

FORMULASI KEBIJAKAN SISTEM PENGOLAHAN SAMPAH PERKOTAAN BERKELANJUTAN

Studi Kasus : DKI Jakarta

Alex Abdi Chalik¹, Bibiana W. Lay², Akhmad Fauzi³, Ety R.⁴

¹Direktorat Pengembangan Air Minum, Direktorat Jenderal Cipta Karya
Jl. Pattimura No. 20 Kebayoran Baru, Jakarta Selatan
Email : alexabdichalik@gmail.com

^{2,3,4}Pasca Sarjana Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan (PSL), Institut Pertanian Bogor
Jl. Pajajaran, Bogor

Email : ²bibiana.lay@atmajaya.ac.id, ³fauziakhmad@gmail.com, ⁴etty riani harsono@yahoo.com

Diterima : 9 Desember 2010; Disetujui : 27 Januari 2011

Abstrak

Pengolahan sampah di wilayah perkotaan, yang dilakukan baik dengan sistem sanitary landfill, controll landfill maupun open dumping akan menimbulkan permasalahan baik masalah lingkungan, sosial maupun ekonomi. Di wilayah perkotaan terutama di kota besar dan metropolitan seperti DKI Jakarta, permasalahan pengolahan sampah muncul berkaitan dengan tidak tersedianya lahan sebagai tempat pemrosesan akhir sampah di dalam wilayahnya. Pengolahan sampah yang dilakukan dengan teknologi sanitary landfill secara mandiri (individual), pada kenyataannya belum dapat menyelesaikan persoalan-persoalan dalam pengelolaan sampah. Pemerintah DKI Jakarta dalam usaha menyelesaikan persoalan pengolahan sampah telah menetapkan kebijakan untuk membangun incinerator skala kecil yang ditempatkan di bagian-bagian wilayahnya yang dikombinasikan dengan composting dan sanitary landfill sebagai tempat pengolahan dan pembuangan akhir sampah yang diletakkan di luar wilayahnya, namun demikian kebijakan ini tidak dapat berlanjut. Apabila kebijakan ini terus berlangsung, maka di masa yang akan datang pemerintah DKI Jakarta harus menyediakan paling tidak 600 ha lahan sebagai tempat pembuangan akhir sampah, yang menyulitkan pemerintah DKI Jakarta untuk menyiapkan lahan tersebut, disamping mahalnya ongkos pengangkutan sampah. Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana memformulasikan kebijakan pengolahan sampah yang dapat menyelesaikan permasalahan dalam pengolahan sampah, optimalisasi pengolahan, menghitung biaya dan dampak lingkungan, dengan menggunakan sistem pengolahan sampah terintegrasi, dikaitkan dengan aspek ekonomi, sosial dan keterbatasan lahan dengan mempergunakan sistem analisis minimalisasi biaya, analisis biaya dan manfaat serta statistik Ordinary Least Square. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa di masa yang akan datang : "integrasi teknologi dalam sistem pengolahan sampah", dapat membantu DKI Jakarta menyelesaikan masalah pengolahan sampah baik aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan. Sistem ini meliputi pemanfaatan teknologi komposter kecepatan tinggi (High Rate Composting), incinerator dengan pemulihan energi listrik, dan sanitary landfill sebagai tempat pembuangan akhir sampah, yang dioperasikan bersama (terintegrasi) untuk mendapatkan pengolahan sampah yang maksimal, mengurangi limbah dan pencemaran, untuk mencapai efektivitas dan tingkat efisiensi yang tinggi.

Kata kunci : Keberlanjutan, keterbatasan lahan, sistem minimalisasi biaya, pengolahan sampah terintegrasi

Abstract

Solid waste management in urban areas that uses the sanitary landfill system, landfill control, and open dumping may cause environmental, social and economic problems. In urban areas, particularly in big cities and metropolitans such as the Special Region of the Capital Jakarta, the problem of waste management occurs because no vacant land is available to be used as the final disposal site. Waste management that uses the individual landfill sanitary technology has not solved yet garbage problems. The government of the Special Region of the Capital Jakarta makes an effort to solve the garbage problem by formulating a policy to build small scale incinerators that are placed throughout the region and combines it with composting and sanitary landfill as the final disposal site outside the region. This policy, however, could not last. If this policy is applied, the government of the Special Region of the Capital Jakarta has to provide a minimum of 600 ha land as the final disposal site. The Special Region of the Capital Jakarta is not able to provide such vacant land. Also, the cost to transport garbage is quite expensive. The purpose of this research is to formulate a policy of waste management that solves the garbage problem, optimizes the management, and calculates the cost and environmental impact. To do this, an integrated waste management system is used which is

connected with the economic, social, and limited land aspects and analyzing how to minimize cost and using the ordinary least square system were done. The result shows that in the future the integrated waste management technology can solve the garbage problem of the Special Region of the Capital Jakarta, technically, and environmentally. The system uses the High Rate Composting system, electric incinerators, and sanitary landfill as the final disposal site. These are operated together to get the maximum waste management, to reduce waste and pollution in order to reach a high level of effect and efficiency.

Keywords : Sustainability, limited land, system of minimizing cost, integrated waste management

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan dan pertumbuhan kota metropolitan di beberapa negara berkembang telah menimbulkan permasalahan dalam hal pengelolaan sampah, (Petrick, 1984). Pada saat ini daerah perkotaan di kawasan Asia mengeluarkan US\$ 25 milyar per tahun untuk pengelolaan 760.000 ton sampah per hari. Pengelolaan sampah diperkirakan akan terus meningkat menjadi US\$ 50 milyar pada tahun 2025 dengan proyeksi jumlah sampah sebesar 1,8 juta ton per hari. (Horenwig dan Thomas, 1999).

Hampir seluruh kota-kota di Indonesia menghadapi permasalahan dalam pengurangan dan penanganan sampah sehingga memberikan dampak baik sosial, ekonomi maupun lingkungan. Kondisi buruknya pelayanan sanitasi di Indonesia memberikan dampak ekonomi yang sangat substansial. Menurut evaluasi dari ADB (1998), dampak sosial (*social cost*) akibat tidak memadainya sanitasi mencapai US\$ 4,7 juta per tahun, atau sekitar 2,4% dari GDP tahunan Indonesia. Dampak ini setara dengan hampir Rp.100.000,- per rumah tangga per bulan. Kondisi kesehatan masyarakat yang buruk memperbesar biaya pengobatan atau kehilangan produktivitas para pekerja (ADB, 1998).

Daerah khusus Ibu Kota Jakarta menghadapi masalah dalam melakukan pengelolaan sampah. Salah satu permasalahan yang sangat menonjol adalah pengelolaan pada Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPA) yang menimbulkan banyak masalah, disamping luas wilayah, jumlah penduduk yang besar, pemerintah DKI juga menghadapi masalah keterbatasan lahan yang memadai bagi TPA sampah, serta kurangnya penyediaan dana untuk biaya operasi dan pemeliharaan pengelolaan sampah. Berdasarkan Rencana Umum Tata Ruang DKI 2005 (1987) kebutuhan TPA Sampah DKI 10 tahun ke depan, jika tidak dilakukan perubahan terhadap sistem pengolahan sampah yang dilakukan saat ini, maka DKI memerlukan paling tidak luas lahan sebesar 600 hektar untuk ke 5 (lima) bagian wilayah kota. Pertumbuhan penduduk dan perkembangan wilayah Jakarta dengan segala aktifitas dan kegiatan masyarakatnya, menimbulkan berbagai

permasalahan lingkungan yang harus dihadapi, salah satu persoalan yang hingga saat ini masih menjadi persoalan besar bagi DKI adalah : "Bagaimana menyelesaikan permasalahan pengolahan sampah yang dapat memenuhi keinginan masyarakat, ramah lingkungan dan dapat dioperasikan dengan baik, sehingga terdapat suatu sistem pengolahan sampah yang berkelanjutan (*sustainable*)".

Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian ini adalah membangun model formulasi kebijakan pengolahan sampah perkotaan berkelanjutan, untuk memberikan masukan bagi penentu kebijakan dalam menetapkan sistem pengolahan sampah yang efisien dan efektif di wilayah perkotaan secara berkelanjutan.

Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk :

1. Melakukan analisis ketersediaan dan kesesuaian lahan untuk tempat pengolahan sampah.
2. Melakukan analisis optimasi pemanfaatan teknologi pengolahan sampah yang ramah lingkungan.
3. Melakukan pengembangan model kebijakan pengolahan sampah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan di wilayah perkotaan.

