

## Perancangan Sistem Pemilahan, Pengeringan dan Pembakaran Sampah Organik Rumah Tangga

Eko Naryono<sup>1,2\*</sup> dan Soemarno<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kajian Lingkungan dan Pembangunan, Program Pascasarjana, Universitas Brawijaya

<sup>2</sup>Laboratorium Termodinamika, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

<sup>3</sup>Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang

### Abstrak

Perancangan sistem pemilahan, pengeringan dan pembakaran sampah organik rumah-tangga yang tepat dapat mengurangi ipencemaran lingkungan. Pemilahan sampah bertujuan memisahkan jenis sampah yang berpotensi menghasilkan emisi gas buang dan abu sisa pembakaran yang berpotensi mencemari lingkungan, seperti logam, plastik, baterai, kertas, bahan cat, ban bekas. Pengeringan sampah bertujuan untuk mengurangi volume sampah, menstabilkan, dan meningkatkan nilai-panas sampah. Variabel yang berpengaruh terhadap emisi gas buang hasil pembakaran sampah antara lain jenis sampah, nilai-panas sampah dan kelebihan udara untuk pembakaran. Tulisan ini menyajikan paparan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan dampak pemilahan sampah, pengeringan sampah, dan pembakaran sampah terhadap emisi gas buang. Hasil-hasil penelitian ini dijadikan sebagai dasar acuan dalam perancangan sistem.

**Kata kunci :** Pemilahan, Pengeringan, Pembakaran, Sampah organik, Emisi

### Abstract

*System design of the sorting, drying and burning of household organic wastes appropriately can reduce environmental pollutions. Wastes separation aims to separate the types of wastes that could potentially result in exhaust emissions and ash residue that could potentially pollute the environment, such as metals, plastics, batteries, paper, paint materials, used tires. Wastes drying aim to reduce the volume of wastes, stabilize, and increase the heat-value of wastes. Variables that affect the exhaust emissions of wastes combustion are types of waste, heat-value of wastes and excess air for combustion. This paper presents the results of studies related to the impact of wastes sorting, wastes drying, and wastes incineration on the exhaust emissions. The results of these previous studies serve as a basic reference in designing the system.*

**Keywords :** *sorting, drying, burning, organic waste, emission*

---

### PENDAHULUAN

Pengolahan sampah dengan cara pembakaran merupakan salah satu alternatif pemilihan metode pengelolaan sampah padat rumah tangga. Dasar argumentasi yang digunakan untuk memilih sistem ini adalah ketersediaan lahan tempat pembuangan akhir sampah yang semakin terbatas dan pemanfaatan sampah rumah tangga sebagai bahan energi alternatif terbarukan. Sistem ini mempunyai keunggulan yaitu mampu mengurangi volume sampah yang besar (90%) dengan waktu yang relatif singkat, dapat mendetoksifikasi bahan pathogen hampir 100% [1]. Keunggulan yang lain adalah panas hasil pembakaran dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi (WTE). Kekurangan sistem ini adalah dampak emisi gas buang dan sisa

pembakaran yang dianggap sebagai bahan buangan berbahaya (B3).

Pembakaran sampah rumah tangga menghasilkan gas buang yang mempunyai kontribusi terhadap terbentuknya gas rumah kaca yang disebabkan karena emisi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan N<sub>2</sub>O yang terlepas ke atmosfer. Selain itu polutan lain dapat terbentuk pada proses pembakaran antara lain logam berat, abu terbang, abu sisa pembakaran, dioksin dan furan, HCl, HF, SO<sub>2</sub> dan CxHy. Produk hasil pembakaran yang berpotensi mencemari lingkungan perlu dikontrol sampai mencapai ambang batas yang diperbolehkan.

Beragam teknik telah dikembangkan untuk mengontrol emisi gas buang dan abu sisa pembakaran. Pengembangan teknik ini meliputi perlakuan bahan baku sampah, perancangan dan sistem pengoperasian peralatan pembakaran, pengolahan gas buang dan abu sisa pembakaran. Beberapa penelitian terdahulu yang berhubungan dengan teknik ini antara lain:

---

\* AlamatKorespondensi

EkoNaryono

Email : eko\_naryono@yahoo.com

Alamat : Jl. Bantaran Barat I/30 Malang, 65141

teknik pemilahan sampah menjadi beberapa jenis sebelum diolah dengan metode berbeda [2], rekayasa sistem peralatan yang terintegrasi dalam satu peralatan yaitu pembakaran, gasifikasi, pirolisa dan pengering [3], teknik pembakaran bersama (*co-combustion*) sampah dengan kandungan air tinggi dan batubara kualitas rendah [4], pemanfaatan abu terbang sisa pembakaran untuk campuran batu bata [5].

