**RANCANG BANGUN PENGELOLAAN SAMPAH TERPADU ANTAR
DAERAH BERBASIS PERMAINAN DINAMIS**
***THE MODEL OF JOINT WASTE MANAGEMENT BETWEEN REGIONS
USING A DYNAMIC GAME FRAMEWORK***

Ika Nugraheni AM¹ dan M. Wakhid Musthofa^{2*}

¹ Program Studi Biologi UIN Sunan Kalijaga

² Program Studi Matematika UIN Sunan Kalijaga

Diterima : 04-09-2019; Disetujui : 22-11-19; Diterbitkan : 10-02-2020

*Corresponding author: E-mail: ika_mgl@yahoo.com

Abstrak

Pengelolaan sampah bersama antar daerah yang saling berdekatan/berbatasan dapat menjadi salah satu alternatif solusi dari masalah sampah di Indonesia. Beberapa daerah telah melakukan kerja sama dalam pengelolaan sampah, diantaranya adalah Sarbagita dan Kartamantul. Permainan dinamis dapat dijadikan sebagai alternatif metode dalam pengelolaan sampah terpadu antar daerah. Tujuan penulisan artikel ini adalah mendesain rancang bangun pengelolaan sampah bersama antar daerah dengan menggunakan pendekatan framework teori permainan dinamis. Permainan dinamis adalah suatu model matematika yang merepresentasikan situasi konflik antar pihak yang berkepentingan untuk mengambil keputusan terbaik (dalam hal ini adalah pemerintah kota/kabupaten) dari serangkaian strategi yang dimungkinkan dengan mempertimbangan keberadaan berbagai ketidakpastian (uncertainties) yang ada pada situasi tersebut. Pembahasan dilakukan dengan cara mengasumsikan terdapat tiga daerah kota/kabupaten yang berbatasan dan membuat regulasi pembuangan sampah. Selanjutnya dilakukan operasi-operasi matematika dan penyederhanaan bentuk persamaan menyesuaikan dengan tujuan perancangan. Hasil rancang bangun menggunakan pendekatan ini adalah didapatkan dua persamaan matematika yang menggambarkan karakteristik dari dinamika bertambah dan berkurangnya stok sampah di kota/kabupaten yang berdampingan, dan biaya yang harus dikeluarkan oleh masing-masing kota/kabupaten dalam mengelola stok sampahnya.

Kata Kunci: pengelolaan sampah antar daerah, permainan dinamis

Abstract

Joint waste management between regions that bordered each other can be one alternative solution to the problem of trash in Indonesia. Some areas have conducted cooperation in waste management, such as Sarbagita and Kartamantul. The dynamic game can be an alternative method in joint waste management between the regions. The purpose of this article is to design joint waste management between regions using the dynamic game theory framework approach. A dynamic game is a mathematical model that represents the conflict situation between the interested parties who want to make the best decision (in this case it is the city/district government) of a series of strategies that are possible by considering the existence of the various uncertainties at such situation. The discussion is done by assuming there are three areas of the bordering regions and making some waste disposal regulations. Furthermore, the mathematical operations and simplification of the form of the equation are executed to adapt to the design objectives. The results of the design in this approach are the invention of two mathematical equations describing the characteristics of dynamics waste stock in the adjoining regions, and the cost to be incurred by each region in managing its waste stock.

Key Words: joint waste management between regions, dynamic game

How to Cite: Nugraheni, Ika, AM & Musthofa, Wakhid, M. (2020). Rancang Bangun Pengelolaan Sampah Terpadu Antar Daerah Berbasis Permainan Dinamis, *BioLink: Jurnal Biologi Lingkungan, Industri dan Kesehatan*, Vol.6 (2): Hal. 80-94

PENDAHULUAN

Di perkotaan Indonesia, saat ini sampah menjadi permasalahan yang semakin serius dan mengkhawatirkan. Volume sampah semakin meningkat seiring berbanding lurus dengan pertambahan jumlah penduduk dan aktivitas pembangunan. Bentuk-bentuk sampah juga semakin beragam. Volume sampah terbesar berasal dari kawasan pemukiman penduduk, pasar tradisional, jalan raya, dan perkantoran pada umumnya berbentuk sisa makanan, pembungkus, plastik, sayuran, kertas, karet dan lain-lain.

Berdasarkan data dari Status Lingkungan Hidup Indonesia tahun 2013, diprediksi laju pertumbuhan penduduk di Indonesia berkisar 0,9% per tahun, dengan demikian diperkirakan pada tahun 2020 jumlah penduduk Indonesia sebesar 262,4 juta jiwa. Terkait hal tersebut, rata-rata timbulan sampah diprediksi juga akan bertambah dari 800 g/kapita/hari pada tahun 1995 menjadi 910 g/kapita/hari pada tahun 2020 (Sudibyo 2013, Damanhuri 2017).

Peningkatan timbulan sampah tersebut ternyata tidak diikuti dengan semakin baiknya tingkat pengelolaan sampah. Dikarenakan keterbatasan dalam hal sumberdaya manusia, sarana, dana, teknik pengelolaan, manajemen dan berbagai hal lain menjadikan pada

umumnya sebagian besar kota di Indonesia tidak sanggup mengolah secara tuntas semua sampah di kawasannya. Menurut Status Lingkungan Hidup Indonesia 2013, rata-rata jumlah sampah yang mampu diangkut di berbagai perkotaan di Indonesia sekitar 74,11% dari total sampah yang dihasilkan. Sehingga terdapat sejumlah 25,89% sampah yang belum dapat terbuang. Timbulan sampah yang belum terangkut tersebut pada akhirnya akan menghasilkan polusi udara yang akan mengurangi kualitas kebersihan lingkungan. Lebih lanjut, timbulan sampah tersebut biasanya terletak tidak jauh dari pemukiman warga yang mengakibatkan polusi sampah tersebut dapat mengancam kesehatan warga masyarakat (Widyatmoko dan Sintorini 2002).