LOKASI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di wilayah DKI Jakarta, yang merupakan kota terbesar di Indonesia, sebagai kota metropolitan DKI Jakarta memiliki luas area 661,52 km² (66.152 ha), dimana kurang lebih 98% dari total wilayah Kota Jakarta sudah terbangun. DKI Jakarta memiliki jumlah penduduk yang berkembang sangat cepat. Pada tahun 1999 penduduk DKI berjumlah 7.831.520 jiwa, dengan tingkat pertumbuhan penduduk rata-rata 2,2% per tahun, maka pada akhir tahun 2008 penduduk DKI telah mencapai 9.126.758 jiwa, dengan jumlah timbulan sampah sebesar 10 juta m³ per tahun, atau rata-rata 6.000 ton per hari. Dengan jumlah penduduk yang semakin meningkat, maka DKI pada tahun 2008 memiliki tingkat kepadatan penduduk rata-rata sebesar 138 jiwa/ha. DKI memiliki pertumbuhan ekonomi yang cukup tinggi, pada tahun 1984 PDRB per kapita sebesar Rp.

1.343.185,- dan pada akhir tahun 2007 telah mencapai Rp. 62.490.340,- (harga berlaku).

METODOLOGI PENELITIAN

Pengumpulan data untuk mendukung penelitian ini dilakukan dengan metode primer dan sekunder. Pengumpulan data primer dilakukan dengan menggunakan kuesioner dan wawancara pada para pakar persampahan, sedangkan data sekunder diperoleh dari berbagai institusi seperti BPS, Dinas Kebersihan DKI, Kementerian Pekerjaan Umum, serta hasil penelitian sebelumnya. Analisis dilakukan melalui teknik *Cost Minimizing System* sebagaimana dilakukan oleh Hara *et al* (2005), *Cost and Benefit Analysis (CBA)* sebagaimana yang dikemukakan oleh Hanley dan Spash (1995). Perhitungan CBA dilakukan dengan membandingkan sistem pengolahan sampah dengan teknologi *High Rate Composting*, *Sanitary Landfill* dan *WTE Incinerator*, secara individual dan Sistem pengolahan sampah terintegrasi antara ketiga teknologi tersebut. Selain dengan kedua metode tersebut di atas, pendekatan regresi juga digunakan untuk mengetahui pengaruh variabel-variabel makro seperti pertumbuhan ekonomi yang dicerminkan dengan besaran nilai produk domestik regional bruto (PDRB) dan jumlah penduduk terhadap volume sampah yang dihasilkan. Metode ini digunakan untuk menguji apakah kesejahteraan masyarakat (yang diukur dengan PDRB) akan berkorelasi positif terhadap volume sampah yang dihasilkan. Persamaan log-log berikut digunakan untuk mengukur korelasi tersebut :

$$\ln(V) = \alpha_0 + \alpha_1 \ln(JP) + \alpha_2 \ln(PDRB) + \varepsilon$$

dimana V adalah volume sampah, JP adalah jumlah penduduk dan PDRB adalah produk domestik

regional bruto DKI, ε adalah galat. Persamaan log-log digunakan karena koefisien dari persamaan di atas dapat diartikan sebagai elastisitas perubahan variabel independen terhadap variabel dependen (Gujarati, 1978).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Ketersediaan dan Kesesuaian Tempat Pengolahan Sampah

Pertumbuhan penduduk serta perkembangan pemanfaatan lahan untuk pembangunan baik untuk perumahan permukiman maupun untuk kebutuhan industri, mengakibatkan sulitnya Pemda DKI mendapatkan lahan yang memenuhi syarat sebagai tempat untuk pengolahan sampah di dalam wilayahnya, perubahan pemanfaatan lahan di DKI dapat dilihat pada Tabel 1. Ketersediaan dan kesesuaian tempat pengolahan sampah antara lain ditentukan oleh tingkat kepadatan penduduk di suatu wilayah, luas wilayah terbangun, luasan lahan yang masih tersedia minimal untuk dapat memenuhi kebutuhan tempat mengolah sampah selama 10 (sepuluh) tahun, serta kelayakan sosial (penerimaan masyarakat) dan lingkungan. Dengan kondisi yang demikian maka DKI tidak memungkinkan untuk membangun lokasi *SLF* di dalam wilayahnya, disamping tidak tersedianya lahan yang luas (600 ha) untuk menampung kebutuhan sampah hingga 25 tahun ke depan, juga harga tanah yang tinggi, timbulnya keresahan masyarakat sekitar atas fasilitas *SLF* yang dioperasikan terbuka (*out door*), serta dampak lingkungan yang akan diterima oleh masyarakat sekitar. Kemungkinannya adalah teknologi *High Rate Composting (HRC)*, atau *WTE Incinerator*, yang memerlukan lahan relatif lebih kecil, serta dioperasikan secara tertutup (*in door*), yang lebih dapat diterima oleh masyarakat sekitar.

Tabel 1 Perubahan Pemanfaatan Lahan di DKI Jakarta Tahun 2004

Kotamadya		Perumahan	Industri	Perkantoran & Gudang	Taman	Lainnya	TOTAL
Jakarta Selatan	Ha	10.428,43	236,08	1.757,50	190,91	1.960,07	14.573
Jakarta. Timur	Ha	13.542,84	1.130,13	1.798,45	217,77	2.083,80	18.773
Jakarta Pusat	Ha	2.968,84	92,93	1.068,65	170,04	489,54	4.790
Jakarta Barat	Ha	9.032,34	512,17	1.253,93	209,41	1.607,15	12.615
Jakarta. Utara	Ha	7.495,36	2.171,39	1.474,61	126,56	2.952,07	14.220
Kep. Seribu	Ha	320,76	275,17	92,71	-	491,77	1.181
TOTAL	Ha	43.788,57	4.417,87	7.445,85	914,69	9.584,40	66.152,00
	%	66,19	6,68	11,26	1,38	14,49	100,0

Sumber : Badan Pusat Statistik, DKI

Salah satu konsekuensi pertumbuhan penduduk dan ekonomi adalah meningkatnya volume timbulan sampah. Pada tahun 2005 dari 6.000 ton/hari sampah di Jakarta 50% timbulan sampah berasal dari pemukiman, disusul kemudian perkantoran, industri dan sumber lainnya.

Besarnya timbulan sampah ini telah menimbulkan dampak sosial, ekonomi, dan lingkungan. Disamping itu perubahan tingkat kesejahteraan penduduk memberikan pengaruh terhadap karakteristik dan komposisi sampah. Perubahan komposisi sampah dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Perubahan Komposisi Sampah DKI

Komponen (%)	Tahun				
	1981	1986	1987	1997	2001
I. Organik	79.7	74.7	72.0	65.1	52.7
II. Anorganik					
Plastik	3.7	5.4	5.4	11.1	12.6
Kertas	7.8	8.3	8.3	10.1	20.1
Styrofoam	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
Karet	0.5	0.6	3.2	0.6	0.9
Kayu	3.7	3.8	3.2	3.1	2.6
Bulu	N.A	N.A	N.A	N.A	0.8
Kain	2.4	3.2	3.2	2.5	2.6
Kaca	0.5	1.8	1.8	1.6	1.2
Logam	1.4	1.4	2.1	1.9	1.1
Lain-lain	0.3	0.8	0.8	4.0	3.5
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Sumber : BPPT (1981), Dinas Kebersihan DKI (1986, 1997), JICA (2001)

Dengan menggunakan metode *Ordinary Least Square (OLS)*, dan dengan bantuan program Eviews 4.1 dapat diketahui pengaruh jumlah penduduk dan PDRB (variabel bebas) terhadap volume

timbulan sampah (variabel terikat) di DKI Jakarta, dengan program tersebut diperoleh hasil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Estimasi Faktor-faktor yang Mempengaruhi Volume Timbulan Sampah Di DKI Jakarta

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	5.615466	5.007317	1.121452	0.2748
LOG(JP)	0.601376	0.338462	1.776789	0.0901
LOG(PDRB)	0.053988	0.025502	2.116977	0.0464
R-squared	0.724537	Mean dependent var		15.99192
Adjusted R-squared	0.698302	S.D. dependent var		0.144119
S.E. of regression	0.079160	Akaike info criterion		-2.118212
Sum squared resid	0.131594	Schwarz criterion		-1.970955
Log likelihood	28.41854	F-statistic		27.61765
Durbin-Watson stat	0.543185	Prob (F-statistic)		0.000001

Sumber : data diolah

$$LOG(VTS) = 5,6154 + 0,6014 LOG(JP) + 0,0540 LOG(PDRB)$$

Std. Error (0,3385) (0,0255)

t-stat (1,777)* (2,117)**

R2 = 0,7245 R2 = 0,6983

Keterangan : **signifikan pada $\alpha = 5\%$; *signifikan pada $\alpha = 10\%$

Berdasarkan nilai R-squared (R^2) sebesar 0,7245 yang diperoleh dari hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa variabel independen (jumlah penduduk dan PDRB) mampu menjelaskan variasi timbulan volume sampah sebesar 72,45%. Sedangkan selebihnya sebesar 27,55% dijelaskan oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam model estimasi ini.