Semua penelitian di atas sebagai upaya untuk memperoleh sistem pengolahan sampah yang efisien dan mempunyai dampak pencemaran yang rendah terhadap lingkungan. Hasil penelitian tersebut diharapkan dapat digunakan sebagai dasar untuk merancang sistem pengelolaan sampah dengan sistem pembakaran. Selain permasalahan teknis beberapa variabel lain yang perlu diperhatikan pada perancangan sistem pengolahan sampah adalah budaya masyarakat dalam mengelola sampah, peraturan pemerintah pusat maupun daerah tentang pengelolaan sampah dan standart tertentu yang berhubungan dengan dampak pencemaran yang dihasilkan sistem pengolahan sampah.

Hasil-hasil para peneliti terdahulu dapat digunakan sebagai dasar perancangan sistem pemilahan, pengeringan dan pembakaran sampah organik rumah tangga; dan peraturan menteri tentang pengelolaan persampahan sebagai acuan agar sistem yang direncanakan tidak bertentangan dengan peraturan yang ada. Sistematika paparan dibagi menjadi beberapa bagian sebagai berikut: (2) sistem pengelolaan sampah rumah tangga di kota Malang, (3) peraturan pemerintah tentang persampahan, (4) *review* penelitian terdahulu tentang perlakuan sampah sebelum dibakar, (5) rancangan sistem yang direncanakan.

#### **PENGELOLAAN SAMPAH RUMAH TANGGA KOTA MALANG**

Pengelolaan sampah rumah tangga dilakukan dengan cara dikumpulkan sementara pada tempat pembuangan sementara sebelum dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) di Supit Urang. Pada tempat pembuangan sementara dilakukan pemisahan antara sampah organik dan anorganik guna mengurangi volume sampah yang dibuang di TPA. Berdasarkan data dari Dinas Kebersihan dan Pertamanan (DKP) kota Malang volume rata-rata sampah tiap bulan bervariasi pada rentang 21000 m<sup>3</sup> sampai 28000m<sup>3</sup> dengan rincian sampah rumah tangga 19000 m<sup>3</sup> hingga 25000 m<sup>3</sup>, sampah pasar 2000 m<sup>3</sup> hingga 3000 m<sup>3</sup> sedangkan sampah industri

dan pertamanan volumenya relatif kecil. Pengelolaan sebgaiian besar menggunakan sistem ditimbun pada lahan terbuka hanya sebgaiian kecil yang didaur ulang untuk kompos dan dimanfaatkan kembali.

Komposisi sampah padat kota Malang hampir 75% merupakan sampah dapur. Apabila sampah ini ditimbun pada lahan terbuka berpotensi menghasilkan gas hasil proses dekomposisi yaitu CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> dan bahan volatil seperti ethyl benzen, toluen dan styrene. Pada pembuangan sistem terbuka bahan volatil ini sulit dikontrol sehingga berpotensi mencemari udara. Selain gas juga dihasilkan limbah cair hasil dari timbunan sampah yang disebut lindi. Bahan ini berpotensi mencemari tanah dan apabila meresap ke dalam dapat mencemari air tanah. Hasil samping lain timbunan sampah berupa residu padat dengan prosentase sebesar 40% massa awal. Bahan ini dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik (kompos), apabila dibakar menghasilkan energi yang dapat dimanfaatkan.

Proses dekomposisi sampah di TPA Supit Urang berlangsung aerobik dan anaerobik. Gas yang terbentuk selama proses dibiarkan terlepas di udara demikian juga lindi yang terbentuk meresap ke tanah. Hal ini disebabkan karena belum tersedianya fasilitas untuk mengalirkan dan penampungan kedua jenis hasil samping proses tersebut. Fasilitas ini diperlukan untuk memudahkan mengontrol aliran gas dan cair agar tidak mencemari lingkungan. Residu padat sisa hasil dekomposisi belum banyak dimanfaatkan sehingga pada jangka panjang akan menumpuk dan membutuhkan lahan penampungan.

