



**JURNAL PENDIDIKAN LINGKUNGAN DAN  
PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN**  
*Journal of Environmental Education and Sustainable  
Development*

**Volume 21 - Nomor 02, 2020**

Available at <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/plpb>

ISSN : 1411-1829 (print), 2580-9199 (online)

## **Model Optimasi Pengelolaan Sampah di TPA (Suatu Studi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang)**

Adi Darmawan<sup>1\*</sup>, Tri Edhi Budhi Soesilo<sup>2</sup>, Sri Wahyono<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, <sup>3</sup>Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

\*Coressponding author email: [darmawanadi@gmail.com](mailto:darmawanadi@gmail.com)

### **Artikel info**

Received : 11<sup>th</sup> August 2020

Revised : 20<sup>th</sup> September 2020

Accepted : 27<sup>th</sup> September 2020

### **Kata kunci:**

Manajemen TPA,  
Keberlanjutan, Sistem Dynamics

### **Keywords:**

Landfill Management,  
Sustainability, System Dynamics

### **ABSTRAK**

Meningkatnya timbulan sampah merupakan masalah utama Jakarta dengan kapasitas TPA yang tidak mencukupi. Strategi pengelolaan TPA yang optimal, terpadu, dan berkelanjutan maka dilakukan analisis sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang pada aspek lingkungan, ekonomi/finansial, dan sosial melalui model skenario intervensi menggunakan metode system dynamics. Isu utama yaitu, kapasitas lahan TPA hampir penuh, kenaikan emisi gas metana, dan rendahnya produktivitas pemulungan. Dilakukan simulasi dengan model system dynamics untuk periode 2018-2023. Hasil dari skenario intervensi adalah kapasitas lahan TPA masih dapat dimanfaatkan sampai dengan tahun 2023; penurunan buangan gas metana rata-rata sebesar 23,50%; kenaikan Rasio Produksi Pemulung terhadap Rate Sampah Landfill mencapai 134,58%. Konsekuensi dari intervensi dan penambahan kegiatan pengolahan sampah TPST Bantargebang maka biaya operasional per ton mengalami kenaikan sampai dengan 309,62%.

### **ABSTRACT**

*The increase in waste generation is a major problem in Jakarta with insufficient landfill capacity. To produce an optimal, integrated and sustainable landfill management strategy, an analysis of the TPST Bantargebang waste management system formulated towards optimization in environmental, financial, and social aspects through a system dynamics intervention scenario model. Main issues are landfill capacity almost fully occupied, methane gas emissions increment, and the possibility waste pickers integration to increase scavenging productivity. Simulations were carried out with a system dynamics model for the 2018-2023. The results of the scenario are: landfill can still be utilized until 2023; methane gas emissions decreased by an average of 23,50%; the increase in the Scavenger Production Ratio to the Landfill Waste Rate reached 134,58%. As a consequence of the intervention and the addition of waste treatment activities in the TPST Bantargebang, the operational cost per ton has increased up to 309,62%*

<https://doi.org/10.21009/PLPB.212.02>



## PENDAHULUAN

Jumlah penduduk yang beraktivitas di Jakarta terus bertambah disertai dengan perubahan pola konsumsi masyarakat mengakibatkan konsekuensi bertambahnya volume sampah. Sementara, kebijakan pemerintah juga masih terfokus pada pendekatan akhir, yang mengakibatkan tingginya volume sampah di tempat pembuangan akhir (Aprilia et al., 2010; Muthmainnah, 2007).

Meningkatnya timbulan sampah menjadi masalah utama terutama bagi daerah perkotaan yang luas dengan kapasitas Tempat Pemrosesan/Pengolahan Akhir (TPA) yang tidak mencukupi dan sistem pengelolaan sampah yang tidak efisien (Santibañez-Aguilar et al., 2013). Di lain pihak, ketersediaan lahan semakin sulit didapatkan dan terbatas serta pengelolaan sampah belum sesuai dengan metode dan teknik pengelolaan sampah yang berwawasan lingkungan. Keadaan ini mendorong Pemerintah Provinsi DKI Jakarta berupaya mencari solusi pengelolaan persampahan yang ramah lingkungan.

Pengelolaan sampah sangat ini di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantargebang ternyata masih menimbulkan masalah pencemaran baik pencemaran air, tanah dan udara. Dari sisi masyarakat, sebagian menganggap keberadaan TPST Bantargebang memberikan keuntungan terutama masyarakat yang berprofesi sebagai pemulung dan sebagian yang lain menganggap sebagai sumber masalah. Selain itu, keterbatasan lahan adalah permasalahan yang perlu mendapat perhatian karena sampah yang sudah menumpuk dan apabila sampah yang masuk tidak dikelola dengan teknologi modern yang ramah lingkungan maka usia pakainya akan segera berakhir. Biaya yang harus disediakan dalam rangka operasional TPA juga diduga belum mencukupi sehingga pengelolaan menjadi tidak optimal.

Berdasarkan uraian tersebut, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah kapasitas landfill yang terbatas dan diperkirakan akan segera penuh, biaya operasional yang tidak mencukupi, dan kebutuhan pengaturan pemulung sehingga diperlukan optimasi pengelolaan sampah di TPST Bantargebang melalui skenario intervensi pada aspek lingkungan, finansial dan sosial.

Beberapa penelitian dengan tema pengelolaan sampah di TPA dan penggunaan metode system dynamics antara lain adalah penelitian yang menghasilkan suatu skenario pengelolaan TPST Bantargebang yang optimal, terpadu, dan berkelanjutan dengan menggunakan pendekatan dimensi sosial, ekologi, ekonomi, dan teknologi dengan menggunakan metode Participatory Rural Appraisal (PRA) dan Focus Group Discussion (FGD) (Manurung, 2009) serta penelitian yang mendiagnosis fenomena terjadinya perubahan ekosistem perairan akibat TPST Bantargebang. Pencemaran dan mutu lingkungan perairan diketahui untuk kemudian merumuskan intervensi dan kebijakan pencegahan dan penanganan pencemaran tersebut dengan metode system dynamics (Ahadis, 2005).

Posisi riset yang dilakukan oleh peneliti adalah penggunaan metode system dynamics dalam mencapai tujuan penelitian. Terdapat juga pembaruan data berdasarkan kondisi terkini TPST Bantargebang. Data tersebut akan digunakan sebagai nilai pada variabel penelitian.