Dari Tabel 2 diperoleh hasil bahwa nilai F-statistik yang diperoleh, yaitu sebesar 27,6177 lebih besar dari $F_{0,01}(2,21) = 5,78$ yang berarti bahwa secara bersama-sama (serentak) jumlah penduduk dan PDRB mempengaruhi volume timbulan sampah di DKI Jakarta dengan tingkat keyakinan 99%. Dari Tabel 2 juga menunjukkan bahwa variabel jumlah penduduk memberikan pengaruh yang lebih dominan jika dibandingkan dengan PDRB dalam meningkatkan volume sampah di DKI Jakarta dengan nilai 0,6014 dibandingkan nilai 0,0540.

Berdasarkan uji t-statistik (uji secara parsial), maka dapat diketahui bahwa variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap volume timbulan sampah adalah jumlah penduduk pada tingkat $\alpha = 10\%$ sedangkan variabel PDRB signifikan pada tingkat $\alpha = 5\%$.

Pada jumlah sampel (n) = 24, variabel bebas (k) = 2 maka derajat bebas untuk nilai t-statistik ($n-k-1$) atau sama dengan 21. Pada variabel jumlah penduduk mempunyai t-hitung sebesar 1,777 lebih besar dari t-Tabel $\alpha = 0,10$ sebesar 1,721 yang bermakna bahwa variabel jumlah penduduk berpengaruh signifikan (pada $\alpha = 0,10$) terhadap volume timbulan sampah di DKI Jakarta. Sementara itu t-hitung variabel PDRB sebesar 2,177 lebih besar jika dibandingkan dengan nilai t-Tabel pada $\alpha = 0,05$ sebesar 2,080 dengan demikian bahwa variabel PDRB berpengaruh

signifikan terhadap volume timbulan sampah di DKI Jakarta.

Hasil estimasi pada Tabel 3, di atas menunjukkan bahwa koefisien jumlah penduduk menunjukkan elastisitas dari jumlah penduduk terhadap volume timbulan sampah di DKI Jakarta dengan elastisitas sebesar 0,6014 yang bermakna bahwa apabila jumlah penduduk meningkat sebesar 1% maka

volume timbulan sampah meningkat sebesar 0,6014%. Sementara itu koefisien PDRB menunjukkan elastisitas PDRB terhadap volume timbulan sampah di DKI Jakarta dengan elastisitas sebesar 0,054 bermakna bahwa apabila PDRB meningkat sebesar 1% maka volume timbulan sampah meningkat sebesar 0,054%. Hasil model regresi antara PDRB terhadap sampah organik dan anorganik dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4 Hasil Model Regresi antara PDRB terhadap Sampah Organik

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	6136256.	169949.5	36.10634	0.0000
PDRB	-0.004568	0.006708	-0.680866	0.5031
R-squared	0.020637	Mean dependent var		6057377.
Adjusted R-squared	-0.023880	S.D. dependent var		602016.3
S.E. of regression	609161.8	Akaike info criterion		29.55721
Sum squared resid	8.16E+12	Schwarz criterion		29.65538
Log likelihood	-352.6865	F-statistic		0.463578
Durbin-Watson stat	0.456831	Prob(F-statistic)		0.503060

Sumber : Data Diolah

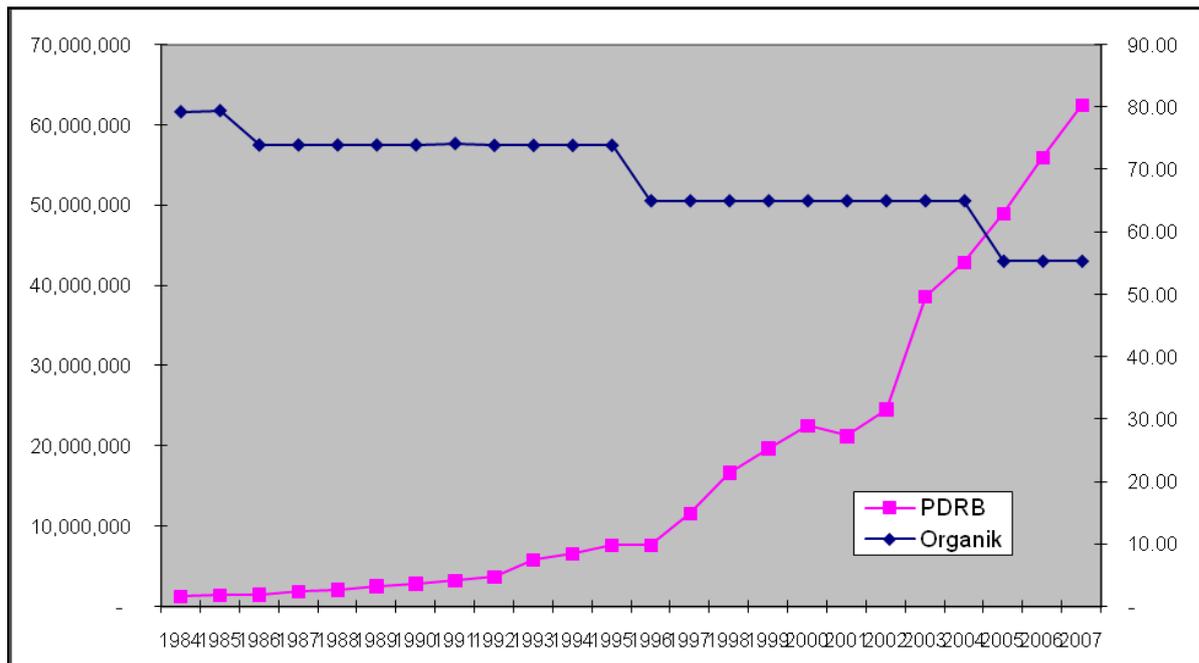
Tabel 5 Hasil Model Regresi antara PDRB terhadap Sampah Anorganik

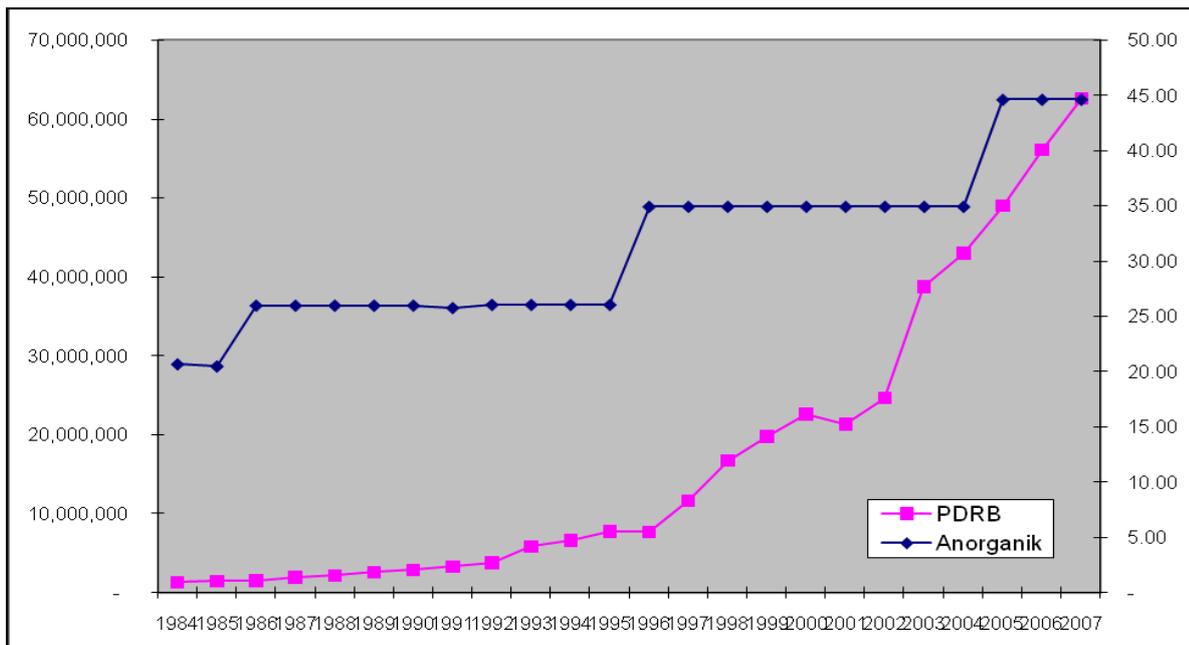
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	2118610.	139619.6	15.17415	0.0000
PDRB	0.041881	0.005511	7.599282	0.0000
R-squared	0.724135	Mean dependent var		2841872.
Adjusted R-squared	0.711595	S.D. dependent var		931876.0
S.E. of regression	500448.3	Akaike info criterion		29.16405
Sum squared resid	5.51E+12	Schwarz criterion		29.26222
Log likelihood	-347.9686	F-statistic		57.74908
Durbin-Watson stat	0.443474	Prob(F-statistic)		0.000000