Persoalan sampah kota di Indonesia semakin lama semakin kompleks seiring dengan kompleksitas kehidupan masyarakat. Hal ini jelas menghajatkan keikutsertaan peran ilmu pengetahuan dan teknologi yang beragam. Diantaranya adalah teknologi persampahan tentang pengendalian timbulan (*generation*), pengumpulan (*collection*), pengangkutan (*transportation*), pemindahan (*transfer*), pemerosesan (*processing*), dan pembuangan akhir (*final disposal*) dari stok sampah yang ada (Guerrero et al 2013).

Dikarenakan lahan yang dapat digunakan untuk pemrosesan sampah semakin terbatas maka ide pengelolaan sampah bersama antar daerah yang saling berdekatan/berbatasan menjadi salah satu alternatif solusi dari masalah sampah. Ide pokoknya adalah bahwa setiap kota/kabupaten tidak harus mempunyai Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sendiri, namun dapat dikerjasamakan dengan kota/kabupaten yang berbatasan (Colvero et al 2018).

Hanya saja, ide tersebut belum dapat berjalan dengan mulus sebagaimana yang diharapkan dikarenakan perbedaan permasalahan dan kepentingan yang berbeda-beda pada tiap daerah. Pemberlakuan otonomi daerah menyebabkan pemerintah daerah berwenang untuk menolak daerahnya digunakan sebagai TPA bagi daerah lain yang berbatasan dengannya yang tidak memiliki lahan untuk dijadikan TPA karena tidak sejalan dengan kepentingan daerahnya ataupun tidak memberikan keuntungan bagi daerahnya. Bahkan lebih-lebih jika keberadaan TPA di daerah tersebut justru merugikan kepentingannya. Konflik antar pemerintah kota/kabupaten juga mungkin terjadi akibat dari penerapan model pengelolaan sampah yang tidak tepat.

Untuk itu pola hubungan kerjasama pengelolaan sampah antar daerah yang

tepat dan menguntungkan sangatlah diperlukan. Agar setiap kepentingan yang berbeda-beda pada masing-masing kota/kabupaten dapat terakomodasi dan lebih dari itu masing-masing kota/kabupaten mendapat keuntungan dari kerjasama pengelolaan sampah yang terjalin. Hubungan yang harmonis antar pemerintah kota/kabupatenpun akan tetap terjalin (Winterstetter 2018).

Para peneliti baik pada tingkat nasional maupun internasional telah banyak yang melakukan studi tentang pengelolaan sampah dengan berbagai model dan pendekatan. Royadi (2006) meneliti tentang pemanfaatan TPA sampah pascaoperasi berbasis masyarakat di TPA Bantar Gebang Bekasi. Royadi menemukan fakta terdapatnya *multiplier effect* pada pemerintah, dan masyarakat di sekitar lokasi TPA dan lingkungan. Sementara Astuti (2005) meneliti tentang strategi pemberdayaan masyarakat di sekitar TPA Sampah Cipayung melalui penguatan kemampuan masyarakat dalam pemeliharaan lingkungan sehat.

Yudianto (2007) melakukan analisis sistem pengelolaan sampah permukiman di Kota Bogor dalam rangka merumuskan skenario strategi pengelolaan sampah permukiman di Kota Bogor. Yudianto memulai dengan menganalisis kondisi sistem pengolahan sampah permukiman yang sedang berjalan kemudian menelaah

faktor-faktor strategis yang akan berperan penting dalam pengembangan sistem tersebut di masa yang akan datang. Amurwaraharja (2003) menganalisis model pengelolaan sampah dengan proses hirarki analitik serta metode valuasi kontingensi (*contingen valuation method/CVM*) di kawasan Jakarta Timur. Amurwaraharja menyimpulkan bahwa berdasarkan metode CVM, teknologi yang harus diprioritaskan dalam pengelolaan sampah di Jakarta Timur oleh pemerintah daerah adalah pengomposan dan *incenerator*. Teknik pengolahan sampah ini terbukti tidak terpengaruh oleh perubahan kecenderungan masyarakat dalam hal ekonomi, teknis dan sosial.

Hubungan yang dinamis antar pemerintahan kota/kabupaten dalam pengelolaan sampah dengan keberadaan kepentingan yang saling berbeda dapat dideskripsikan dalam *framework* teori permainan dinamis (*dynamical game theory*). Permainan dinamis adalah suatu model matematika yang merepresentasikan situasi konflik antar pihak yang berkepentingan untuk mengambil keputusan terbaik (dalam hal ini adalah pemerintah kota/kabupaten) dari serangkaian strategi/aksi yang dimungkinkan dengan mempertimbangkan keberadaan berbagai ketidakpastian (*uncertainties*) yang ada pada situasi tersebut (Engwerda 2005,

Owen 1995). Artikel ini akan menyajikan rancang bangun pengelolaan sampah yang terpadu antar kota/kabupaten dengan metode permainan dinamis. Penggunaan teori permainan dinamis dalam masalah ini dimungkinkan karena adanya hubungan interdependensi dalam pengelolaan sampah antardaerah, yang dikombinasikan dengan banyaknya pemerintah kota/kabupaten yang terlibat dalam masalah ini.