Kontribusi penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi dan rekomendasi kepada Dinas Lingkungan Hidup Prov. DKI Jakarta tentang kondisi terkini pengelolaan sampah

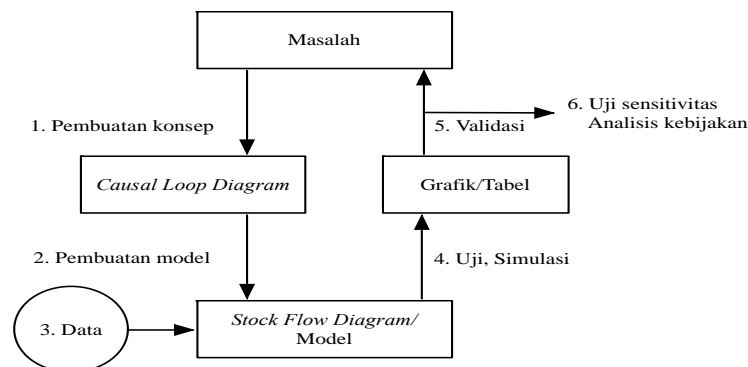
## Model Optimasi Pengelolaan Sampah di TPA (Suatu Studi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang)

di TPST Bantargebang serta dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam pengambilan keputusan dalam memilih upaya/pengelolaan yang tepat untuk mengoptimalkan pengelolaan sampah di TPST Bantargebang.

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut: (1) Menganalisis sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang saat ini; (2) Membangun model sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang yang dapat merepresentasikan sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang saat ini berdasarkan aspek lingkungan, finansial, dan sosial; (3) Menyusun strategi optimasi menuju pengelolaan TPST Bantargebang yang berkelanjutan berdasarkan aspek lingkungan, finansial, dan sosial melalui model yang dibangun.

### METODE

Tahapan deskriptif analitik pada penelitian ini adalah proses pemahaman sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang yang diuraikan kedalam bentuk deskripsi sistem. 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 TPST Bantargebang.



Gambar 1. Siklus Permodelan *System Dynamics*

Sumber: Soesilo (2007) dalam (Soesilo & Karuniasa, 2014)

Model diagram hubungan sebab-akibat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Causal Loop Diagram* (CLD). Model CLD adalah gambaran peneliti dalam menginterpretasi dan menyederhanakan kompleksitas sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang kedalam suatu struktur hubungan antarkomponen penyusun model. Struktur hubungan tersebut ditampilkan dalam bentuk rangkaian kausal yang membentuk suatu siklus sistematis umpan balik (*feedback*), sehingga melalui model CLD dapat diketahui dinamika struktur permasalahan dan kinerja dari sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang.

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 TPST Bantargebang, sehingga dihasilkan data numerik yang lebih spesifik dari setiap komponen penyusun model.

Berdasarkan hasil pembuatan model SFD, maka dilakukan teknik simulasi yaitu proses operasionalisasi model SFD secara simultan dalam jangka waktu tertentu menggunakan perangkat komputer. Simulasi memberikan gambaran kinerja sistem, baik kinerja sistem

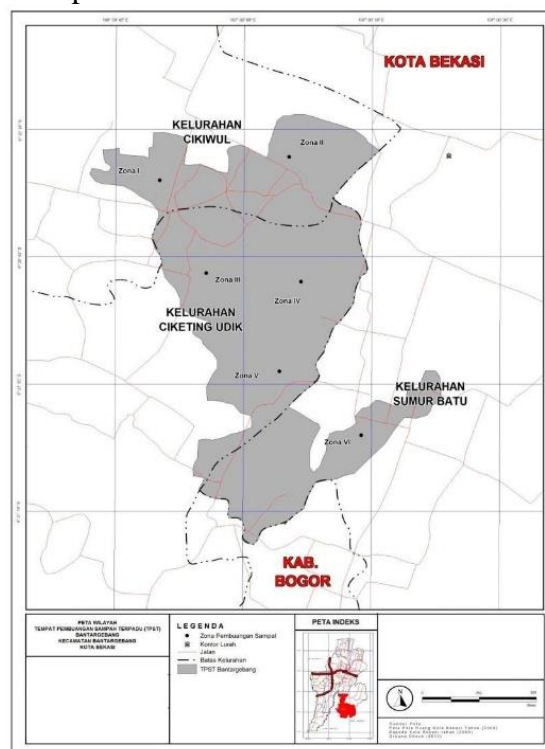
sampai dengan saat ini maupun prediksi sistem hingga periode waktu tertentu (Soesilo & Karuniasa, 2014).

Validasi struktur dilakukan dengan cara menganalisis kesesuaian struktur hubungan antar variabel model dengan informasi dan data kondisi eksisting TPST Bantargebang sebagai wilayah penelitian dan landasan teoretis ilmiah. Untuk validasi perilaku dilakukan dengan cara uji statistik berupa perhitungan nilai *Means Absolute Error* (MAE). Nilai MAE adalah nilai penyimpangan yang terjadi dari perbandingan nilai rata-rata data hasil simulasi model dengan nilai rata-rata data empirik (Sammut & Webb, 2010).

Simulasi model dengan skenario intervensi dilakukan dengan cara menerapkan beberapa alternatif strategi dalam model sistem pengelolaan sampah berkelanjutan di TPST Bantargebang. Kebijakan intervensi berupa strategi yang memberikan pengaruh terhadap aspek-aspek lingkungan: persentase kapasitas *landfill*, buangan gas metana; finansial: biaya operasional per ton; sosial: rasio produktivitas pemulung. Oleh karena itu, untuk mencapai tujuan yang diinginkan dari penelitian ini, yaitu memperoleh model sistem pengelolaan sampah TPA yang berkelanjutan, maka dibangun beberapa skenario intervensi berdasarkan aspek utama yang telah ditentukan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi TPST Bantargebang secara detail terletak pada 3 (tiga) kelurahan, yaitu Kelurahan Ciketing Udik, Kelurahan Cikiwul, dan Kelurahan Sumur Batu, Kecamatan Bantargebang, Kota Bekasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Riset  
Sumber: DLH Prov. DKI (2018)