Sebagiian besar pengolahan sampah di Malang menggunakan sistem penumpukan sampah secara terbuka (*open dumping*). Pengolahan sistem komposting baru menyerap sekitar 2% volume sampah sedangkan insinerator belum diterapkan karena adanya persepsi bahwa proses ini berpotensi menghasilkan polutan yang mencemari udara. Pemilihan sistem pengelolaan sampah harus mengikuti peraturan menteri (permen) PU No: 21/PRT/M/2006 tentang kebijakan dan strategi nasional pengembangan sistem pengelolaan persampahan. Pada permen tersebut strategi pendekatan yang digunakan adalah konsep 3R (*reduce, reuse, recycle*).

Penerapan insinerator untuk mengolah sampah dimungkinkan hal ini didukung kebijakan 3 strategi 7 pada permen PU No: 21 (2006) yaitu perlunya penelitian dan pengembangan pengolahan sampah yang salah satunya penerapan konsep *waste to energy* [6]. Sistem pengelolaan sampah dengan cara pembakaran

tidak bertentangan dengan peraturan yang berlaku. Permasalahan yang perlu dipikirkan pada penerapan skala besar adalah biaya investasi dan pengoperasian, ketersediaan peralatan, ketersediaan sumber daya manusia pengelola, emisi polutan udara dan *fly ash* dan *bottom ash* [7].

#### PERATURAN PEMERINTAH TENTANG PENGELOLAAN PERSAMPAHAN

Perancangan sistem pengelolaan sampah rumah tangga harus mengacu pada peraturan pemerintah pusat maupun daerah. Pedoman pengelolaan sampah di Indonesia mengacu pada permen PU No: 21/PRT/M/2006 tentang kebijakan dan strategi nasional pengembangan sistem pengelolaan persampahan dan teknis tata kelola mengikuti Standar Nasional Indonesia (SNI) 3242:2008 tentang pengelolaan sampah di pemukiman. Permen PU ini dimaksudkan sebagai pedoman dalam penyusunan kebijakan teknis, perencanaan, pemrograman dan kegiatan lain yang terkait dengan pengelolaan persampahan baik di lingkungan departemen, lembaga pemerintah non departemen, pemerintah daerah, masyarakat dan dunia usaha. Tujuan yang dicapai adalah mendukung pencapaian sasaran pembangunan persampahan melalui rencana, program dan pelaksanaan kegiatan yang terpadu efektif dan efisien. SNI 3242:2008 digunakan sebagai acuan teknis pengelolaan sampah, operasional pengelolaan sampah dan perencanaan lingkungan perumahan.

Secara garis besar kebijakan pengelolaan persampahan menggunakan pendekatan 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) yaitu penanganan sampah bisa dilakukan dengan dikurangi, digunakan kembali, dan atau didaur ulang. Sistem ini sudah banyak diterapkan pada negara negara maju dan berhasil meningkatkan efisiensi pengelolaan secara signifikan. Dengan cara mengurangi sampah sejak di sumbernya maka beban pengelolaan kota dapat dikurangi, beban pencemaran dapat dikurangi dan sasaran jangka panjang dapat ikut menjaga kelestarian alam dan lingkungan.

Kebijakan yang dibuat untuk mencapai isasaran tersebut, antara lain (1) pengurangan sampah semaksimal mungkin dari sumbernya (2) peningkatan aktif masyarakat dan dunia usaha/swasta sebagai mitra pengelolaan dan (3) Peningkatan cakupan pelayanan dan kualitas sistem pengelolaan. Operasionalisasi kebijakan tersebut didukung oleh berbagai strategi. Berikut

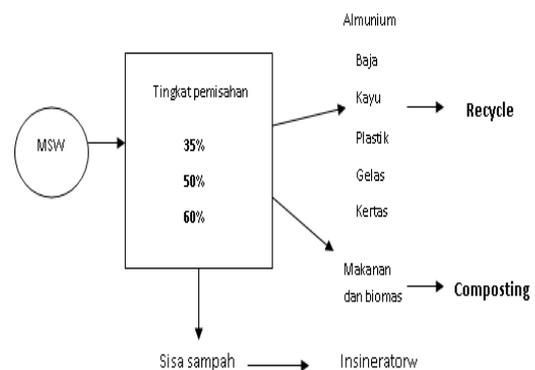
ini diberikan kutipan salah satu strategi untuk mendukung operasional kebijakan 3, yaitu strategi 7 sebagai dasar justifikasi penerapan pengelolaan sampah dengan cara pembakaran.