Pengelolaan sampah antar kota/kabupaten dengan metode permainan dinamis mempunyai kelebihan mampu mengakomodasi kepentingan pengelolaan sampah tiap kota/kabupaten yang dinamis dan berubah-ubah setiap jangka waktu tertentu. Keunggulan lainnya adalah dengan bentuk permainan dinamis yang berwujud model matematika maka model ini tetap dapat digunakan untuk jangka waktu yang lama, bahkan mampu digunakan untuk memprediksi bentuk dan pola kerjasama pengelolaan sampah di masa yang akan datang. Dengan demikian diharapkan ide dalam artikel ini dapat ditindaklanjuti oleh instansi pemerintah kota/kabupaten sebagai salah satu rujukan dalam merancang pengelolaan sampah di daerahnya dengan mempertimbangkan kepentingan daerahnya dan daerah lain yang berdampingan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Sampah Sektoral

Berikut ini adalah beberapa teknik dasar pengolahan sampah yang masih sektoral dan belum mempertimbangkan kerjasama antar daerah. 1) *Reduce*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk mengurangi penggunaan benda-benda yang akan menghasilkan sampah. Sebagai contoh mengganti plastik untuk wadah suatu barang dengan tas/keranjang permanen. 2) *Reuse*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk memanfaatkan ulang benda-benda yang masih dapat dipakai lagi. Sebagai contoh plastik kresek yang di dapat dari berbelanja suatu barang dapat digunakan lagi untuk keperluan lainnya. 3) *Recycle*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk mengolah kembali benda-benda yang berstatus sampah dijadikan berbentuk lain yang berguna. Sebagai contoh mendaur ulang botol plastik bekas air mineral menjadi vas bunga. 4) *Replant*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk menanam kembali. Sebagai contoh menanam kembali pohon yang telah ditebang untuk diambil kayunya. 5) *Respect*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk menghargai buah karya yang dihasilkan dari sampah. Sebagai contoh mengenakan tas yang dibuat dari bungkus sabun, kopi atau semacamnya sebagai pengganti tas baru.

6) *Repair*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk memperbaiki sesuatu agar tidak menimbulkan sampah. 7) *Rethink*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk berpikir kembali untuk tidak menggunakan barang-barang yang sulit terurai oleh tanah atau dapat menimbulkan sampah yang lebih besar. 8) *Refuse*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk menolak menggunakan benda-benda yang berpotensi menjadi sampah. Sebagai contoh menolak menggunakan wadah air mineral dan lebih memilih memakai wadah minum permanen. 9) *Replace*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk menukar benda-benda yang berpotensi menjadi sampah dengan benda-benda yang lainnya. 10) *Refill*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk mengisi kembali suatu barang sehingga barang tersebut tetap bisa digunakan dan tidak menjadi sampah. 11) *Responsible*. Teknik pengolahan sampah ini dilakukan dalam bentuk bertanggung jawab terhadap sesuatu hal yang kita lakukan agar tidak menghasilkan sampah.

Pengelolaan Sampah Terpadu Antar Daerah

Kerja sama antar daerah secara formal diatur oleh Undang-Undang No. 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah

pasal 87 ayat 1 – 4. Dorongan kerja sama tersebut di atas menjadi semakin kuat setelah diundangkannya Peraturan Pemerintah Nomor 50 tahun 2007 tentang tatacara pelaksanaan kerjasama daerah, khususnya Pasal 4 yang mengatur tentang layanan publik, yaitu layanan yang diadakan oleh pemerintah kepada masyarakat diantaranya dalam hal penyediaan fasilitas kesehatan, pendidikan, pengelolaan air bersih, pasar, perumahan, perparkiran dan persampahan. Peraturan Pemerintah inilah yang digunakan oleh beberapa daerah untuk melakukan kerjasama pengelolaan sampah antar daerah.

Setidaknya terdapat lima model kerja sama pengelolaan sampah antar daerah (Thalita 2014, Jaksi 2016). Berikut ini penjelasan model tersebut beserta dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing:

FSC (*Fee for Service Contract*), adalah penawaran bentuk kerja sama pengelolaan sampah dari suatu daerah kepada daerah lain. Keunggulan yang dimiliki model ini adalah fisibel dalam pelaksanaannya. Hal ini dikarenakan adanya sifat saling ketergantungan antar pihak yang bekerja sama yang mengandalkan pada kebutuhan pasar. Lebih lanjut, model ini juga mengakomodasi kemampuan kedua pihak yang bekerja sama. Sedangkan kekurangan dari model ini terletak pada aspek

administratif. Perjanjian kerja sama model ini biasanya membutuhkan dokumen perjanjian yang cukup rumit. Hal ini dikarenakan dokumen perjanjian ini melibatkan birokrasi pemerintah daerah yang bersangkutan, selain itu kerja sama ini bersifat sukarela yang memerlukan komitmen yang tinggi dan kemauan kuat dari kedua belah pihak.