Tabel 1. Perbandingan antara kriteria dengan status terkini

## Model Optimasi Pengelolaan Sampah di TPA(Suatu Studi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang)

Kriteria	Deskripsi	Status TPST Bantargebang
Aktivitas utama penanganan sampah	Pemilahan sampah	tidak ada
	Daur ulang sampah non hayati (non organik)	tidak ada
	Pengomposan sampah hayati (organik)	ada
	Pengurugan/penimbunan sampah residu	pengurugan/penimbunan terhadap sampah campuran
Prinsip teknis berwawasan lingkungan	Lahan urug saniter ( <i>sanitary landfill</i> )	tidak ada penutupan sampah harian
	Pengendalian lindi	terdapat saluran pengumpul yang sebagian rusak dan masih tercampur; dan fasilitas pengolahan lindi dengan kondisi kurang kapasitas
	Pengendalian gas dan bau	penyaluran gas <i>landfill</i> untuk energi listrik dan penyemprotan berkala menggunakan obat penghilang bau
Sarana dan prasarana	Pengendalian vektor penyakit	tidak ada
	Fasilitas umum	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. jalan masuk: ada dan pemeliharaan rutin per tahun</li> <li>b. kantor/pos jaga: lengkap dan berfungsi baik</li> <li>c. saluran drainase: sebagian kecil rusak</li> <li>d. pagar: belum mengelilingi seluruh area</li> </ul>

---

Fasilitas perlindungan lingkungan	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. lapisan kedap air: tidak ada data</li> <li>b. pengumpul lindi: sebagian rusak</li> <li>c. pengolahan lindi: kapasitas tidak mencukupi</li> <li>d. ventilasi gas: sebagian rusak</li> <li>e. daerah penyangga: ada</li> <li>f. tanah penutup: setahun sekali untuk menutupi zona tidak aktif</li> </ul>
Fasilitas penunjang	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. jembatan timbang: lengkap dan berfungsi baik</li> <li>b. fasilitas air bersih: lengkap dan berfungsi baik</li> <li>c. listrik: cukup dan berfungsi baik</li> <li>d. bengkel dan hanggar: lengkap dan berfungsi baik</li> </ul>
Fasilitas operasional	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Alat berat: lengkap dan berfungsi baik</li> <li>b. Truk pengangkut tanah: menggunakan pihak ketiga</li> </ul>

---

Sumber: Hasil analisis (2019)

Perbandingan pengelolaan TPA menurut Permen PU No. 3 tahun 2013 dengan pelaksanaan pengelolaan di TPST Bantargebang dapat dilihat pada Tabel 1. Terdapat beberapa kriteria yang dipersyaratkan dalam peraturan, namun belum ada/dilaksanakan dalam pengelolaan TPST Bantargebang. Terutama untuk pelaksanaan sanitary landfill, peneliti berpendapat bahwa hal tersebut akan sulit dilakukan karena jam operasional yang tanpa henti dan sistem penganggaran tahunan yang biasanya dilakukan hanya beberapa bulan dalam satu tahun.

## Model Optimasi Pengelolaan Sampah di TPA(Suatu Studi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang)

Tabel 2. Status keberlanjutan TPST Bantargebang

Aspek	Variabel	Nilai terkini	Nilai tipikal	Status
Lingkungan	Persentase Status Kapasitas <i>Landfill</i> (%)	86,41	Kapasitas TPA diperkirakan akan penuh pada tahun 2021	Tidak berkelanjutan
	Buangan gas metana (ton/hari)	241,95	-	Terus mengalami kenaikan
Finansial	Biaya operasional (Rp. per ton)	94,541	Rp. 142.500 – Rp. 1.710.000 per ton (Kaza et al., 2018; Tchobanoglous & Kreith, 2002)	Dibawah rentang nilai tipikal
Sosial	Rasio Produksi Pemulung terhadap Rate Sampah <i>Landfill</i> (%)	4.43	5.6% (Sasaki et al., 2019; Sasaki & Araki, 2014)	Dibawah rentang nilai tipikal

Sumber: Hasil analisis (2019)

Ditinjau dari aspek lingkungan, finansial, dan sosial, maka status pengelolaan TPST Bantargebang adalah tidak berkelanjutan, sebagaimana dijelaskan pada Tabel 2 untuk melakukan optimasi pengelolaan TPA menjadi berkelanjutan, maka ditentukan beberapa komponen utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini, yaitu:

1. Aspek lingkungan:
  - a. Jumlah Sampah *Landfill* (stock) yang persentase perbandingannya dengan Kapasitas TPA direpresentasikan dalam komponen Persentase Status Kapasitas *Landfill*. Alasan pemilihan komponen ini adalah sesuai dengan rumusan masalah, yaitu kapasitas *landfill* yang terbatas dan diperkirakan akan segera penuh, sehingga komponen ini harus dilakukan optimasi dengan skenario intervensi.
  - b. Buangan Gas Metana. Komponen ini adalah salah satu penyumbang gas rumah kaca yang harus dikurangi, dan DKI Jakarta sudah mempunyai rencana aksi pengurangan emisi gas *landfill*. Alasan pendukung lainnya yaitu, TPST Bantargebang sudah mempunyai mesin pengolah gas *landfill* yang memanfaatkan gas metana, sehingga skenario intervensi yang direncanakan seharusnya dapat dilakukan.
2. Aspek finansial: Biaya Operasional per ton. Alasan pemilihan komponen ini adalah karena biaya operasional merupakan hal mutlak yang mesti disediakan untuk pengelolaan TPA yang berkelanjutan.
3. Aspek sosial: Rasio Produksi Pemulung terhadap rate sampah *landfill*. Alasan pemilihan komponen ini adalah pentingnya peran pemulung dalam pengurangan sampah dan salah satu bentuk pemberdayaan masyarakat dalam pengelolaan sampah bersama.