Strategi 7 berisi tentang perlunya penelitian, pengembangan, dan aplikasi teknologi penanganan persampahan tepat guna dan berwawasan lingkungan. Strategi ini diperlukan untuk memperoleh teknologi yang paling sesuai dengan kondisi sampah Indonesia. Aktivitas yang dapat mendukung pelaksanaan strategi ini antara lain, penyusunan pedoman teknologi pengelolaan sampah ramah lingkungan, penyusunan pedoman pemanfaatan gas di TPA, pedoman penyusunan *waste-to-energy* dan penelitian serta uji coba *waste-to-energy* untuk kota besar/metro.

#### REVIEW HASIL PENELITIAN TERDAHULU

Hasil-hasil penelitian yang dipilih untuk direview adalah yang memaparkan tentang pengaruh pemilahan, pengeringan dan pembakaran terhadap dampak emisi gas buang.

#### Pengaruh Tingkat Pemilahan Sistem Pengelolaan Sampah terhadap lingkungan



Gambar 1. Diagram pemilahan sampah [8]

Rigamonti dkk. melakukan penelitian untuk evaluasi pengaruh tingkat pemisahan sampah padat kota (MSW) yang dapat digunakan untuk *recycle* energi terhadap potensi pencemaran lingkungan. Metode penelitian dilakukan dengan cara membandingkan tiga macam tingkat pemisahan, yaitu 35%, 50% dan 60%. Tingkat pemisahan 35% mempunyai pengertian bahwa 35% dari sampah yang terkumpul dibakar pada insinerator dimanfaatkan sebagai sumber energi, sisanya yang 65% diproses dengan metode lain. Pengertian ini juga berlaku pada tingkat pemisahan 50% dan 60%. Diagram proses pemilahan dapat dilihat pada Gambar 1 [8].

Masing masing tingkat pemilahan ini kemudian dilakukan pengujian tingkat pencemaran terhadap lingkungan menggunakan metode *life cycle assesstment* LCA). Komposisi sampah yang diuji (dalam satuan kilogram setiap ton sampah) dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi sampah

Fraksi	Skenario	Skenario
	35% (kg/ton)	50% (kg/ton)
Kertas	103	191
Kayu	14	16
Plastik	29	44
Gelas dan Bahan Inert	41	41
Logam tanpa Al	8	13
Aluminium	1	1
Sisamakanan	69	115
Sampah hijau	52	52
Lainnya	31	31
Total terkumpul	348	503
Total limbah residu	552	497

Sumber : Rigamonti, dkk [8].

Berdasarkan hasil penelitian dapat diperoleh gambaran tingkat pencemaran terhadap lingkungan yang dinyatakan dengan parameter *global warming, acidification, human toxicity dan photo chemical ozone creation*. Data hasil analisa keempat parameter dapat dilihat pada Tabel 2.

Masing masing parameter merupakan indikator dampak terhadap lingkungan dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Global warming potential* (GWP), menunjukkan tingkat emisi gas rumah kaca
- Human toxicity* (HTP), menunjukkan tingkat beragam bahan *toxic* termasuk *particulate matter* (PM)
- Acidification Potential* (AP), menunjukkan tingkat emisi  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  dan Ammonia.
- Photochemical ozone creation potential* (POCP), menunjukkan ukuran potensi bahan yang dapat menyebabkan reaksi fotokimia ozon pada lapisan troposfer

Tabel 2 memberikan gambaran dampak terhadap lingkungan akibat pemilahan. Masing masing komponen sampah yang dipilah memberikan dampak sebagai berikut:

- Semua bahan *packaging* memberikan harga indikator dampak negatif, hal ini

**Tabel 2.** Parameter pencemaran terhadap lingkungan

Sumber	Baja	Aluminium	Gelas	Kertas	Kayu	Plastik
Global warming (kg $\text{CO}_2$ eq.)	-405	-9855	-722	-557	-166	-1120
Pengasaman (kg $\text{SO}_2$ eq.)	-0.06	-52	-2.9	-33	-1.2	-7.1
Toksitas manusia ((kg 1,4-DCB eq.)	-247	-47001	-141	-126	-93	-248
Ozon fotokimia (kg $\text{C}_2\text{H}_4$ eq.)	-0.587	-2.9	-0.185	-0.237	-0.317	-1.2

Sumber : Rigamonti, dkk [8].

Keterangan: tanda negatif menguntungkan lingkungan, tandayang positif tidak menguntungkan

menunjukkan bahwa dengan mendaurulang 1 ton bahan ini untuk menggantikan produksi bahan baru menguntungkan lingkungan

- Pemilahan dan daur ulang aluminium sangat menguntungkan lingkungan pada semua indikator dampak. Keuntungan pada toksitas terhadap manusia dua kali lebih tinggi daripada daur ulang plastik, besi, kertas dan packaging. Hal ini disebabkan karena tidak terjadinya dampak proses elektrolisa yang ditimbulkan pada pembuatan aluminium.
- Komposting sampah yang berasal dari makanan dan biomasa tidak berdampak pada lingkungan

**Tabel 3.** Emisi gas buang pembakaran sampah ketiga tingkat pemisahan

Polutan	Konsentrasi (11% $\text{O}_2$ gaskering) $\text{mg}/\text{m}^3$	Faktor Emisi	
		Skenario 35%	Skenario 50%
		g/t	g/t
$\text{NH}_3$	2	12.0	11.9
CO	10	50	59
PM10	2	12.0	11.9
HCl	2	12.0	11.9
HF	0.2	1.20	1.19
$\text{N}_2\text{O}$	2	12.0	11.9
TOC	3	18	18
$\text{NO}_x$	50	301	295
$\text{SO}_x$	2	12.0	11.9
	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{t}$	$\mu\text{g}/\text{t}$
Cd	0.05	90	89
Hg	0.425	2555	2518
Pb	0.5	3005	2953
PAH	0.0025	15	15
	$\text{ng}/\text{m}^3$	$\text{ng}/\text{t}$	$\text{ng}/\text{t}$
Dioksin	0.01	60	59
		$\text{kg}/\text{t}$	$\text{kg}/\text{t}$
$\text{CO}_2$ fosil		421	492
$\text{CO}_2$ biogenik		656	563

Sumber : Rigamonti, dkk [8].

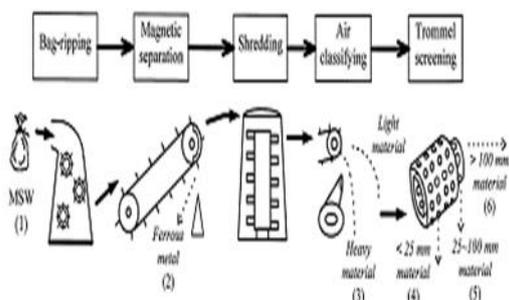
Hasil pengujian emisi buangan sisa sampah yang dibakar pada insinerator dapat dilihat pada Tabel 3. Pada tabel tersebut disajikan data berbagai jenis emisi pada masing masing tingkat pemisahan. Pengujian emisi dilakukan dengan cara membakar langsung tanpa dilakukan perlakuan awal terlebih dahulu seperti pada *reduced derived fuel* (RDF).

Perbandingan indikator dampak penggantian energi yang diperlukan untuk membangkitkan listrik menggunakan bahan bakar minyak bumi dengan energi hasil pembakaran sisa sampah terhadap lingkungan menunjukkan kualitas yang baik. Pada saat ini telah berkembang berbagai macam teknologi insinerator yang dapat menghasilkan kualitas emisi gas buang yang aman bagi lingkungan. Sehingga pada penerapannya penggunaan sampah sisa sebagai bahan bakar mempunyai prospek yang baik. Ketiga tingkat pemisahan mempunyai dampak yang baik terhadap lingkungan sehingga sistem ini dapat digunakan sebagai acuan pengelolaan sampah padat kota.