JA (*Joint Agreement*), adalah berbentuk kerja sama antar pemerintah daerah dalam mengelola sampah secara bersama-sama. Keunggulan model ini adalah fisibel dalam pelaksanaannya dikarenakan tidak adanya perubahan struktur. Lebih lanjut, model ini membangun sistem kendali dan pertanggungjawaban yang jelas sehingga diharapkan dapat meningkatkan solidaritas dan kerja sama antar pemerintah daerah. Sedangkan kekurangan dari model ini terletak pada aspek administratif. Perjanjian kerja sama model ini biasanya membutuhkan dokumen perjanjian yang cukup rumit. Hal ini dikarenakan dokumen perjanjian ini dikelola dengan menggunakan jalur birokrasi yang berlaku pada pemerintah daerah yang bersangkutan.

JFA (*Jointly-Formed Authorities*), adalah berbentuk kerja sama pengelolaan sampah antar daerah dengan cara membentuk suatu lembaga yang terdiri dari perwakilan tiap daerah. Lembaga ini

diberikan mandat untuk membuat dan melaksanakan kebijakan pengelolaan sampah. Keunggulan model ini adalah sangat fisibel dalam pelaksanaannya dikarenakan lembaga ini diisi oleh SDM di setiap instansi daerah. Disamping itu, model ini menekankan prinsip partisipasi dan kesetaraan dari setiap daerah sehingga mempermudah perencanaan dan koordinasi pelaksanaan kerja sama. Lebih lanjut, pembagian tugas dan wewenang diatur secara legal dalam model ini. Sedangkan kekurangannya adalah fokus kinerja dari sumber daya yang terlibat menjadi berkurang dikarenakan yang bersangkutan menangani beberapa tugas sekaligus. Disamping itu dimungkinkan juga terjadinya *overlapping* pekerjaan dengan instansi yang lain jika tidak ada koordinasi dan perencanaan yang baik.

IK (Interkomunalitas), yaitu membentuk sebuah badan/lembaga baru yang mempunyai tugas mengkoordinasi pengelolaan kepentingan daerah-daerah yang bekerja sama. Keunggulan model ini adalah urusan kerja sama dilaksanakan dengan lebih fokus dan target yang jelas karena lembaga ini dibentuk secara khusus. Disamping itu, dalam aspek pengawasan, kerja sama dengan model ini akan lebih baik dikarenakan objektif, tersentral dan bebas dari konflik kepentingan. Sedangkan sisi negatifnya adalah berkurangnya keefisienan dan

fisibilitas pelaksanaan yang rumit. Hal ini dikarenakan pembentukan satuan kerja ini memerlukan yang cukup banyak dan waktu yang tidak singkat. Disamping dimungkinkan pula terjadinya *overlapping* dengan lembaga lain yang berdampak pada berkurangnya kualitas layanan kepada masyarakat.

WK (Wadah Koordinasi), yaitu setiap daerah yang bekerja sama berkoordinasi untuk merencanakan, melaksanakan dan mengevaluasi kerja sama yang disepakati. Kelebihan dari model ini yaitu pelaksanaan yang fisibel berdasarkan sifat hubungan yang fleksibel dan partisipatif antar pihak yang bekerja sama. Disamping itu, jaminan akan sustainability koordinasi mampu dijamin dengan selalu menjalankan forum-forum koordinasi. Sedangkan kekurangan model ini adalah dalam hal aturan terhadap kesepakatan kerja sama yang tidak terlalu kuat.

Komponen biaya kerja sama pengelolaan sampah antar daerah, meliputi 4 hal, yaitu (Feiock, 2005): biaya negosiasi, biaya informasi, biaya aktor dan biaya penegakan/pengawasan/komitmen. Pada dasarnya keempat jenis biaya tersebut dapat ditanggung secara bersama-sama oleh masing-masing daerah yang bekerja sama. Besar kecilnya biaya dapat disepakati berdasarkan besarnya keuntungan dan manfaat yang akan diperoleh masing-masing daerah.

Salah satu upaya yang perlu dilakukan agar kerja sama pengelolaan sampah antar daerah dapat berjalan dengan maksimal adalah dengan membentuk lembaga. Salah satu daerah yang telah sukses menerapkan upaya ini adalah 4 kabupaten/kota di Provinsi Bali, yaitu Denpasar, Badung, Gianyar dan Tabanan (Sarbagita). Setidaknya terdapat tiga buah lembaga yang telah dibentuk dalam rangka mengoptimalkan pengelolaan sampah di empat daerah tersebut, yaitu (Ismawati 2005): 1) Badan Pengatur dan Pengendalian Kebersihan Sarbagita (BPPKS). Badan ini berupa lembaga teknis daerah yang berbentuk badan koordinasi antar pemerintahan daerah. BPPKS mempunyai kewenangan untuk menindaklanjuti fungsi otonomi daerah dalam hal pengelolaan kebersihan lingkungan secara terpadu di kabupaten/kota, serta mengatur dan mengendalikan kebersihan lingkungan sebagai bagian dari bentuk pelayanan pengelolaan kebersihan kepada masyarakat, termasuk dalam membantu, mengendalikan dan melindungi BPKS, DKP, dan sektor swasta/investor. 2) Badan Pengelola Kebersihan Sarbagita (BPKS). Badan ini merupakan lembaga teknis yang berbentuk badan pelaksana non perangkat daerah yang membidangi pengelolaan kebersihan antar pemerintah kabupaten/kota di wilayah Sarbagita.