Sejumlah tindakan yang dapat segera dilakukan untuk meningkatkan kinerja TPST Bantargebang antara lain adalah sebagai berikut:

1. Melaksanakan kegiatan *landfill* mining dan produksi Refuse Derived Fuel (RDF).

Potensi pelaksanaan landfill mining dapat memberikan keuntungan dalam penyediaan lahan yang dapat dimanfaatkan kembali untuk peningkatan kapasitas landfill dan juga potensi pemanfaatan sampah hasil penambangan. Penambangan sampah dapat dilakukan pada zona yang sudah tidak aktif. Berdasarkan data terkini dari Unit Pengelola Sampah Terpadu (UPST), potensi volume yang dapat digali adalah sekitar 800.000 m<sup>3</sup> atau berdasarkan nilai tipikal berat jenis sampah di TPA = 0,742 kg/l, maka potensi berat sampah kurang lebih sebesar 593.600 ton atau sekitar 2% dari total sampah di landfill. Untuk model yang akan dibangun, diasumsikan setiap tahunnya terdapat kenaikan potensi landfill mining sebesar 20% pada skenario 1 dan 50% pada skenario 2 dengan dasar pertimbangan penambahan jumlah sampah yang cukup usia untuk dilakukan penambangan.

Perkiraan untuk pekerjaan landfill mining dengan kapasitas 500 ton/hari, biaya modal penambangan sebesar Rp. 142.172.250.000 dan biaya operasional sebesar Rp. 93.777 per ton (Dinas Lingkungan Hidup, 2019).

2. Melaksanakan penataan ulang (reprofiling) timbunan sampah di landfill.

Konsep reprofiling adalah tindak lanjut dari kriteria desain lereng terkini yang kondisi kemiringan lerengnya tidak beraturan (belum rapi). Tujuan dari pelaksanaan reprofiling antara lain adalah penanganan stabilitas lereng, melindungi lereng terhadap erosi dengan memanfaatkan vegetasi, dan meningkatkan estetika sebagai upaya perbaikan dan optimasi lahan timbunan sampah yang telah ada. Reprofiling juga diperkirakan dapat menambah ketinggian dan daya tampung sampah. Direncanakan untuk melakukan penggabungan zona I, II, dan V sehingga menambah luas tapak dan dapat digunakan untuk penimbunan sampah kembali. Berdasarkan perhitungan kajian yang dilakukan oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Prov. DKI Jakarta, reprofiling dapat menambah kapasitas landfill sebesar 5% atau kurang lebih sebesar 2.450.000 ton dengan biaya operasional sebesar Rp. 182.103 per ton (Dinas Lingkungan Hidup, 2019).

3. Melaksanakan Material Recovery Facility (MRF) dengan integrasi pemulung.

Diperlukan suatu fasilitas diproses awal pengelolaan sampah di TPST Bantargebang yang bertujuan untuk mengurangi timbunan sampah menuju landfill. Fasilitas Pemulihan Bahan/MRF dapat berfungsi sebagai pusat pemilahan sampah dan dapat memperkerjakan pemulung di tempat yang lebih layak. Dapat direncanakan MRF dengan kapasitas 2.000 ton per hari, dengan urutan setelah penimbangan sampah di gerbang TPA. Sehingga diharapkan sebagian kendaraan angkutan sampah dapat langsung menuju MRF untuk melakukan pembongkaran sampah. Fasilitas menggunakan conveyor belt sebagai sarana untuk pemilahan manual para pemulung yang bertugas melakukan pemulihan sampah yang masih berharga. Biaya operasional MRF Rp. 336.300 (USD 23,6) per ton input sampah (Pressley et al., 2015).

Pemulung dapat diberikan identifikasi formal dan bekerja secara bergiliran untuk memungkinkan setiap pekerja mendapatkan penghasilan dari pemulihan daur ulang. Pemulung dapat terlibat dengan rantai nilai daur ulang dengan mengumpulkan bahan-bahan dan menjualnya kepada perantara yang kemudian membersihkan dan mengumpulkan bahan-bahan untuk didistribusikan ke industri.

4. Melaksanakan fasilitas Waste to Energy (WtE) berupa insinerator di TPST Bantargebang.

Pengolahan sampah Insinerator, BPPT bermitra dengan Pemprov. DKI Jakarta dalam melaksanakan Pilot Project Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) kapasitas 100 ton/hari di Bantargebang yang akan dioperasikan pada tahun 2019. Fasilitas tersebut diharapkan dapat membantu mengurangi sampah di TPA, baik itu berupa sampah yang baru masuk ataupun sampah hasil penambangan timbunan sampah.



## Model Optimasi Pengelolaan Sampah di TPA(Suatu Studi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang)

Perlu dipertimbangkan juga peningkatan kapasitas insinerator di TPA yang disesuaikan dengan kapasitas pengolahan lainnya seperti MRF dan RDF dari landfill mining.

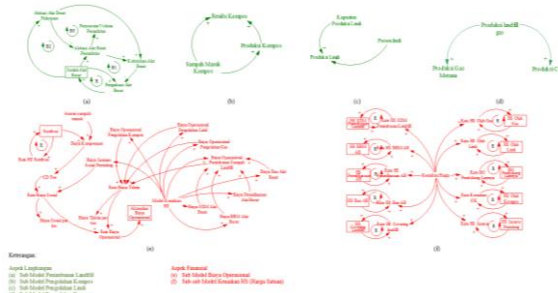
### 5. Meningkatkan pengelolaan sampah metode kompos.

Pengolahan kompos di TPST Bantargebang tidak berfungsi secara optimal. Masukan sampah rata-rata hanya sebesar 25,63 ton/hari atau hanya sekitar 13% dari kapasitas fasilitas pengolahan kompos dapat ditingkatkan menjadi 100% dengan melakukan pengadaan peralatan baru atau pemeliharaan/perbaikan terhadap alat yang ada. Hal tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi sebesar 35% (Zhang & Matsuto, 2011).

### 6. Perbaiki sistem pemanfaatan gas TPA.

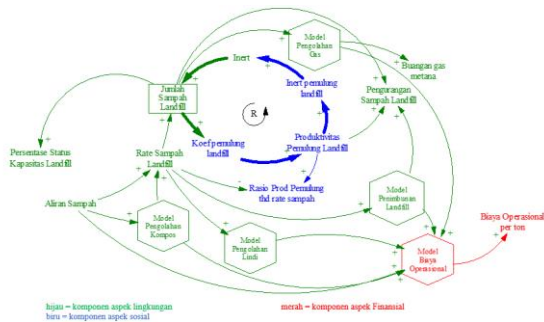
Sistem pengumpulan gas TPA yang ada saat ini telah rusak akibat tekanan dan meruntuhkan pipa pengumpul. Menurut peraturan mengenai sampah di Indonesia, setiap TPA wajib mengendalikan gas TPA yang dihasilkan oleh karena itu pengelolaan gas TPA di TPST Bantargebang harus ditingkatkan. Langkah pertama adalah survei untuk menghitung ulang jumlah gas yang tersedia dari semua sel. Kemudian zona atau sel dimana gas dapat ditangkap harus dipilih; sumur pengumpulan gas dan jalur perpipaan ke power house didirikan. Jika bagian dari TPA ditutup atau tertutupi, jumlah listrik yang dihasilkan akan jauh lebih besar dari hari ini.