**Perbandingan Pembakaran MSW dan RDF**

Chang dkk. melakukan penelitian untuk membandingkan kualitas gas buang dan abu hasil pembakaran *municipal solid waste* (MSW) dan *refuse derived fuel* (RDF). Penelitian dilakukan dengan cara membakar secara langsung MSW tanpa perlakuan awal dan membakar MSW yang telah diperlakukan dengan pemilahan, dan penghancuran yang disebut RDF. Gas hasil pembakaran dan abu sisa pembakaran kemudian dianalisa komponen penyusun yang berpotensi mencemari lingkungan [9].

RDF dibuat dengan cara memilah dan menghancurkan MSW guna mengkondisikan agar sesuai dengan persyaratan tertentu. Diagram alir proses pemilahan dapat dilihat pada Gambar 2. Sampel sampah diambil dari berbagai tempat kemudian dipilah. Pada RDF dan MSW selanjutnya dilakukan analisa nilai panas, fisik, proximate dan ultimate Berdasarkan hasil analisa pada RDF terjadi perubahan sifat sampah yang diakibatkan terjadinya perubahan komponen penyusun sampah.



**Gambar 2.** Rangkaian proses pemilahan MSF [9]

Plastik naik dari 26,33% pada MSW menjadi 67,81% pada *tromel Overflow*. Sebaliknya sampah makanan, metal, gelas dan keramik

hampir tidak ada. Kandungan air turun dari 50,65% pada MSW menjadi 40,28% pada *tromel overflow*. Hal ini disebabkan karena terjadi penguapan selama terjadi proses klasifikasi yang menggunakan udara.

Bahan yang mudah terbakar naik dari 37,5% pada MSW menjadi 49,76% pada *tromel overflow*. Kandungan chlorine dan sulfur yang merupakan penyebab polusi masing masing juga mengalami perubahan. Berdasarkan hasil analisa sulfur terjadi penurunan dari 0,8% pada MSW menjadi 0,05 pada *tromel overflow*, sedangkan klorin sedikit terjadi kenaikan dari 0,18 menjadi 0,23. Hal ini disebabkan terjadi kenaikan kantong plastik pada *tromel overflow*. Nilai panas mengalami kenaikan yang tinggi sebesar 66% dari 227 kcal/kg pada MSW menjadi 375 kcal/kg pada *tromel overflow*. Kenaikan ini menyebabkan RDF memenuhi syarat sebagai bahan bakar padat.

Perbandingan hasil emisi gas buang kedua jenis bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 4. Gas buang diperoleh dari hasil pembakaran MSW dan RDF pada kondisi operasi yang sama sekitar 1000°C. Pada proses pembakaran diperlukan tambahan bahan bakar guna mempertahankan temperatur pembakaran guna meminimalkan dioksin/furan. Temperatur gas buang keluar diturunkan temperaturnya menggunakan penukar panas sampai mencapai 180-190°C menggunakan pendingin air dan pendingin udara. Gas buang selanjutnya dilewatkan scrubber sehingga temperatur gas turun sampai 65°C sebelum dibuang ke atmosfer.

**Tabel 4.** Emisi gas buang pembakaran sampah RDF dan MSW

Komponen	MSW	RDF	Standard
Partikulat (mg/Nm <sup>3</sup> )	5.7	3.15	220
CO <sub>2</sub> (%)	6.65	7.9	
CO(ppm)	321	203	350
O <sub>2</sub> (%)	12.0	11.2	
H <sub>2</sub> O(%)	26.6	14.1	
SO <sub>2</sub> (ppm)	13.5	15.0	300
NO <sub>x</sub> (ppm)	18.0	9.2	250
HCl(ppm)	0.36	0.58	7
Pb (mg/Nm <sup>3</sup> )	0.13	0.013	0.7
Cd (mg/Nm <sup>3</sup> )	ND<0.003	0.0095	0.7
Hg (mg/Nm <sup>3</sup> )	10	5.35	60

Sumber : Chang dkk [9]

Pada Tabel 4 dapat dilihat sisa abu <19 mg/Nm<sup>3</sup> pada pemakaian O<sub>2</sub> sebesar 11-12%. Semua emisi metal lebih kecil dari maksimal standart yang diperbolehkan. Emisi NO<sub>x</sub>, gas asam lebih kecil dari batas standart yang

diperbolehkan. Secara keseluruhan kualitas gas buang untuk pembakaran RDF lebih baik daripada MSW.