Lembaga ini berkedudukan di bawah serta bertanggungjawab kepada Bupati/Wali Kota. 3) Badan Pengawas Pengelolaan Kebersihan Sarbagita (BP2KS). Badan ini merupakan struktur independen dan profesional bentukan masyarakat sebagai bentuk kepedulian akan kualitas mutu pelayanan pengelolaan kebersihan wilayah. Badan ini beranggotakan para pelaksana daerah yang berada di Sarbagita, berada di bawah dan bertanggungjawab kepada anggota masyarakat yang diwakilinya.

Alokasi pembiayaan yang ditimbulkan dari pengelolaan sampah bersama di wilayah Sarbagita dibebankan kepada: APBD Propinsi Bali, APBD keempat kabupaten/kota yang melakukan kerjasama, pendapatan dari pengelolaan kebersihan yang dikelola BPKS dan pos-pos penghasilan lainnya yang legal dan independen.

Selain Sarbagita, daerah lain yang telah berhasil dalam melakukan kerjasama pengelolaan sampah adalah Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul (Kartamantul). Pengelolaan sampah bersama ini dilatarbelakangi oleh sempitnya wilayah Kota Yogyakarta sehingga tidak memungkinkan untuk dibuat Tempat Pembuangan Akhir (TPA) pada daerah tersebut. Juga pertimbangan Kabupaten Sleman yang secara geografis terletak di

bagian hulu sehingga jika PTA dibangun di kawasan ini maka akan berpotensi mencemari lingkungan. Sehingga Kabupaten Bantul dengan letak geografis di bagian hilir menjadi lokasi yang paling tepat untuk dibangun lokasi TPA. Kondisi ini menimbulkan kesalingtergantungan antara tiga daerah tersebut dan kesadaran untuk saling bekerjasama. Kerjasama pengelolaan sampahpun terwujud berdasarkan Keputusan Bersama Bupati Bantul Bupati Sleman dan Walikota Yogyakarta Nomor 18 Tahun 2001, 01/PK-KDH/2001, tentang Kerjasama Pengelolaan Prasarana dan Sarana Perkotaan antara Kota Yogyakarta, Kabupaten Sleman dan Kabupaten Bantul yang ditandatangani pada tanggal 30 Januari 2001. Wujud kerjasama tersebut adalah dengan membangun TPA bersama yaitu TPA Piyungan, dengan model pengelolaan sampah yang diterapkan adalah model *joint agreement*.

Sebagai tindak lanjut dari kerjasama tersebut, dibentuklah Sekretariat Bersama (Sekber) Pengelolaan Prasarana dan Sarana Perkotaan antara Kota Yogyakarta, Kabupaten Bantul dan Kabupaten Sleman pada tanggal 18 Juni 2001, yang salah satunya adalah mengenai pengelolaan sampah. Sekretariat Bersama mempunyai kedudukan sebagai forum yang membantu para pihak (ketiga pemerintah daerah) dalam menyelaraskan dan menyerasikan

pembangunan. Kewenangan Sekretariat Bersama adalah sebagai fasilitator koordinasi antar pemerintah daerah dalam perencanaan, pelaksanaan dan pengendalian kegiatan pembangunan. Perhatian utama kerjasama adalah kerjasama pengelolaan sampah di TPA Piyungan. Implementasi kerjasama tersebut memungkinkan untuk bersifat fleksibel, sehingga peluang perubahan dalam perjalanan kerjasama selalu terbuka dengan tetap mengedepankan kepatuhan kepada kesepakatan dan mengutamakan keberlanjutan.

Sekretariat Bersama Kartamantul ini beranggotakan keterwakilan instansi terkait khususnya yang membidangi masalah sampah, seperti Badan Perencanaan Daerah (BAPPEDA), Badan Lingkungan Hidup (BLH), bagian Keuangan, Dinas Pekerjaan Umum (PU), Badan Hukum, serta Kecamatan dan Kelurahan Piyungan. *Sharing* pembiayaan antar pemerintah daerah menjadi alternatif pembiayaan yang didasarkan pada total volume sampah dari tiap daerah yang masuk ke TPA Piyungan. Koordinasi pembiayaan ini ditangani oleh Sekretariat Bersama Kartamantul. Hal lain yang dikerjasamakan oleh Sekretariat Bersama Kartamantul adalah mengenai pembiayaan *equipment sharing* dalam rangka memenuhi fasilitas yang dibutuhkan di TPA Piyungan. Mekanisme pembiayaan

secara *sharing* terbukti mampu berbagai pihak dalam usaha mereka meringankan beban anggaran setiap mencapai maksud/tujuan yang ingin daerah. dioptimalkan dengan menerapkan strategi-

Untuk mengoptimalkan pengelolaan sampah di TPA Piyungan, dibentuklah Unit Pengelola TPA dengan susunan organisasi: strategi tertentu (Engwerda 2005, Owen 1995). Masalah kerja sama pengelolaan sampah antar daerah termasuk dalam contoh permasalahan permainan dinamis. Hal ini dikarenakan dalam masalah kerja sama pengelolaan sampah antar daerah dipenuhi seluruh definisi yang disyaratkan ada dalam permainan dinamis, yaitu: 1) Terdapat dua pihak atau lebih yang bersaing/mengalami konflik, dalam hal ini pihak yang bersaing/mengalami konflik adalah pemerintah daerah. Selanjutnya pihak yang bersaing/mengalami konflik disebut sebagai pemain. 2) Terdapat tujuan bersama yang ingin dioptimalkan, dalam hal ini adalah pengelolaan sampah yang optimal dengan biaya seminimal mungkin. 3) Terdapatnya strategi yang digunakan untuk mencapai tujuan yang ingin dioptimalkan, dalam hal ini adalah bekerja sama dalam mengelola sampah.