Berdasarkan analisis deskriptif yang dilakukan terhadap pengelolaan sampah terkini, diketahui bahwa terhadap 3 isu utama yaitu, kapasitas lahan TPA yang hampir penuh, emisi gas metana yang mengalami kenaikan, dan kemungkinan untuk melakukan integrasi pemulung sehingga dapat meningkatkan produktivitas pemulungan. Dilakukan simulasi dengan model system dynamics untuk periode 2018-2023 dengan kondisi BAU.

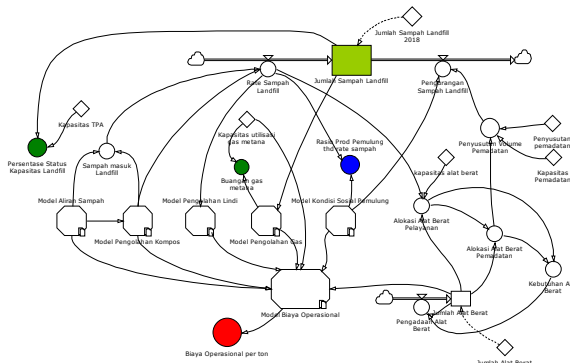


Gambar 3. CLD sub model TPST Bantargebang kondisi terkini  
Sumber: Hasil analisis (2019)

Terdapat loop feedback dengan loop utama yaitu, Jumlah Sampah Landfill → Koef pemulung landfill → Produktivitas Pemulung Landfill → Inert pemulung landfill → Inert → Jumlah Sampah Landfill yang berperilaku reinforcing. Loop utama tersebut terjadi karena interaksi antar komponen aspek lingkungan dan aspek sosial. Pemulung memanfaatkan sampah landfill sebagai mata pencaharian yang juga membantu pengurangan sampah di landfill. Dari produktivitas aktivitas pemulung sampah harus dipilah lagi sehingga akan menghasilkan inert, yaitu sampah yang tidak bisa dimanfaatkan lagi yang kemudian akan kembali ke landfill dan menyebabkan loop terjadi.

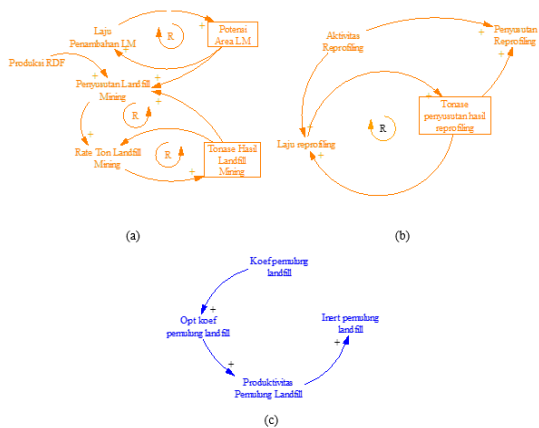


Gambar 4. CLD model TPST Bantargebang kondisi terkini  
Sumber: Hasil analisis (2019)



Gambar 5. SFD model TPST Bantargebang kondisi terkini  
Sumber: Hasil analisis (2019)

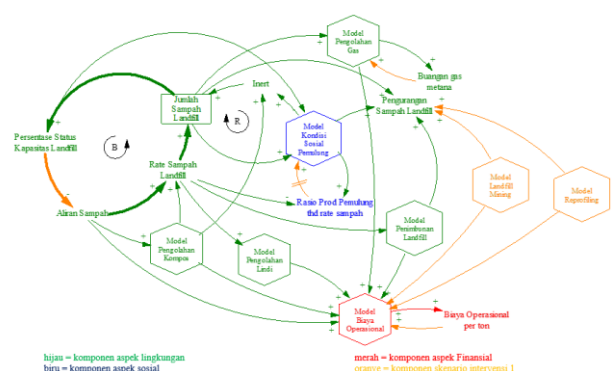
Skenario 1 dibangun dengan pengurangan sampah di landfill berupa landfill mining dan landfill reprofiling. Pada model utama (Gambar 7) terdapat loop utama yang menjadi fokus penelitian ini, yaitu Jumlah Sampah Landfill → Persentase Status Kapasitas Landfill → Aliran Sampah → Rate Sampah Landfill → Jumlah Sampah Landfill yang berperilaku balance (B). Diperkirakan grafik akan berperilaku goal seeking karena jumlah sampah landfill akan dibatasi oleh persentase status kapasitas landfill yang dalam sistem nyata berarti jumlah sampah landfill mencapai keadaan penuh yang steady dan tidak dapat lagi dimasuki sampah.



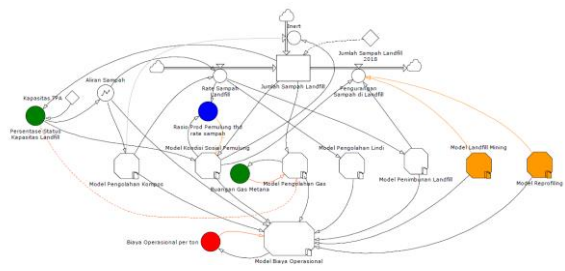
Keterangan:  
(a) Sub model aktivitas landfill mining  
(b) Sub model aktivitas reprofilling  
(c) Sub model aktivitas kondisi sosial pemulung

Gambar 6. CLD sub model skenario intervensi 1  
Sumber: Hasil analisis (2019)