**Tabel 5.** Hasil analisa bottom ash RDF dan MSW

Elemen	MSM	RDF	Standar TCLP
Pb (mg/l)	ND<0.03	0.12	5.0
Cd (mg/l)	0.02	0.06	1.0
Cu (mg/l)	0.33	0.39	15
Zn (mg/l)	1.6	16	25
Cr (mg/l)	0.03	0.12	5.0
Hg (mg/l)	ND<0.0002	ND<0.0002	0.2
As (mg/l)	ND<0.001	ND<0.001	5.0
pH	11.8	10.2	-
Cr6+ (mg/l)	0.006	0.05	2.5
CN- (mg/l)	ND<0.002	ND<0.002	-
Kadar C (%)	2.65	0.65	-

Sumber: Chang dkk [9]

**Tabel 6.** Hasil analisa fly ash RDF dan MSW

Elemen	MSM	RDF	Standar TCLP
Pb (mg/l)	9.6	0.04	5.0
Cd (mg/l)	4.6	2.6	1.0
Cu (mg/l)	22.0	9.6	15
Zn (mg/l)	5.3	21.7	25
Cr (mg/l)	ND<0.02	0.04	5.0
Hg (mg/l)	ND<0.0002	ND<0.0002	0.2
As (mg/l)	ND<0.001	ND<0.001	5.0
pH	5.6	5.0	-
Cr6+ (mg/l)	0.003	0.002	2.5
CN- (mg/l)	0.002	ND<0.002	-

Sumber: Chang dkk [9]

Analisa sampel abu terbang (*fly ash*) dan abu bawah (*bottom ash*) menggunakan metode *Toxicity Constituents Leaching Procedure* (TCLP). Hasil analisa kedua macam abu ini dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6. Kandungan logam dipengaruhi komposisi, metode pembakaran dan metode penanganan sampah sebelum dibakar. Berdasarkan hasil *leaching tes* pada *bottom ash* RDF dan MSW tidak diklasifikasikan sebagai bahan berbahaya. Hasil ekstraksi logam pada

bottom ash hasil pembakaran RDF menunjukkan kandungan yang tinggi hal ini disebabkan karena RDF banyak mengandung kertas koran yang mengandung tinta cetak. Secara keseluruhan hasil ekstraksi logam pada bottom ash pembakaran RDF menunjukkan konsentrasi yang relatif kecil. Berdasarkan hasil analisis gas buang dan abu sisa pembakaran semua parameter menunjukkan bahwa emisi gas buang RDF memenuhi syarat digunakan sebagai bahan bakar. Pemilahan awal pada pembuatan RDF sebelum dibakar pada insinerator dapat mengurangi potensi emisi gas buang dan sisa abu hasil pembakaran.

Hasil penelitian ini menunjukkan proses pemilahan dapat memperbaiki sifat heating value dan tingkat kesempurnaan reaksi pembakaran. MSW yang tidak dipilah mempunyai nilai panas yang rendah yang dapat menghasilkan emisi gas buang beracun karena pembakaran yang tidak sempurna.

#### Pengaruh Kandungan Air terhadap Kualitas Gas Buang Hasil Pembakaran

Penelitian ini dilakukan oleh Liang dkk. yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh kandungan air sampah (MSW) terhadap emisi gas buang CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CxHy, NO dan HCN pada gas buang hasil pembakaran sampah menggunakan sistem pembakaran tumpukan (*fixed bed*). Metode penelitian dilakukan dengan cara eksperimen pada reaktor pembakaran jenis *fixed bed*. Reaktor pembakaran *fixed bed* merupakan sistem pembakaran dengan cara membakar sampah yang ditumpuk pada ruang bakar. Pembakaran menggunakan bantuan gas propan untuk mempertahankan temperatur pada ruang bakar. Temperatur pembakaran berkisar pada temperatur 950° C. Proses pembakaran berlangsung mulai dari bagian atas tumpukan menjalar turun ke bawah [10].