Struktur organisasinya terdiri dari: Pada bagian ini akan dikonstruksikan rancangan permainan dinamis yang menggambarkan kerjasama antar daerah dalam mengelola sampah (Jorgensen 2010). Dimisalkan terdapat tiga daerah yang saling berbatasan satu dengan yang lainnya, yaitu Daerah 1, Daerah 2 dan Daerah 3. Setiap daerah mempunyai stok awal (*initial stock*) sampah yang tetap, dan tidak ada tambahan sampah pada setiap

a) Penanggung jawab kegiatan: Kepala Dinas Pekerjaan Umum, b) Kepala Unit Pengelola TPA, c) Kepala Seksi, yang terdiri dari Seksi Perencanaan, Seksi Operasional dan Seksi Peralatan, dan d) Staf Operasional.

Pengelolaan Sampah dalam kerangka Permainan Dinamis

Permainan dinamis memodelkan situasi persaingan/konflik diantara

daerah tersebut. Stok sampah diasumsikan tidak berkurang atau rusak yang disebabkan oleh faktor alam. Dalam permainan ini, stok sampah hanya dapat berkurang karena dibuang ke daerah lainnya. Notasikan stok sampah dengan notasi $\xi_i(x) \geq 0$, $i \in \{1, 2, 3\}$. Simbol x menotasikan waktu real, dengan $x \in [0, T]$, dan simbol T menotasikan waktu akhir, dengan nilai dari waktu akhir T diasumsikan tetap dan berhingga.

Setiap daerah, misalkan Daerah 1, dapat membuang sebagian dari stok sampahnya $\xi_1(t)$ (dikuantifikasikan dalam bentuk pecahan), yaitu $\psi_{12}, \psi_{13} \in [0, 1]$, ke Daerah 2 dan Daerah 3. Sehingga notasi ψ_{ij} menyatakan proporsi dari sampah $\xi_i(x)$ di Daerah i yang dibuang ke Daerah j . Berdasarkan definisi tersebut, proporsi ψ_{ij} dapat dimaknai sebagai instrumen kendali untuk Daerah i . Hal ini dikarenakan besarnya stok sampah pada Daerah i ditentukan oleh besarnya stok sampah Daerah i yang dibuang ke dua daerah yang lainnya, dan hal itu direpresentasikan oleh ψ_{ij} .

Berdasarkan kronologi permainan dan notasi yang digunakan di atas, dinamika bertambah dan berkurangnya stok sampah di masing-masing daerah dapat disajikan dengan sistem persamaan diferensial berikut

$$\begin{aligned}\dot{\xi}_1(x) &= -[\psi_{12}(x) + \psi_{13}(x)]\xi_1(x) + \psi_{21}(x)\xi_2(x) \\ &\quad + \psi_{31}(x)\xi_3(x), \\ \xi_{10} &> 0 \\ \dot{\xi}_2(x) &= -[\psi_{21}(x) + \psi_{23}(x)]\xi_2(x) + \psi_{12}(x)\xi_1(x) \\ &\quad + \psi_{32}(x)\xi_3(x), \\ \xi_{20} &> 0 \\ \dot{\xi}_3(x) &= -[\psi_{31}(x) + \psi_{32}(x)]\xi_3(x) + \psi_{13}(x)\xi_1(x) \\ &\quad + \psi_{23}(x)\xi_2(x), \\ \xi_{30} &> 0.\end{aligned}\tag{1}$$

Besarnya stok awal ξ_{i0} , $i \in \{1, 2, 3\}$ dapat diketahui dari data yang diberikan. Dalam persamaan (1) di atas, suku semacam $-\left[\psi_{12}(x) + \psi_{13}(x)\right]\xi_1(x)$ menyatakan jumlah sampah dari Daerah 1 yang dibuang ke Daerah 2 dan Daerah 3. Dengan demikian suku $-\left[\psi_{12}(x) + \psi_{13}(x)\right]\xi_1(x)$ dapat dipandang sebagai fungsi pendapatan bagi Pemain 1. Dengan logika yang sama maka fungsi pendapatan bagi Pemain 2 adalah $-\left[\psi_{21}(x) + \psi_{23}(x)\right]\xi_2(x)$ dan fungsi pendapatan bagi Pemain 3 adalah $-\left[\psi_{31}(x) + \psi_{32}(x)\right]\xi_3(x)$. Asumsi yang berlaku dalam Persamaan (1) adalah bahwa penghasilan per unit usaha $(\psi_{12}(x) + \psi_{13}(x))$ yang dilakukan oleh Pemain 1 adalah proposional terhadap level stok dari $\xi_1(t)$. Artinya, semakin banyak stok sampah pada Daerah 1 maka semakin banyak pula sampah yang dibuang ke Daerah 2 dan Daerah 3.