# Model Optimasi Pengelolaan Sampah di TPA(Suatu Studi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang)

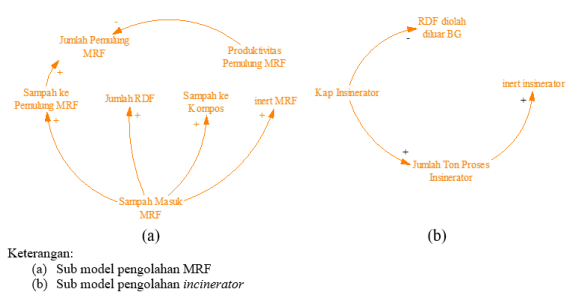


Gambar 7. CLD model skenario intervensi 1  
Sumber: Hasil analisis (2019)

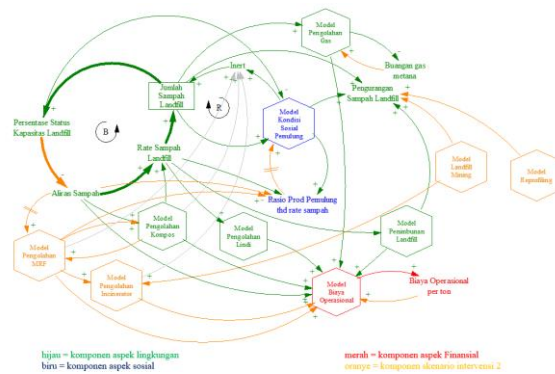


Gambar 8. SFD model skenario intervensi 1 TPST Bantargebang  
Sumber: Hasil analisis (2019)

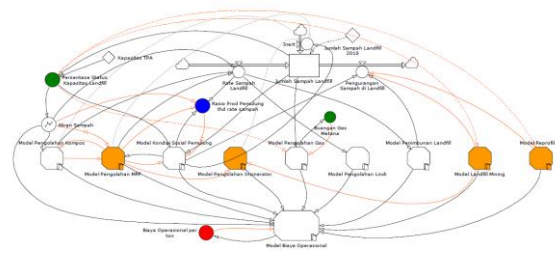
Skenario 2 dibangun dengan pengurangan sampah di landfill berupa landfill mining dan landfill reprofiling dan pengurangan aliran sampah ke landfill berupa Material Recovery Facility (MRF) dan insinerator. Selain itu juga dilakukan intervensi fungsional berupa peningkatan efektivitas pengolahan kompos dan pengelolaan gas landfill. Tidak ada loop tambahan dalam sub model skenario intervensi 2. Loop utama yang pada skenario 2 ini tetap sama dengan skenario 1.



Gambar 9. CLD sub model skenario intervensi 2  
Sumber: Hasil analisis (2019)



Gambar 10. CLD model skenario intervensi 2  
 Sumber: Hasil analisis (2019)



Gambar 11. SFD model skenario intervensi 2 TPST Bantargebang  
 Sumber: Hasil analisis (2019)

Skenario 2 terbukti dapat mempengaruhi sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang. Skenario pengurangan sampah landfill tidak signifikan terhadap perpanjangan usia pakai TPST Bantargebang dan kondisi sosial pemulung. Model yang paling optimal dan dapat diterapkan untuk meningkatkan status berkelanjutan sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang adalah model dengan skenario intervensi gabungan, yaitu skenario pengurangan sampah masuk landfill dan pengurangan sampah landfill.

Skenario intervensi gabungan direncanakan dengan pembangunan MRF dengan melibatkan pemulung, peningkatan efisiensi pengolahan kompos, pembangunan fasilitas Waste to Energy (WtE) berupa insinerator, landfill mining, dan reprofiling secara bersamaan. Komponen Persentase Status Kapasitas Landfill (%) berhasil tidak mencapai nilai 100%, yang berarti bahwa TPST Bantargebang masih dapat dipergunakan sampai akhir periode simulasi. Perbandingan komponen Buangan gas metana (ton/hari) pada kondisi BAU dan skenario 2, terjadi penurunan rata-rata sebesar 23,50%. Biaya Operasional per ton (Rp/ton) mengalami kenaikan yang cukup besar dengan besaran mencapai 309,62%. Hal tersebut dikarenakan intervensi kenaikan harga satuan biaya operasional TPA dan penambahan kegiatan pengolahan sampah di dalam TPST Bantargebang. Aspek sosial juga diperhatikan dalam skenario 2, hasil simulasi menunjukkan kenaikan Rasio Produksi Pemulung terhadap Rate Sampah Landfill mencapai 134,58%.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Simulasi Model Persentase Status Kapasitas *Landfill* (%)

Tahun	BAU	Skenario 1	Skenario 2
2018	86,41	86,41	86,41
2019	91,71	91,69	91,68
2020	97,38	97,33	97,30
2021	103,43	97,71	93,72
2022	109,86	100,01	95,41
2023	116,67	100,02	97,56
<b>Rata-rata</b>	<b>100,91</b>	<b>95,53</b>	<b>93,68</b>
<b>Perubahan</b>		<b>7,16%</b>	

Buangan Gas Metana (ton/hari)

Tahun	BAU	Skenario 1	Skenario 2
2018	241,95	241,95	241,95
2019	266,20	266,13	266,07
2020	292,17	291,92	291,79
2021	319,88	259,60	241,36
2022	349,33	228,57	207,51
2023	380,51	177,94	166,67
<b>Rata-rata</b>	<b>308,34</b>	<b>244,35</b>	<b>235,89</b>
<b>Perubahan</b>		<b>23,50%</b>	