Sumber : Data Diolah

Karakteristik dan komposisi sampah dipengaruhi oleh tingkat kesejahteraan masyarakat (*income per capita*), dari data dan analisa statistik menunjukkan bahwa tingkat kesejahteraan

masyarakat mempengaruhi komposisi sampah, hubungan antara timbulan sampah dengan tingkat kesejahteraan masyarakat dapat dilihat pada gambar 2.





Gambar 2 Pengaruh PDRB terhadap Timbulan Sampah

Hasil di atas hanya menggambarkan pengaruh beberapa variabel ekonomi terhadap pertumbuhan sampah. Salah satu tujuan penelitian ini adalah mencari teknologi yang *cost efficient*. Analisis Biaya dan Manfaat (*CBA*), dengan bantuan program Excel, terhadap biaya kapital, operasi dan pemeliharaan (*Capex-opex*) dapat dilihat pada Tabel 6. Perhitungan tersebut didasarkan pada kondisi pengolahan sampah di DKI pada saat ini, dimana sistem pengolahan dengan mempergunakan *SLF* ditempatkan di luar wilayahnya yang memiliki jarak angkut rata-rata 45 km dari sumber timbulan sampah hingga ke sel pengolahan dan penimbunan. Sedangkan sistem *WTE Incinerator* dan *High Rate Composting (HRC)* ditempatkan di bagian wilayah DKI, berjarak rata-rata 10 km dari sumber timbulan sampah, dengan lokasi tempat pengolahan dan pembuangan residu hasil olahan

berjarak 25 km dari unit pengolahan baik *WTE Incinerator* maupun *HRC*. Perhitungan investasi pengolahan sampah secara individual diasumsikan dengan sampah yang belum terpisahkan antar sampah organik dan anorganik, sedangkan untuk pengolahan dengan sistem terintegrasi (*Composting, WTE Incinerator dan SLF*), diasumsikan dengan kondisi sampah yang terpisahkan antara sampah organik dan anorganik. Perhitungan ini dimaksudkan untuk melihat keuntungan dan kerugian dari kondisi pengumpulan sampah secara terpisah dan tercampur, dalam proses pengolahan sampah di perkotaan. Dalam perhitungan ini juga diasumsikan bahwa pengangkutan sampah di wilayah perkotaan menggunakan truk dengan bak tertutup kapasitas 8 ton/truk, berbahan bakar solar, dengan kecepatan rendah, yang memerlukan 2,5 liter solar/km.

Tabel 6 Analisis Biaya-Manfaat Pilihan Teknologi

TEKNOLOGI	Sanitary Landfill (SLF)				Waste to Energy Incinerator (WTE)				High Rate Composting				Kombinasi Teknologi			
	500	1.000	2.000	3.000	500	1.000	2.000	3.000	500	1.000	2.000	3.000	500	1.000	2.000	3.000
SAMPAH MASUK Ton/hari	500	1.000	2.000	3.000	500	1.000	2.000	3.000	500	1.000	2.000	3.000	500	1.000	2.000	3.000
NPV Capex-Opex at DF = Inf.rate = 7% (Rp. Milyar)	1.834	3.453	6.588	9.781	1.516	2.696	5.056	7.240	1.877	3.626	7.507	11.192	1.336	2.526	4.592	6.576
NPV UNIT COST at DF = Inf.rate = 7% (Rp x 1.000/ton)	419,2	394,61	376,46	372,61	346,61	308,11	288,89	275,65	302,65	296,64	289,96	289,29	289,52	274,00	249,24	238,26

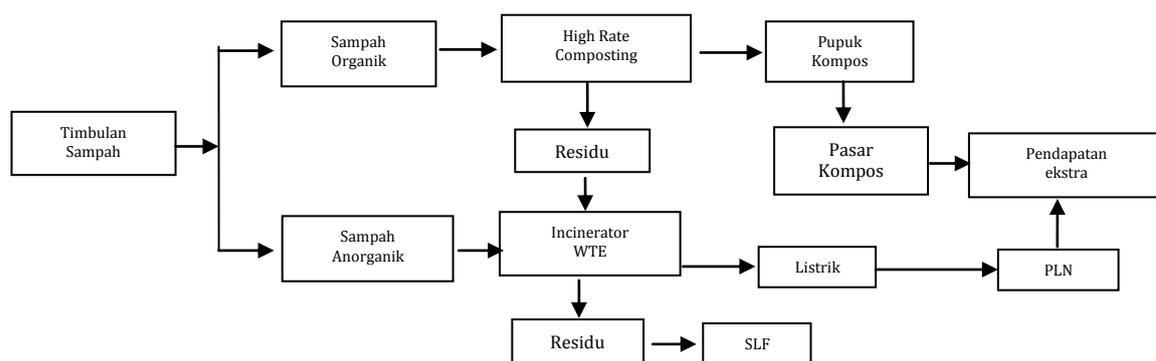
Sumber : Hasil Perhitungan

Sebagaimana hasil perhitungan pada Tabel 6, nampak bahwa untuk *single treatment* dengan kapasitas yang sama diperoleh bahwa nilai sekarang (*present value*) *Capex-Opex*, dengan tingkat bunga (*interest rate*)= 7 % total sistem biaya/ton sampah yang diperlukan untuk *Sanitary Landfill (SLF)*, baik untuk kapasitas pengolahan dari 500 hingga 3.000 ton/hari, merupakan harga tertinggi disusul dengan *High Rate Composting* dan *WTE Incinerator*, untuk kapasitas 3000 ton/hari

sistem pengolahan dengan *Sanitary landfill* memerlukan biaya sebesar Rp. 372.610,-/ton, dan pengolahan dengan *High Rate Composting* sebesar Rp.289.290,-/ton, pengolahan dengan *Incinerator-WTE (Waste to Energy)* sebesar Rp. 275.650,-/ton dan perbedaan yang sangat nyata untuk biaya tersebut diakibatkan oleh luas kebutuhan dan harga lahan yang relatif mahal, serta biaya pengangkutan sampah (*haulage*) rata-rata sebesar Rp. 6.000,-/ton/km. Dari perhitungan tersebut

nampak bahwa *initial investment* yang paling murah adalah SLF (*Sanitary Land Fill*) disusul *Composting*, sementara ongkos yang paling mahal adalah pengolahan dengan *WTE Incinerator*. Hal ini bisa menimbulkan kerancuan dalam pengambilan keputusan (formulasi kebijakan) karena jika yang diperbandingkan dalam pengambilan keputusan (kebijakan) adalah *initial investment*, maka *WTE Incinerator* menjadi pilihan yang termahal namun jika dilihat dari total biaya *capex-opex* dalam 25 tahun dengan *discount rate* 7 % justru sebaliknya *WTE Incinerator* merupakan pilihan teknologi pengolahan sampah dengan ongkos pengolahan yang termurah. Pengolahan sampah dengan teknologi *WTE Incinerator* akan menghasilkan listrik yang bergantung pada kandungan kalorinya, yang dalam perhitungan berdasarkan data untuk sampah tercampur sebesar 2.146 kcal/kg dan untuk sampah terpilah dan didahului dengan pengolahan *composting* sebesar 3.044 kcal/kg. Pengolahan dengan *WTE* tersebut didasarkan pada harga jual listrik ke PLN sebesar Rp. 300,-/kwh, dan penggunaan *WTE* ini akan jauh lebih menguntungkan jika harga jual listrik yang

