potensi sumber energi

terbaharukan, seperti yang dilakukan di Ontario Kanada. Pemerintah Ontario melalui Kementerian Lingkungan Hidupnya, mengeluarkan peraturan untuk setiap TPA dengan kapasitas total sampah lebih dari 1.500.000 m³, diwajibkan membangun fasilitas berupa sistem pembakaran, penangkapan atau pemanfaatan gas metana menjadi energi listrik [16]. Mengingat kapasitas total sampah TPA Cilowong lebih dari 1.500.000 m³ dan besarnya potensi emisi CH₄ yang akan dihasilkan, sebaiknya pemerintah Kota Serang dapat menerapkan kebijakan serupa untuk membangun fasilitas pemanfaatan gas metana di TPA Cilowong.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah disampaikan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa karakteristik timbulan sampah Kota Serang ditandai dengan pertumbuhan Jumlah Timbulan Sampah (JTS), cenderung mengalami peningkatan mengikuti pertumbuhan penduduk dan tingkat kepadatan penduduk. Diperkirakan pada tahun 2014, nilai JTS di Kota Serang adalah sebesar 78.409.628,50 kg dengan nilai TSK sebesar 0,35 kg/jiwa/hari. Sistem pengelolaan sampah Kota Serang yang dinilai berdasarkan penilaian indikator cakupan pelayanan persampahan dan Jumlah Sampah TPA dari tahun 2008-2030, yaitu sebesar 46,37% per tahun dan 1.891.617,19 m³, menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah Kota Serang tidak berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan makalah ini. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. dr. Tri Edhi Budhi Soesilo, M.Si. selaku Wakil Direktur Sekolah Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, atas bimbingan, arahan, serta motivasi yang diberikan dan ditanamkan kepada saya untuk karya ini.
2. Dr. Udi Syahnoedi Hamzah, MM, selaku Dosen pada Program Studi Kajian Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, atas bimbingan, arahan, serta motivasi yang diberikan sehingga karya ini menjadi lebih baik.
3. Dr. Hayati Sari Hasibuan, ST., MT, selaku Dosen pada Program Studi Kajian Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, atas saran

dan masukan yang diberikan sehingga karya tulis ini dapat di seminarakan.

4. Wezia Berkademi, SE., M.Si, selaku staf peneliti pada Program Studi Kajian Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, atas bantuan dan kerjasamanya sehingga segala jenis proses administrasi yang berkaitan dengan karya ini menjadi lebih mudah dan lebih lancar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Damanhuri, E., Padmi, T. *Pengelolaan Sampah*. Bandung Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung, (2010).
2. Rahim Irwan. R., Nakayama H, Shimaoka T. Cost Analysis of Municipal Solid Waste Management in Major Indonesian Cities. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*. Vol. 68 (2012).
3. Hanafiah, M. Kesesuaian Lokasi TPS dari Aspek Teknis dan Pendapat Masyarakat Di Kota Serang. *Tesis*. Program Magister Teknik Pembangunan Wilayah dan Kota. Universitas Diponegoro, (2008).
4. Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Serang. *Kota Serang Dalam Angka Tahun 2012*. Kota Serang: BPS, (2013).
5. Dinas Tata Kota (DTK) Kota Serang. *Dokumen ANDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) Rencana Kegiatan Pembangunan TPAS Cilowong*. Kota Serang: DTK Kota Serang, (2012).
6. Kristiyanto, T. Pengelolaan Persampahan Berkelanjutan Berdasarkan Peran Serta Masyarakat Kota Kebumen. *Tesis*. Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, (2007).
7. Klundert, A. Van de., Anschutz, J. *Integrated Sustainable Waste Management - The Concept*. Netherlands: Nieuwehaven 2012801 CW Gouda, (2001).
8. Peraturan Daerah Kota Serang Nomor 10 tahun 2012 *Tentang Pengelolaan Sampah*.
9. Soesilo, B., Karuniasa, M. *Permodelan System Dynamics Untuk Berbagai Bidang Ilmu Pengetahuan, Kebijakan Pemerintah dan Bisnis*. Jakarta: Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, (2014).
10. Badan Standardisasi Nasional (BSN). SNI No. 19-3964-1995 *Tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan*, (1995).
11. Muhammadiyah, E. Aminullah, B. Soesilo. *Analisis Sistem Dinamis: Lingkungan Hidup, Sosial, Ekonomi, Manajemen*. Jakarta: UMI Press, (2001).

12. Radar Indonesia News. *TPAS Cilowong : Butuh Perhatian Khusus Terkait Areal Lahan Yang Semakin Menyempit*. Radar Indonesia News: <http://www.radarindonesianews.com/2015/04/tpas-cilowong-butuh-perhatian-khusus.html>. 12 Juli 2015, pk. 21.20 WIB., (2015).
13. Peraturan Daerah Kota Serang No. 6 tahun 2011, *Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Serang Tahun 2010-2030*.
14. Badan Lingkungan Hidup Daerah (BLHD) Kota Serang. *Rencana Strategis Badan Lingkungan Hidup Daerah Kota Serang 2014-2018*. Kota Serang: BLHD, (2014).
15. Sterman, Jhon D. *Business Dynamics Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. USA: Jeffrey J. Shelsfud. The McGraw-Hill Companies, Inc. AU rights reserved, (2000).
16. Ontario Ministry of The Environment. *Landfill Gas Capture A Guideline on the Regulatory and Approval Requirements for Landfill Gas Capture Facilities*. Ontario: Canada, (2008).