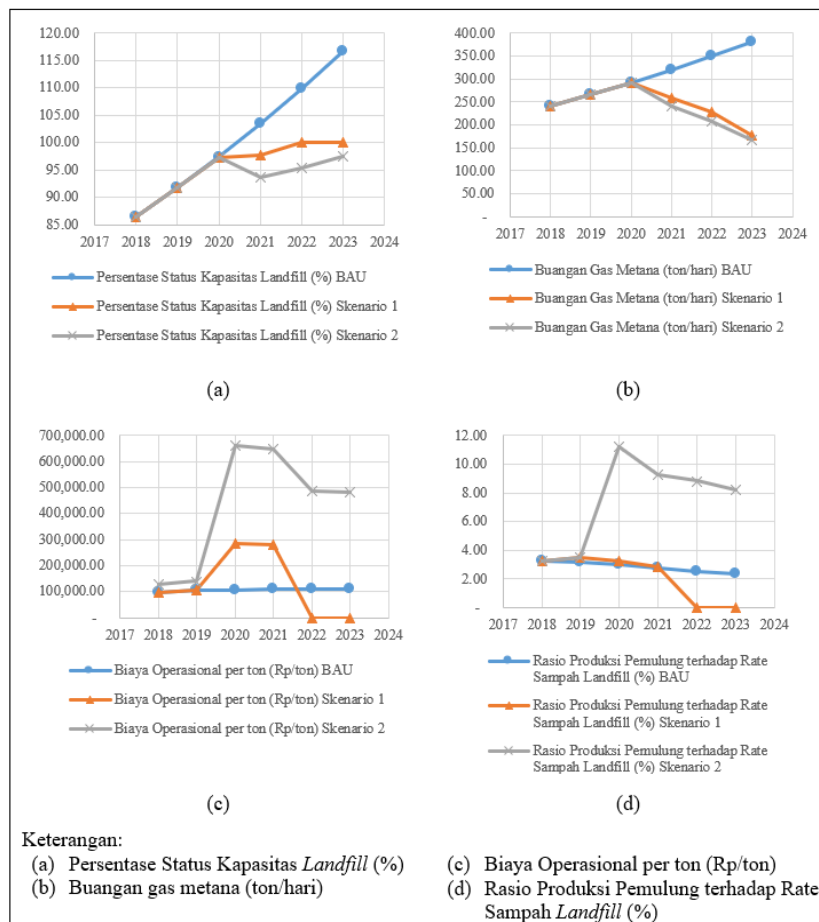
Biaya Operasional per ton (Rp/ton)

Tahun	BAU	Skenario 1	Skenario 2
2018	95.674,52	95.674,52	126.542,26
2019	107.393,62	107.921,69	139.438,31
2020	107.431,32	83.259,29	662.228,28
2021	108.792,07	81.147,10	649.971,74
2022	110.407,67	-	485.163,66
2023	112.256,94	-	480.370,71
<b>Rata-rata</b>	<b>103.499,82</b>	<b>192.000,65</b>	<b>423.952,49</b>
<b>Perubahan</b>		<b>309,62%</b>	

Rasio Produksi Pemulung terhadap Rate Sampah *Landfill* (%)

Tahun	BAU	Skenario 1	Skenario 2
2018	3,26	3,26	3,26
2019	3,20	3,52	3,52
2020	2,97	3,27	11,19
2021	2,76	2,87	9,29
2022	2,56	-	8,82
2023	2,36	-	8,17
<b>Rata-rata</b>	<b>3,14</b>	<b>3,23</b>	<b>7,37</b>
<b>Perubahan</b>		<b>134,58%</b>	

Sumber: Hasil analisis (2019)



Gambar 9. Grafik Perbandingan Hasil Simulasi Model  
 Sumber: Hasil analisis (2019)

Aspek lingkungan yang diwakili oleh persentase status kapasitas landfill mengalami perubahan perilaku pada grafik. Kondisi BAU, loop yang terjadi adalah reinforcing sehingga grafik berperilaku growth, sedangkan pada skenario 1 dan 2, loop yang terjadi adalah balancing dimana aliran sampah dibatasi oleh persentase status kapasitas landfill sehingga berperilaku goal seeking.

Skenario 2 dapat menurunkan nilai persentase tersebut dengan drastis karena pelaksanaan intervensi dilakukan secara bersamaan. Untuk komponen buangan gas metana, pada kondisi BAU terus mengalami kenaikan sampai akhir masa simulasi, sedangkan pada skenario 1 dan 2 penurunan diakibatkan pengurangan jumlah sampah landfill dan kenaikan Kapasitas Utilisasi Gas Metana.

Intervensi fungsional pada skenario 1 dan 2 adalah sama, namun menghasilkan nilai akhir yang berbeda, hal ini dikarenakan perbedaan jumlah sampah landfill pada kedua skenario tersebut.

Aspek finansial yang diwakili oleh biaya operasional per ton. Pada kondisi BAU, biaya operasional mengalami kenaikan yang diakibatkan oleh adanya kenaikan harga satuan tiap tahunnya. Pada skenario 1, biaya operasional per ton mulai tahun 2020, akan tetapi pada tahun 2022 dan

2023 biaya operasional menjadi 0. Hal ini diakibatkan oleh feedback dari aliran sampah yang memperhitungkan jika kapasitas penuh, maka aliran sampah = 0. Pada skenario 2, biaya pada tahun pertama mulai intervensi melonjak tinggi, hal tersebut dikarenakan semua intervensi

dilakukan secara bersamaan dan membutuhkan biaya yang besar. Pada tahun-tahun berikutnya, biaya menurun karena sebagian intervensi selesai waktu pengerjaannya.