dihasilkan dari *WTE* dapat dijual dengan harga Rp. 700,-/kwh, yang memerlukan kebijakan pemerintah dalam penggunaan energi bersih (*green energy*), serta pemanfaatan sampah sebagai sumber energi (*garbage is energy, rather than waste*). Kondisi ini akan jauh semakin baik jika dilakukan pemilahan sampah di sumber timbulan sampah dan dilakukan pengolahan sampah dengan mengintegrasikan teknologi pengolahan sampah, yaitu pengolahan dengan kombinasi teknologi *WTE Incinerator* dengan *High Rate Composting* dan *Final Disposal Site (sanitary landfill)*. Dari perhitungan nampak bahwa terjadi penurunan biaya baik investasi awal maupun biaya sistem pengolahan (*capex-opex*) per ton sampah dalam 25 tahun dengan tingkat bunga 7%, untuk kapasitas 3000 ton/hari, *PV* sebesar Rp. 238.260,-/ton. Penurunan biaya ini diakibatkan karena beberapa hal antara lain : menurunnya biaya angkutan untuk *reject material* dan residu hasil pengolahan sampah, serta meningkatnya produksi listrik akibat dari meningkatnya kandungan kalori sampah dari hasil pemilahan sampah di sumber timbulan sampah, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 Sistem Pengolahan Sampah Terintegrasi

Analisis Dampak Lingkungan Aplikasi Teknologi Pengolahan Sampah

- Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Sistem Pengolahan Sampah Sanitary Landfill

Aktivitas biologis pada *landfill* biasanya mengikuti satu bentuk tertentu yaitu sampah mula-mula didekomposisi secara aerobik sampai kandungan oksigen habis, pada fase berikutnya mikroorganisme fakultatif dan anaerobik mengambil peran dan pada tahap ini dekomposisi sampah akan menghasilkan gas metan yang tidak berbau dan tidak berwarna dan terjadi kenaikan temperatur hingga 65,5° C. Pada kenyataannya sangatlah sulit untuk mempertahankan kondisi *landfill* tetap dalam keadaan aerobik, oleh karenanya keadaan anaerobik merupakan kondisi yang tidak dapat dihindari. Pada proses anaerobik akan dihasilkan gas metan CH₄, karbon dioksida CO₂, ammonia NH₅, sejumlah kecil hidrogen sulfida H₂S, dan merkoptan CH₅SH. Pengoperasian *sanitary*

landfill mendapatkan *input* yang berupa sampah dan sumber daya baik sumber daya yang dapat diperbaharui maupun yang tidak terbarukan seperti : lahan, bahan bakar untuk mengangkut sampah ke unit *SLF*, dan beberapa material lainnya, untuk mengolah air lindi. Selama pengoperasian *landfill*, diperlukan bahan bakar minyak untuk mengoperasikan alat-alat berat di lapangan, dan penggunaan energi listrik untuk mengoperasikan timbangan. Pemanfaatan teknologi *SLF* memberikan dampak lingkungan, salah satunya adalah emisi gas rumah kaca yang ditimbulkan dari proses pengolahan sampah. Analisis dilakukan dengan hanya melakukan penghitungan untuk emisigas CO₂ dan gas metan CH₄ yang dikonversikan dalam CO₂ dengan mempergunakan indeks *Global Warming Potential (GWP)* sebagaimana yang dirumuskan oleh Asian Least-Cost Greenhouse Gas Abatement Strategy (ALGAS, 1997). Estimasi pembentukan gas sebagai fungsi

dari waktu dapat dihitung dengan mempergunakan model matematis sebagaimana dikemukakan oleh Rottenberger dan Tabasaran (1987) sebagai berikut :

$G_t = 1,868 C_o (0,014 T + 0,28) (1 - 10^{-kt})$ dalam m^3 gas/ton sampah dimana G_t = volume gas yang terbentuk semenjak sampah 1 (satu) ton dibuang sampai waktu t tahun, dalam m^3 gas/ton sampah, dan C_o = jumlah total karbon organik dalam sampah (kg/ton sampah), (nilai tipikal C_o = 200 kg/ton), dan T = temperatur di lapisan dalam sampah di SLF dalam $^{\circ}C$, (nilai tipikal untuk kondisi SLF di Indonesia = $40^{\circ}C$) k = konstanta degradasi (tipikal untuk landfill antara 0,05 – 0,15), dan t = waktu dalam tahun. Volume gas CO_2 yang terbentuk dan gas CH_4 selanjutnya dikonversikan ke dalam satuan berat ton/tahun dengan menggunakan faktor konversi berat spesifiknya, dimana untuk CO_2 = 0,1235 lb/ft³ atau 1,97835 kg/m³ dan CH_4 = 0,0448 lb/ft³ atau 0,7177 kg/m³. Menurut Chobanoglous, *et al*, komposisi pembentukan gas rata-rata adalah 46,1 % gas landfill adalah CO_2 dan 48,4 % CH_4 , dengan gas-gas lain sejumlah = 5,5 %. Dengan mempergunakan komposisi volume gas sebagaimana penelitian yang dikemukakan oleh Chobanoglos *et al*, maka dapat dihitung terbentuknya volume dan berat gas CO_2 dan CH_4 dalam proses pengolahan sampah dengan teknologi *Sanitary Landfill*.

Disamping timbulnya gas CO_2 dan gas metan CH_4 dari proses dekomposisi zat organik, emisi gas rumah kaca, juga dikeluarkan akibat dari pemakaian bahan bakar solar untuk transportasi sampah dari Tempat Penampungan Sampah Sementara hingga ke Unit Pengolahan Sampah SLF yang berjarak 45 km, sesuai dengan reaksi sbb :



Perhitungan jumlah gas CO_2 yang ditimbulkan akibat dari penggunaan bahan bakar solar, sebagaimana yang dikemukakan oleh DEFRA (2001) dalam penelitian yang dikemukakan oleh Nurroh (2010) mengenai analisis pengaruh hutan tropis dalam menurunkan emisi CO_2 disebutkan bahwa : setiap liter pemakaian solar sebagai bahan bakar sistem transportasi akan menimbulkan 2,6 kg CO_2 , dan untuk satu liter bahan bakar bensin menimbulkan 2,33 kg CO_2 . Dengan mempergunakan hasil penelitian tersebut, dapatlah dihitung jumlah emisi gas CO_2 yang dikeluarkan akibat dari pengangkutan sampah ke lokasi pengolahan sampah *Sanitary Landfill*. Jumlah emisi gas CO_2 dan CH_4 yang dikonversikan ke dalam satuan gas CO_2 , baik dari angkutan sampah dan proses pengolahan di *sanitary landfill* merupakan jumlah emisi GRK yang ditimbulkan dari pemanfaatan teknologi

pengolahan sampah dengan sistem *Sanitary Landfill*, dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7 Emisi GRK Sistem Pengolahan SLF

Emisi SLF Ton/th	Kapasitas Ton/hari			
	500	1.000	2.000	3.000
Transportasi	2.168	4.336	8.672	13.009
Pengolahan SLF	522.557	538.340	1.076.679	1.615.019
Total	524.725	542.676	1.085.351	1.628.027

Sumber : Hasil Perhitungan

- Emisi Gas Rumah Kaca Sistem Pengolahan Sampah Waste to Energy Incinerator

Incinerator merupakan metoda yang sangat efektif untuk mengurangi volume sampah sampai dengan 80 – 95 % bergantung pada bahan yang tidak dapat terbakar dalam sampah. Lebih jauh lagi panas yang dihasilkan dapat digunakan kembali untuk beberapa kepentingan seperti menghasilkan air panas atau generator listrik untuk digunakan dalam unit *incinerator* ini sendiri, maupun penggunaan energi listrik oleh masyarakat luas. Menurut Brunner (1994) keuntungan penggunaan *incinerator* dalam pengolahan sampah antara lain :

1. Dapat menghilangkan komponen sampah yang berbahaya
2. Pengurangan volume dan berat dari sampah
3. Pengurangan sampah secara cepat, tanpa menunggu waktu yang lama seperti pada proses di *sanitary landfill*.
4. Proses *incinerasi* (pembakaran) dapat dilakukan setempat (*on site*) tanpa mentransportasikan ke daerah yang jauh.
5. Emisi udara dapat dikontrol secara efektif sampai tingkat dampak minimum pada lingkungan atmosfer.
6. Limbah abu dapat dikelompokkan bukan sebagai limbah yang berbahaya.
7. *Insinerasi* memerlukan luas lahan yang relatif lebih kecil, sebagaimana yang diperlukan sistem pengolahan lainnya.
8. Melalui pemulihan panas yang dihasilkan, maka biaya operasi dapat dikurangi atau bisa juga dilakukan penggunaan panas untuk energi listrik yang dapat dijual.