Tambahkan tiga persamaan yang menyusun Sistem Persamaan (1) akan diperoleh

$$\dot{\xi}_1(t) + \dot{\xi}_2(t) + \dot{\xi}_3(t) = 0 \quad (2)$$

yang memberikan arti bahwa total stok sampah pada tiga daerah tersebut adalah tetap sepanjang waktu. Sehingga secara simultan tidak ada penambahan dan pengurangan sampah di tiga daerah tersebut. Dengan menyelesaikan Persamaan (2) maka diperoleh

$$\xi_1(x) + \xi_2(x) + \xi_3(x) = \xi_{10} + \xi_{20} + \xi_{30} \quad (3)$$

untuk semua $x \in [0, T]$. Dengan demikian maka didapat total volume stok sampah adalah $\xi_{10} + \xi_{20} + \xi_{30}$ dan dinotasikan dengan $\bar{\xi}$. Hal ini berarti bahwa total volume stok sampah adalah sama sepanjang waktu, yaitu sama dengan total volume stok sampah di awal waktu.

Sistem Persamaan (1) di atas dalam prakteknya susah untuk diimplementasikan. Alasan utamanya adalah jumlah variabel kendali yang ada terlalu banyak, sehingga berimplikasi pada terlalu banyak pula sesuatu yang mesti menjadi konsideran setiap pemain. Sebagai gambaran, jika untuk keenam instrumen kendali yaitu $\psi_{12}(t)$, $\psi_{13}(t)$, $\psi_{21}(t)$, $\psi_{23}(t)$, $\psi_{31}(t)$, $\psi_{32}(t)$ cukup hanya diambil nilai ekstrimnya saja, yaitu 0 dan 1, akan menyebabkan terdapatnya 64 kasus yang harus diperhatikan oleh setiap

pemain. Hal ini tentunya tidak praktis dan cenderung menyulitkan bagi para pemain.

Untuk mengantisipasi hal tersebut, dibuat aturan pembatasan daerah pembuangan stok sampah. Yaitu, Daerah 1 hanya dapat membuang sampahnya ke Daerah 2, Daerah 2 hanya dapat membuang sampahnya ke Daerah 3, dan Daerah 3 hanya dapat membuang sampahnya ke Daerah 1. Dengan menerapkan aturan tersebut maka variabel kendali $\psi_{21}(x)$,

$\psi_{32}(x)$, dan $\psi_{13}(x)$ dapat diabaikan. Sampai disini hanya terdapat tiga variabel kendali untuk Sistem (1) di atas, yaitu $\psi_{12}(x)$, $\psi_{23}(x)$, $\psi_{31}(x)$. Selanjutnya, untuk mempermudah notasi, didefinisikan $\psi_{12}(x) := \psi_1(x)$, $\psi_{23}(x) := \psi_2(x)$, dan $\psi_{31}(x) := \psi_3(x)$.

Dikarenakan berdasarkan Persamaan (3) diperoleh

$$\xi_3(x) = \bar{\xi} - [\xi_1(x) + \xi_2(x)],$$

maka pada kasus ini, jumlah variabel *state* yang terlibat dapat disederhanakan. Yaitu, hanya dua variabel *state* yang dibutuhkan. Dinotasikan dua variabel tersebut dengan $\xi_1(x) := \xi(x)$ dan $\xi_2(x) := \zeta(x)$, maka Sistem (1) dapat ditulis sebagai $\dot{\xi}(x) = -\psi_1(x)\xi(x) + \psi_3(x)[\bar{\xi} - \xi(x) - \zeta(x)]$,

$$\xi_0 > 0$$

$$\dot{\zeta}(x) = -\psi_2(x)\zeta(x) + \psi_1(x)\xi(x),$$

$$\zeta_0 > 0. \quad (4)$$

Ruang keadaan (*state space*) untuk Sistem (4) di atas adalah

$$S = \left\{ (\xi, \zeta) \in R^2 \mid \xi \geq 0, \zeta \geq 0, \xi + \zeta \leq \bar{\xi} \right\}.$$

Tujuan yang ingin dicapai oleh setiap pemain dalam permainan ini adalah meminimumkan biaya yang ditimbulkan dari pengelolaan sampah di daerahnya. Biaya pengelolaan sampah berbanding lurus dengan banyaknya sampah yang dimiliki oleh pemain. Semakin banyak sampah yang dimiliki oleh pemain, maka akan semakin banyak biaya yang dikeluarkan untuk mengelolanya. Selanjutnya, biaya yang harus dikeluarkan oleh setiap pemain untuk mengelola sampahnya dihitung pada akhir permainan, yaitu pada waktu akhir T . Untuk tujuan ini, didefinisikan c_i , $i \in \{1, 2, 3\}$ adalah biaya yang dibutuhkan untuk mengelola satu unit sampah di Daerah i pada waktu T . Maka, fungsi ongkos dari permainan ini dapat disajikan dengan fungsi

$$J_1(\psi; \xi_0, \zeta_0, T) = c_1 \xi(T)$$

$$J_2(\psi; \xi_0, \zeta_0, T) = c_2 \zeta(T)$$

$$J_3(\psi; \xi_0, \zeta_0, T) = c_3 [\bar{\xi} - \xi(T) - \zeta(T)], \quad (5)$$

dengan $\psi := (\psi_1, \psi_2, \psi_3)$ dan $\xi(T)$, $\xi(T)$ dan $\bar{\xi} - \xi(T) - \zeta(T)$ menyatakan stok akhir sampah pada ketiga daerah tersebut.