Pada aspek sosial, yang diwakili oleh komponen Rasio Produksi Pemulung terhadap Rate Sampah Landfill mengalami penurunan baik pada BAU maupun skenario 1. Hal ini dikarenakan pertumbuhan rate sampah landfill dan jumlah sampah landfill masih lebih besar dibandingkan produktivitas pemulung. Pada skenario 2, kenaikan terjadi karena adanya intervensi pengoperasian MRF yang melibatkan pemulung, namun seiring waktu nilai tersebut terus. Penurunan nilai tersebut dikarenakan rate sampah landfill yang terus meningkat, sementara diasumsikan jumlah pemulung tetap.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah disampaikan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Kondisi sistem pengelolaan TPST Bantargebang saat ini dilihat dari aspek lingkungan, finansial dan sosial masih terdapat beberapa permasalahan, antara lain adalah sebagai berikut:
  - a. Lingkungan: Persentase Status Kapasitas *Landfill* sudah mencapai 86,41% dan diperkirakan akan penuh pada tahun 2021; Buangan gas metana terus mengalami kenaikan dan belum sesuai dengan rencana penurunan gas rumah kaca dari sektor *gas landfill*.
  - b. Finansial: Biaya operasional sebesar Rp. 94,541 per ton yang dibawah rentang nilai tipikal dapat menjadi salah satu penyebab pengelolaan sampah tidak optimal.
  - c. Sosial: belum ada pengaturan cara kerja pemulung dan integrasi dalam sistem formal menyebabkan Rasio Produksi Pemulung terhadap Rate Sampah *Landfill* hanya sebesar 4.43%, dimana nilai tersebut masih dibawah rentang nilai tipikal.
2. Model pengelolaan TPST Bantargebang, yang berupa hubungan sebab akibat aspek lingkungan, finansial, dan sosial, dapat dipergunakan untuk memprediksi dan menilai status berkelanjutan sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang.
3. Model yang paling optimal untuk meningkatkan status berkelanjutan sistem pengelolaan sampah TPST Bantargebang adalah dengan skenario intervensi gabungan, yaitu skenario pengurangan sampah masuk ke *landfill* dan pengurangan sampah di *landfill* yang direncanakan dengan pembangunan MRF dengan pelibatan pemulung, peningkatan efisiensi pengolahan kompos, pembangunan fasilitas WtE berupa insinerator, *landfill mining*, dan *reprofiling* secara bersamaan.
  - a. Aspek lingkungan, yaitu: komponen Persentase Status Kapasitas *Landfill* berhasil tidak mencapai nilai 100%, yang berarti bahwa TPST Bantargebang masih dapat dipergunakan sampai akhir periode simulasi; dan komponen Buangan gas metana (ton/hari) terjadi penurunan rata-rata sebesar 23,50%.
  - b. Aspek finansial, yaitu: komponen Biaya Operasional per ton (Rp/ton) mengalami kenaikan yang cukup besar dengan besaran mencapai 309,62%. Hal tersebut dikarenakan penambahan kegiatan pengolahan sampah di dalam TPST Bantargebang.
  - c. Aspek sosial, yaitu: hasil simulasi menunjukkan kenaikan komponen Rasio Produksi Pemulung terhadap Rate Sampah *Landfill* mencapai 134,58%.

Saran untuk Pemerintah Provinsi DKI Jakarta, khususnya Dinas Lingkungan Hidup sebagai pengelola TPA dan *stakeholder* terkait adalah sebagai berikut:

1. Sebagai solusi sementara, dapat dipertimbangkan pembelian lahan yang berdekatan dengan TPA, yang dapat dipergunakan untuk sel *landfill* baru dan/atau lokasi pengolahan sampah tambahan lainnya.
2. Perbaiki sistem pemanfaatan gas TPA dengan survei untuk menghitung ulang jumlah gas yang tersedia dari semua sel. Kemudian ditentukan zona atau sel dimana gas dapat ditangkap harus dipilih; sumur pengumpulan gas dan jalur perpipaan ke *power house* didirikan.
3. Pemulung dapat diberikan identifikasi formal dan bekerja secara bergiliran untuk memungkinkan setiap pemulung mendapatkan penghasilan dari pemulihan daur ulang.
4. Untuk pengelolaan sampah kota yang terintegrasi, perlu pengembangan skenario intervensi pada pengelolaan sampah Prov. DKI Jakarta dengan penerapan kebijakan di sektor hulu sistem pengelolaan sampah, yaitu berupa pengurangan sampah.

Saran untuk riset selanjutnya sebagai kelanjutan dari pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya ilmu lingkungan, adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan analisis biaya investasi dan perhitungan keekonomian dari skenario intervensi optimasi TPST Bantargebang.
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai kemungkinan integrasi sektor non formal ke dalam sistem pengelolaan TPA yang sekarang dilakukan oleh pemerintah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahadis, M. H. (2005). *Pengaruh Tempat Pembuangan Akhir Sampah terhadap Lingkungan Perairan di Sekitarnya: Studi Kasus TPA Bantar Gebang Bekasi*. Institut Pertanian Bogor.
- Aprilia, A., Tetsuo, T., & Gert, S. (2010). Municipal Solid Waste Management and Waste-to-energy in Indonesia: A Policy Review. *In International Renewable Energy Symposium*.
- Hidup, D. L. (2019). *Penyusunan Feasibility Study (FS) dan Detailed Engineering Design (DED) Landfill Mining Bantargebang*.
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- Manurung, H. D. . (2009). *Optimasi Pengelolaan Lingkungan Terpadu Berkelanjutan TPST Bantargebang, Kota Bekasi*. Institut Pertanian Bogor.
- Muthmainnah, L. (2007). Menggugah Partisipasi & Membangun Sinergi: Upaya Bergerak dari Stagnasi Ekologis Pengelolaan Sampah. *Jurnal Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik Universitas Gajah Mada*, 11(2). <https://journal.ugm.ac.id/jsp/article/view/11000/8241>
- Pressley, P. N., Levis, J. W., Damgaard, A., Barlaz, M. A., & DeCarolis, J. F. (2015). Analysis of material recovery facilities for use in life-cycle assessment. *Waste Management*, 35, 307–317. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.012>
- Sammur, C., & Webb, G. I. (2010). *Encyclopedia of Machine Learning* (C. Sammut & G. I. Webb (eds.)). Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8>
- Santibañez-Aguilar, J. E., Ponce-Ortega, J. M., Betzabe González-Campos, J., Serna-González,



## Model Optimasi Pengelolaan Sampah di TPA(Suatu Studi di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Bantargebang)

- M., & El-Halwagi, M. M. (2013). Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. *Waste Management*, 33(12), 2607–2622. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.08.010>
- Sasaki, S., & Araki, T. (2014). Estimating the possible range of recycling rates achieved by dump waste pickers: The case of Bantar Gebang in Indonesia. *Waste Management and Research*, 32(6), 474–481. <https://doi.org/10.1177/0734242X14535651>
- Sasaki, S., Watanabe, K., Widyaningsih, N., & Araki, T. (2019). Collecting and dealing of recyclables in a final disposal site and surrounding slum residence: the case of Bantar Gebang, Indonesia. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(2), 375–393. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0798-2>
- Soesilo, T. E. B., & Karuniasa, M. (2014). *Permodelan System Dynamics Untuk Berbagai Bidang Ilmu Pengetahuan, Kebijakan Pemerintah dan Bisnis*. Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of Solid Waste Management* (2nd Editio). The McGraw-Hill Companies, Inc. <https://doi.org/10.1036/0071356231>
- Zhang, H., & Matsuto, T. (2011). Comparison of mass balance, energy consumption and cost of composting facilities for different types of organic waste. *Waste Management*, 31(3), 416–422. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.09.010>