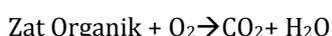
Namun demikian kelemahan dari sistem ini yang perlu diperhatikan adalah :

1. Beberapa material seperti sampah yang sangat basah atau limbah tanah sulit dibakar dalam *incinerator*
2. Kesulitan untuk melakukan kontrol terhadap logam (*inorganic material*) dalam proses pembakaran seperti sampah yang mengandung logam berat (timah, kromium, merkuri, nikel, arsenik, dan lain-lain)
3. *Incinerator* memerlukan biaya investasi awal yang sangat mahal

4. Memerlukan tenaga operator yang terdidik
5. Memerlukan suplemen bahan bakar untuk pembakaran dan untuk menjaga temperatur pembakaran.

Disamping hal tersebut kelemahan yang lain dalam sistem ini adalah pembakaran terhadap *polyethylene*, *polypropylane* dan *polystyrene* akan menghasilkan gas karbondioksida, sedangkan pembakaran dari *polyvinyl chloride* akan menghasilkan gas yg beracun, *hidrogin chloride* (HCl), dimana gas-gas tersebut juga dapat dihasilkan pada pembakaran sampah domestik seperti kertas, kayu, rumput dan lain sebagainya, dan apabila gas tersebut tercampur dengan uap air, akan menghasilkan materi yang sangat korosif yaitu *chloride acid*. Efektifitas dari *incinerator* bergantung pada kontrol temperatur, waktu, gas oksigen, turbulensi pembakaran dan distribusi dari gas. Pada temperatur rendah, *incinerator* akan menghasilkan gas karbonmonoksida yang sangat berpotensi mencemari udara. Proses pembakaran senyawa yang mengandung unsur khlor dan karbon pada tempertatur 200 - 800 °C akan menghasilkan gas dioxin.

Proses pengolahan sampah di *incinerator* menimbulkan gas CO₂ akibat dari proses pembakaran zat organik, sebagaimana reaksi berikut :



Menurut penelitian yang dilakukan oleh Jhonke (2004), setiap pembakaran satu ton sampah perkotaan akan menghasilkan 0,7 - 1,2 ton gas karbon dioksida (CO₂), dengan mempergunakan hasil penelitian tersebut dapatlah dihitung emisi gas CO₂ yang ditimbulkan dalam pemanfaatan teknologi *incinerator*, sebagaimana tabel 8.

Tabel 8 Emisi GRK Sistem Pengolahan *WTE Incinerator*

Emisi WTE Ton/th	Kapasitas Ton/hari			
	500	1.000	2.000	3.000
Transportasi	542	1.084	2.168	3.252
Pengolahan	216.000	432.000	864.000	1.296.000
Total	216.542	433.084	866.168	1.299.252

Sumber : Perhitungan

- Emisi Gas Rumah Kaca Sistem Pengolahan Sampah *High Rate Composting (HRC)*

Kompos adalah bentuk akhir dari bahan-bahan organik setelah mengalami pembusukan. Sebagai suatu proses biologis, dekomposisi dapat berlangsung baik secara aerobik maupun anaerobik. Proses pengomposan tergantung pada berbagai kondisi habitatnya terutama suhu, jasad-jasad renik yang terdiri dari dua golongan yaitu Mesofilia yang hidup dalam suhu antara 10-45°C dan Termofilia, yang hidup pada suhu antara 45-

65°C. Dalam proses degradasi zat organik oleh jasad renik terjadi reaksi pembakaran unsur karbon (C) dan oksigen (O₂) menjadi panas (kalor) dan karbon dioksida (CO₂). Karbon dioksida ini kemudian dilepas sebagai gas, sedangkan unsur N yang terurai akan ditangkap oleh jasad renik, yang ketika jasad renik ini mati unsur N ini akan tetap tinggal dalam kompos dan menjadi sumber nutrisi bagi tanaman. Proses penguraian zat organik bergantung pada berbagi faktor antara lain : Rasio antara karbon dengan nitrogen (rasio C/N), derajat keasaman (PH) antara 6 - 8, homogenitas campuran, dan ukuran bahan. Proses pengomposan akan berjalan lebih cepat jika sampah yang diolah memiliki ukuran yang lebih kecil. Kelembaban dan aerasi, keberadaan oksigen dan air sangat diperlukan untuk mikroorganisme dalam melakukan dekomposisi zat organik, temperatur optimal yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mendekomposisi bahan organik berkisar antara 35 - 55° C.

Proses pengolahan sampah dengan teknologi *High Rate Composting* juga menimbulkan Gas CO₂, akibat dari proses degradasi zat organik secara aerobik. Proses yang terjadi dalam HRC dapat dikatakan identik dengan proses pada SLF, hanya saja proses dekomposisi zat organik dalam proses HRC berlangsung dalam kondisi aerobik yang terkontrol dan dalam waktu yang relatif singkat ± 2 minggu, oleh karenanya perhitungan timbulan gas CO₂ dapat dihitung dengan mempergunakan pendekatan formula sebagaimana yang dikemukakan oleh Rottenberger dan Tabasaran (2000) yaitu : $Ge = 1,868 Co (0,014 T + 0,28)$, dengan Ge = volume gas yang terbentuk (m³), Co = karbon organik (kg/ton) sampah, (tipikal 200 kg/ton), dan T = temperatur dalam °C, (tipikal 50 °C untuk kondisi HRC). Hasil perhitungan emisi gas CO₂ pada proses HRC dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9 Emisi GRK Proses HRC

Emisi HRC Ton/th	Kapasitas Ton/hari			
	500	1.000	2.000	3.000
Transportasi	964	1.927	3.854	5.782
Pengolahan HRC	310.426	620.853	1.241.705	1.862.558
Total	311.390	622.780	1.245.559	1.868.340

- Emisi Sistem Pengolahan Sampah Teknologi Terintegrasi

Pengolahan sampah dengan mempergunakan teknologi secara terintegrasi antara *HRC*, *WTE Incinerator* dan *SLF* sebagaimana pada gambar 4, memberikan keuntungan baik dalam aspek keuangan, ekonomi, sosial dan lingkungan. Dalam aspek lingkungan emisi yang ditimbulkan dari pemanfaatan integrasi teknologi akan memberikan dampak yang jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan pemanfaatan teknologi pengolahan sampah

secara parsial, baik sampah dengan kondisi yang terpisahkan ataupun yang tidak terpisahkan antara sampah organik dan anorganik. Pemisahan sampah organik dan anorganik di sumber timbulan sampah memberikan dampak yang jauh lebih baik dalam berbagai aspek. Pemilahan sampah di sumbernya akan meningkatkan efisiensi pada pengolahan sampah, yang diakibatkan karena beberapa faktor antara lain :

- a. Naiknya produksi kompos hingga 80%, dan menurunkan biaya *transport reject material* hingga 80 %.
- b. Naiknya kandungan kalori dari 2.146 kka/kg menjadi 3.044 kkal/kg, yang dapat menaikkan produksi listrik di unit *WTE Incinerator* rata-rata sebesar 42%, dan menaikkan pendapatan dari penjualan listrik yang dihasilkan WTE hingga 42%, sebagaimana pada tabel 13.
- c. Menurunkan emisi GRK, hingga 50%, sebagaimana tabel 14.

Tabel 13 Produksi Listrik pada Unit WTE

Kapasitas WTE insinerator ton/hari	Produksi Listrik Mw dengan kondisi sampah		
	Tercampur 2.146 kkal/kg	Terpilah 3.044 kkal/kg	kenaikan %
500	9,4	13,3	41
1000	19	26,6	40
2000	37	53,1	44
3000	56	79,6	42
		Jumlah	167
		Rata-rata	42

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 14 Emisi GRK pada Penerapan Teknologi Pengolahan Sampah

Emisi Ton/th	Kapasitas ton/tahun			
	500	1,000	2,000	3,000
HRC	125,824	251,648	503,297	754,945
WTE	216,530	433,060	866,120	1,299,180
SLF	526,312	1,052,623	2,105,246	3,157,870
Integrasi Teknologi Sampah tercampur	159,422	315,950	631,901	947,851
Integrasi Teknologi Sampah terpilah	134,173	265,478	530,956	796,434

Sumber : Hasil Penelitian

Analisis Sensitivitas (*Sensitivity Analysis*)

Analisis sensitivitas dilakukan untuk melihat parameter yang paling sensitif terhadap nilai *Net Present Value (NPV)*. Salah satu alasan dilakukannya uji sensitivitas ini adalah adanya ketidakpastian, dalam melakukan prediksi kondisi fisik yang terjadi di masa yang akan datang. Analisis sensitivitas dilakukan dengan melakukan perubahan terhadap kemungkinan-kemungkinan yang akan terjadi dalam pengolahan sampah antara lain : adanya kebijakan pemerintah untuk menaikkan harga beli listrik dari energi terbarukan, termasuk di dalamnya WTE, dalam perhitungan dilakukan jika harga listrik naik menjadi Rp. 700,-/kwh, dan jika lokasi SLF untuk sisa pembakaran mempergunakan lokasi SLF yang ada, dengan jarak 45 km.