Persamaan (4) bersama dengan Persamaan (5) membentuk permainan

dinamis pengelolaan sampah bersama antara ketiga daerah tersebut. Dalam permainan dinamis, Persamaan (4) menggambarkan karakteristik dari dinamika bertambah dan berkurangnya stok sampah di ketiga daerah tersebut, sementara Persamaan (5) menggambarkan biaya yang harus dikeluarkan oleh masing-masing daerah dalam mengelola stok sampahnya. Setiap daerah menginginkan agar biaya pengeluaran pengelolaan sampahnya dapat ditekan seminimal mungkin. Untuk mencapai tujuan tersebut, masing-masing daerah harus memilih suatu strategi tertentu. Strategi yang memberikan biaya pengelolaan sampah yang minimal dinamakan strategi optimal. Hal inilah yang akan dicari dalam suatu permainan dinamis, dan disebut sebagai solusi dari permainan dinamis tersebut. Masalah mencari strategi optimal dalam pengelolaan sampah antar daerah tidak akan dibahas dalam artikel ini, tetapi akan menjadi topik dalam penelitian selanjutnya.

SIMPULAN

Dalam artikel ini telah dibahas gambaran penerapan kerja sama pengelolaan sampah antar daerah dengan mengambil contoh di Sarbagita dan Kartamantul. Pada kedua daerah tersebut terlihat peranan penting pembentukan

lembaga sebagai salah satu usaha untuk mengoptimalkan implementasi kerjasama. Lebih lanjut, telah dikonstruksikan pula pengelolaan sampah antar daerah dalam *framework* permainan dinamis.

Artikel ini masih sebatas membentuk kerangka permainan dinamis untuk permasalahan pengelolaan sampah antar daerah. Pencarian strategi yang optimal untuk masing-masing daerah yang akan memaksimalkan keuntungan daerah tersebut dan desain permainan kooperatif dalam pengelolaan sampah antar daerah menjadi permasalahan yang dapat diteliti lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) UIN Sunan Kalijaga atas dukungan finansial yang telah diberikan sehingga penelitian dapat dilakukan hingga artikel ini dapat diterbitkan. Ucapan terima kasih dan penghargaan juga penulis sampaikan kepada editor dan reviewer yang telah bekerja keras untuk memberi masukan dan menyempurnakan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amurwaraharja, I.P. (2003). *Analisis Teknologi Pengolahan Sampah dengan Proses Hirarki Analitik dan Metoda Valuasi Kontingensi (Studi Kasus di Jakarta Timur)*. Tesis. Program Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Astuti, E.B. (2005). *Strategi Pemberdayaan Masyarakat Sekitar Tempat Pembuangan Akhir Sampah Cipayung Melalui Penguatan Kemampuan Masyarakat Dalam Pemeliharaan Lingkungan Sehat*. Tesis. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Colvero, DA, Gomes, APD, Tarelho, LAd, de Matos, MAA, dan dos Santos KA. (2018). Use Of A Geographic Information System To Find Areas For Locating Of Municipal Solid Waste Management Facilities. *Waste Management*. 77 (1): 500-515.
- Damanhuri E, Handoko W, dan Padmi T. (2013). Municipal Solid Waste Management in Indonesia. *Municipal Solid Waste Management in Asia and the Pacific Islands*. Singapura: Springer. 139-155.
- Engwerda, J.C. (2005), *LQ Dynamic Optimization and Differential Game*, England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Feiock, R.C. (2005). *Institutional Collective Action and Local Governance*. The Innovative Governance Salon. University of Southern California. 25 April 2005.
- Guerrero, L A, Maas, G, dan Hogland W. (2013). Solid Waste Management Challenges for Cities in Developing Countries. *Waste Management*. 33 (1): 220-232.
- Jaksi, W. P. (2016). Kerjasama Antar Daerah dalam Pengelolaan Sampah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Regional di Metropolitan Cirebon Raya. *Prosiding Temu Ilmiah IPLBI 2016*.
- Jorgensen, S. (2010). A Dynamic Game Of Waste Management. *Journal of Economic Dynamics & Control*. 34.
- Owen, G. (1995). *Game Theory*, 3rd Edition. California: Academic Press, Inc.
- Royadi. (2006). *Analisis Pemanfaatan TPA Sampah Pasca Operasi Berbasis Masyarakat (Studi Kasus TPA Bantar Gebang, Bekasi)*. Disertasi. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sudibyo H, Pradana YS, Budiman A, dan Budhijanto W. (2017). Municipal Solid Waste Management in Indonesia - A Study about Selection of Proper Solid Waste Reduction Method in D.I. Yogyakarta Province. *Energy Procedia*. 143(1): 494-499.
- Talitha, T. dan Hudalah, D. (2014). Model Kerjasama Antar Daerah Dalam Perencanaan Sistem Transportasi Wilayah Metropolitan Bandung Raya. *Jurnal Tata Loka*. 16(4):194-208.
- Widyatmoko, H. dan Sintorini, M.M. (2002). *Menghindari, Mengolah dan Menyingkirkan Sampah*. Jakarta: Abdi Tandur.

- Winterstetter A, Wille E, Nagels, P dan Fellner, J. (2018). Decision Making Guidelines For Mining Historic Landfill Sites In Flanders. *Waste Management*. 77(1):225-237.
- Yudianto. (2007). *Analisis Sistem Pengelolaan Sampah Permukiman di Kota Bogor*. Tesis. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Yunadiana, Y. (2006). *Kajian Kelembagaan Kerjasama Antar Pemerintah Daerah dalam Pengelolaan Sampah di Kawasan Aglomerasi Perkotaan Yogyakarta*. Tesis. Program Pascasarjana Universitas Padjajaran. Bandung.