Hasil yang didapat terhadap perubahan harga listrik dari Rp. 300,-/kwh menjadi Rp. 700,-/kwh secara individual terlihat bahwa teknologi *WTE Incinerator* menjadi pilihan termurah dalam pengolahan sampah, dan semakin besar kapasitas pengolahan sampah akan semakin efisien, karena produksi listrik yang dihasilkan menjadi semakin besar.

Analisis sensitivitas terhadap perubahan jarak pembuangan sisa pembakaran ke SLF dengan jarak 45 km menunjukkan bahwa, dengan harga listrik Rp. 300,-/kwh dan dengan kenaikan ongkos transportasi sisa pembakaran, secara individu

WTE masih merupakan pilihan teknologi yang *cost efisien*, jika dibandingkan dengan SLF dan HRC. Kondisi ini diuntungkan dengan sisa pembakaran yang hanya sebesar 5% dari jumlah sampah yang masuk ke unit WTE, sedangkan HRC menyisakan 10% *reject material* untuk sampah yang telah dipisahkan antara sampah organik dan anorganik, dan SLF merupakan teknologi termahal dengan jarak angkut sampah mencapai 45 km, dari sumber timbulan sampah.

IMPLIKASI KEBIJAKAN

Sampah selama ini masih dianggap masalah yang *trivial* dan belum menjadi sentra kebijakan pemerintah yang serius. Padahal tanpa penanganan sampah yang baik kehidupan sosial ekonomi masyarakat perkotaan akan merasakan dampak negatif yang cukup besar seperti kesehatan dan lingkungan serta konflik spasial menyangkut konflik atas lahan dan wilayah lainnya. Oleh karena itu sudah saatnya kebijakan sampah ini ditangani dengan serius. Pemerintah sebenarnya sudah memiliki UU No. 18 tahun 2008 mengenai pengelolaan sampah dan kini memiliki UU No. 32 tahun 2009 mengenai pengelolaan lingkungan hidup. Kedua UU tersebut memiliki semangat yang sama untuk mengelola sampah dengan lebih baik. Namun demikian diperlukan sinergi terhadap peraturan perundangan yang ada serta perlunya reformasi institusi terhadap

pengelolaan sampah saat ini. Implementasi terhadap peraturan perundangan tersebut memerlukan kebijakan operasional tatanan di bawahnya, yang didukung dengan kajian yang komprehensif dalam aspek teknis, sosial, ekonomi, keuangan, dan lingkungan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diberikan dalam penelitian ini antara lain :

1. Analisis ketersediaan dan kesesuaian lahan sebagai tempat pengolahan sampah, menunjukkan bahwa pada saat ini dengan sisa ruang terbuka hijau sebesar 1,4% dan tingkat kepadatan penduduk rata-rata 137 jiwa/ha, DKI mengalami kesulitan dalam menyediakan lahan sebagai tempat pemrosesan sampah di dalam wilayahnya.
2. Hasil analisis regresi yang dilakukan menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi berpengaruh nyata pada timbulan dan karakteristik sampah. Peningkatan kesejahteraan akan meningkatkan kandungan sampah anorganik, dan menurunkan kandungan sampah organik. Peningkatan sampah anorganik akan meningkatkan kandungan kalori yang lebih menguntungkan jika pengolahan sampah dilakukan dengan *incinerator waste to energy (WTE)*. Pengolahan sampah dengan *incinerator WTE*, memberikan pemahaman pada masyarakat bahwa sampah bukanlah barang yang tidak bermanfaat, namun dapat menjadi sumber energi alternatif untuk listrik. Produksi listrik dari *WTE Incinerator* sangat dipengaruhi oleh *input* kandungan kalori sampah, semakin tinggi kandungan kalori sampah semakin tinggi pula produksi listrik yang dihasilkan, dengan kandungan kalori sampah DKI yang tercampur sebesar 2.146 kkal/kg untuk 500 ton/hari masukan sampah akan dihasilkan listrik sebesar 9,4 Mw dan dengan melakukan pemilahan sampah di sumber timbulan sampah antara sampah organik dan anorganik, serta melakukan pengolahan sampah yang terintegrasi antara WTE dengan *composting*, maka akan didapat peningkatan kandungan kalori sebesar 3.044 kkal/kg yang dapat meningkatkan produksi listrik untuk sampah dengan 500 ton/hari sebesar 13,3 Mw, dengan efisiensi produksi listrik di ketel uap sebesar 18%.
3. Pengolahan sampah dengan *WTE Incinerator*, memerlukan investasi awal (*initial investment*) yang jauh lebih mahal jika dibandingkan dengan pengolahan sampah dengan sistem *Sanitary Landfill* ataupun *High Rate Composting*, namun demikian *incinerator* memiliki keunggulan dalam kecepatan mengolah sampah, kebutuhan lahan yang jauh lebih kecil, yang memungkinkan untuk ditempatkan di dalam wilayah DKI, disamping itu proses pembakaran sampah dengan temperatur tinggi, dapat mengolah sampah-sampah berbahaya dan beracun (B3), yang berasal dari limbah medis rumah sakit, rumah tangga ataupun industri, yang selama ini masih dibuang langsung ke TPA Bantargebang. Dari hasil analisis *CBA* diketahui bahwa walaupun *initial investment* WTE terlihat lebih mahal namun dalam jangka panjang (25 tahun) merupakan pilihan yang paling *cost effective*. Untuk kapasitas pengolahan 500 ton/hari, dalam jangka waktu 25 tahun, sistem pengolahan sampah dengan WTE memerlukan biaya/ton sebesar Rp. 346.610,- sedangkan SLF memerlukan biaya sebesar Rp. 419.200,- sedangkan *composting* memerlukan biaya Rp. 294.940,-. Biaya pengolahan ini akan semakin murah dengan melakukan kombinasi pengolahan sampah antara pengolahan *composting*, WTE dan SLF secara terintegrasi, untuk kapasitas 500 ton/hari, memerlukan biaya sebesar Rp. 289.520,- yang lebih *cost effisien* jika dibandingkan dengan pengolahan sampah dengan sistem pengolahan individual baik dengan menggunakan *High Rate Composting*, WTE, maupun SLF.
4. Dari hasil perhitungan didapat bahwa variabel yang memiliki pengaruh yang sangat kuat terhadap besaran biaya sistem pengolahan sampah adalah biaya angkutan sampah, semakin jauh lokasi unit pengolahan sampah semakin mahal biaya pengolahan per ton nya, dari hasil perhitungan yang dilakukan NPV biaya pengangkutan sampah ke *sanitary landfill* yang berjarak 45 km mengakibatkan naiknya biaya total pengolahan sampah di sistem *sanitary landfill*, sehingga dalam jangka panjang (25 tahun), biaya sistem pengolahan per ton, untuk sistem *sanitary landfill* lebih mahal dari sistem pengolahan sampah dengan *incinerator WTE* yang ditempatkan di bagian wilayah DKI.
5. Dalam konteks lingkungan, pengolahan sampah dengan sistem *sanitary landfill*, yang ditempatkan jauh di luar wilayah pelayanan (timbulan sampah), menimbulkan gas rumah kaca CO₂ dan CH₄ yang jauh lebih besar, jika dibandingkan dengan sistem pengolahan sampah *Composting Bio Fertilizer* ataupun *Incinerator WTE*
6. Pertumbuhan ekonomi dan penduduk akan menaikkan jumlah timbulan sampah, maka disamping implementasi terhadap kebijakan 3R (*Reduce, Reuse, Recycling*), juga diperlukan

analisis yang komprehensif untuk memilih teknologi pengolahan sampah yang *Cost Efficient*.

7. Rencana dan pengendalian peruntukan ruang memegang peranan penting dalam pengelolaan sampah perkotaan. Penggunaan dan perubahan peruntukkan lahan yang tidak terkendali, mengakibatkan sulitnya mencari tempat yang sesuai untuk menempatkan unit pengolahan sampah. Dengan kondisi yang demikian maka *WTE Incinerator* yang ditempatkan di dalam wilayah administratif sedekat mungkin dengan sumber timbulan sampah, merupakan alternatif pilihan pengolahan sampah yang paling *cost efficient*, jika dibandingkan pengolahan dengan sistem *sanitary landfill* yang ditempatkan jauh dari sumber timbulan sampah (45 km). Tingginya biaya sistem SLF diakibatkan karena mahalnya biaya angkutan sampah menuju unit pengolahan *sanitary landfill* yaitu Rp. 6.000,-/ton/km.
 8. Pengangkutan sampah ke lokasi *sanitary landfill*, memberikan andil yang signifikan dalam pencemaran lingkungan, penggunaan kendaraan angkut berbahan bakar solar akan mengeluarkan emisi gas CO₂, sebesar 2,64 kg/liter konsumsi solar, dengan jarak 45 km maka akan dikeluarkan emisi sebesar 2.168 ton/tahun untuk 500 ton sampah/hari, dan sebanyak 13.009 ton/th untuk timbulan sampah sebesar 3.000 ton/hari.
 9. Pengolahan sampah dengan teknologi *WTE* ataupun *HRC* yang tertutup lebih dapat diterima oleh masyarakat yang berdekatan, jika dibandingkan dengan teknologi *SLF* yang terbuka, mengingat frekuensi angkutan sampah yang melalui wilayah permukiman, gangguan timbulnya bau yang tidak dapat dihindarkan, serta kebisingan yang terjadi akibat operasi alat berat. Disamping itu pengolahan sampah dengan *sanitary landfill* akan menghasilkan *leacheate* (air lindi), yang berpotensi mencemari air tanah yang sangat mengkhawatirkan penduduk yang menggunakan air tanah sebagai sumber air minumannya, mengingat penduduk kota Jakarta hingga saat ini hanya 50% saja yang mendapatkan pelayanan air minumannya melalui sistem perpipaan dari Perusahaan Air Minum Jaya yang dioperasikan oleh swasta (Aetra dan Palija).
 10. Pengolahan sampah dengan teknologi *Incinerator*, akan lebih efisien untuk skala pengolahan dengan kapasitas yang lebih besar dari 500 ton/hari. Titik optimal didapat untuk skala pengolahan dengan kapasitas 3000 ton/hari, yang didukung dengan pemilahan sampah antara sampah organik dan anorganik, dan untuk sampah organik dilakukan pengolahan dengan sistem *High Rate Composting (HRC)*.
 11. Untuk menurunkan biaya pengangkutan sampah ke unit pengolahan *WTE* dan *HRC*, selayaknya unit pengolahan sampah tersebut ditempatkan di bagian-bagian wilayah DKI, untuk meminimalkan biaya angkut, baik sampah yang akan diolah maupun transportasi produk olahan seperti abu yang dihasilkan dari proses *WTE*. Dalam perhitungan dapat diketahui bahwa semakin besar skala pengolahan sampah yang dilakukan, akan semakin murah biaya sistem pengolahan per tonnya.
 12. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa adanya kebijakan pemerintah untuk membeli produksi listrik dengan energi yang dihasilkan dari limbah (sampah) dengan harga yang tinggi, akan menaikkan tingkat kelayakan pengolahan sampah dengan mempergunakan teknologi *WTE Incinerator*, yang memungkinkan untuk sektor swasta berperan serta terhadap penyediaan unit pengolahan sampah dengan teknologi *WTE Incinerator*.
 13. Untuk mendorong keterlibatan sektor swasta dalam pengolahan sampah dengan teknologi *WTE Incinerator*, diperlukan dukungan pemerintah (*government support*) dengan menyediakan pendanaan investasi dengan bunga rendah (BI rate), mengingat *initial investment* yang tinggi dari aplikasi teknologi *WTE Incinerator*.
- Saran yang dapat diberikan adalah :
1. Dengan kecenderungan volume sampah yang terus akan meningkat, maka kebijakan yang perlu didorong adalah melalui *waste reduction policy* yang melibatkan seluruh lapisan masyarakat (industri, rumah tangga dan pemerintah).
 2. *Policy* yang mendorong 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) harus terus didorong melalui penggunaan *economic incentives* sebagaimana diamanatkan oleh UU No. 32 tahun 2009.
 3. Kebijakan dalam pengelolaan sampah melalui pilihan teknologi harus dilihat secara komprehensif tidak hanya melihat dari *initial investment* semata.
 4. Penelitian lebih lanjut diusulkan pada aspek pengendalian lingkungan yang saat ini sulit diukur dalam *CBA* seperti emisi gas CO₂ dan metan CH₄ dan gas gas lainnya.
 5. Pemilahan sampah sejak dari sumber timbulan sampah merupakan faktor penentu dalam pengolahan sampah, yang harus segera diberlakukan di wilayah perkotaan.

6. Rencana detail tata ruang perkotaan harus memasukkan ruang untuk unit pengolahan sampah, dengan memperhatikan luasan kebutuhan lahan, yang memenuhi kelayakan lingkungan, teknis, dan sosial.

DAFTAR PUSTAKA

- Asian Development Bank. 1998. Towards a National Environmental Sanitation Program for Indonesia, Volume 1, Main Text, Jakarta.
- Badan Pusat Statistik Propinsi DKI Jakarta, 1998. Jakarta Dalam Angka.
- Bank Dunia, 2004. Kondisi Infrastruktur di Indonesia, Majalah Insinyur Indonesia, edisi Juni 2004, Jakarta.
- Barton. 1994. *Toward Environmental Strategies for Cities*, The World Bank, Washington, D.C.
- Brunner, Calvin. 1994. *Hazardous Waste Incineration*, McGraw-Hill International Edition, New York
- Dinas Kebersihan Propinsi DKI Jakarta. 2005. Western Java Environmental Management Project, Solid Waste Management for Jakarta.
- Direktorat Jenderal Cipta Karya. 1997. Jakarta Solid Waste Management, Jakarta.
- European Commission, DG. Environment. 2000, A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste, Final Main Report. 5 -33.
- Field, C B, Field K M. 2002. *Environmental Economics*, an Introduction, Mc Graw-Hill, Irwin.
- Gujarati, Damodar. 1978. *Basic Econometrics*, McGraw-Hill, Inc, New York.
- Gomes. Nascimento. Rodrigues. 2007. Development of Local Carbon Dioxide Emission Inventory Based on Energy Demand and Waste Production, Technical Paper, Air and Waste Management Association.
- Hanley. Spash. 1995. *Cost Benefit Analysis and the Environment*, Department of Economics University of Stirling, Scotland.
- Hara, T., H. Shima., Y. Yoshida and R. Matsuhashi. 2005. Model Analysis of an Inter-Industrial and Inter-Regional Waste Recycling System in Japan, Journal of Energy.
- Horenwig dan Thomas. 1999. *What a Waste, Solid Waste Management*.
- Ioksha. 2000. Estimation of Landfill Gas Emission from Landfill of the Central Asia. Saint-Petersburg State Polytechnic University, Russian Federation.
- Johnke, Bernt. 2004. Emissions from Waste Incineration, IPCC/OECD/IEA.
- Joseph, Benny. 2005. *Environmental Studies*, The McGraw-Hill, New Delhi
- Nurroh. 2010. *Isu Pemanasan Global untuk Memperkuat Posisi Tawar*, IPB Bogor.
- Pemerintah Daerah Khusus Ibukota Jakarta. 1987. Rencana Umum Tata Ruang Daerah DKI Jakarta Tahun 2005.
- Pemerintah Daerah Khusus Ibukota Jakarta. 1999. Rencana Tata Ruang Wilayah, Daerah DKI Jakarta Tahun-2015.
- Petrick P.K. 1984. Managing Solid Waste in Developing Countries, Metropolitan Waste Management Planning in Developing Countries.
- Ritzkowski. Stegmann. 2007. *Controlling Greenhouse Gas Emissions through Landfill in Situ Aeration*. Institute of Waste Resources Management, Hamburg University of Technology, Hamburg, Germany.
- Tchobanoglous., Theisen., Vigil. 1993. *Integrated Solid Waste Management*, Mc Graw Hill International Editions. New York.