**Tabel 7.** Hasil analisa *proximate* dan *ultimate* MSW pada berbagai variasi

Kasus		1	2	3	4	5
Kandunganutama	Sayuran (kg)	0.16	0.36	0.6	0.94	1.26
	Kertas(kg)	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
	Pasir(kg)	0.4	0.4	0.4	0.4	0.36
	Massa awal(kg)	1.56	1.76	2	2.34	2.52
	Kerapatan(kg/m3)	111.46	125.75	142.9	167.19	180.05
AnalisisProksimat	Air (%bobot)	8.8	18.1	28.6	39.1	49.2
	Volatile matter (%bobot)	50.9	86.67	39.8	87.6	39.5
	Abu (%bobot)	33.12	29.63	25.9	22.18	18.22
	Karbon (%bbot)	7.09	6.86	5.83	4.8	4.29
	Nilai-panasneto(kl/kg)	9710	8510	7080	5740	4390

Sumber: Liang, dkk. [10]

**Tabel 8.** Hasil analisa CO, CO<sub>2</sub> dan rasio C menjadi CO berbagai variasi MSW

Kasus	1	2	3	4	5
Rataankonsentrasi CO <sub>2</sub> (%vol)	7.88	5.56	5.08	4.48	4.17
Rataankonsentrasi CO (ppm)	28867.2	17396.48	13563.62	11098.79	10177.58
Rasiokonversi C menjadi CO (%vol)	2.32	3.13	5.38	2.04	0.74

Sumber: Liang, dkk. [10]

**Tabel 10.** Hasil analisa senyawa hidrokarbon CxHy

Waktu (det)	480	720	960	1440	1680	2160	2400
CH <sub>4</sub> (ppm)	26.92	277.63	1254.09	1528.27	1896.32	329.98	74.36
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (ppm)	2.83	52.61	199.46	285.88	387.99	155.82	54.24
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (ppm)	0.22	4.19	11.47	37.48	44.85	39.15	22.55
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (ppm)	1.04	17.00	87.28	120.44	144.37	30.75	10.03
NO(ppm)	29.38	29.29	37.94	54.71	58.24	31.85	29.47
HCN(ppm)	556	780	1100	1610	1480	940	810

Sumber: Liang, dkk. [10]

Sampah yang digunakan sebagai umpan pembakaran disimulasikan dengan cara membuat campuran yang terdiri dari sayuran, pasir, kertas dengan kandungan abu, air dan karbon sesuai dengan kandungan sampah kota padat (MSW) di Cina. Sayur dan kertas dipotong dengan ukuran 30 mm x 30 mm kemudian dicampur sehingga mempunyai komposisi yang seragam. Tujuan pencampuran bahan dengan ukuran dan kandungan yang seragam pada sampah yang digunakan eksperimen untuk memudahkan untuk kontrol kondisi operasi dan penyederhanaan asumsi pada pembuatan model matematis. Selanjutnya MSW diklasifikasikan menjadi 5 macam yang diberi nomor klasifikasi 1 sampai 5. Kandungan air kelima jenis MSW divariasikan pada rentang 8,8% sampai 49,2% sedangkan harga nilai panas berkisar pada rentang 9710 kJ/kg sampai 4390 kJ/kg. Hasil proximate analisis sample MSW seperti terlihat pada Tabel 7.

Pembakaran dilakukan dengan menumpuk sampah setinggi 550 mm. Aliran udara untuk pembakaran dialirkan dari bawah tumpukan tanpa pemanasan awal (20° C). Laju alir udara diatur 30 L/menit. Pembakaran dilakukan menggunakan propan untuk mempertahankan temperature bakar sekitar 950° C. Gas buang hasil pembakaran selanjutnya dianalisa untuk menentukan komposisi CO, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CxHy, NO dan HCN.

Tabel 9 menunjukkan konsentrasi rata rata NO dan rasio konversi N menjadi NO. Semakin tinggi kandungan air semakin menurun konsentrasi NO. Penurunan ini proporsional dengan penurunan rasio konversi N menjadi NO. Kecenderungan ini sama dengan yang terjadi pada pembentukan gas CO dan CO<sub>2</sub>. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan

air semakin sulit dan lama terjadinya reaksi pembakaran.

**Tabel 9.** Hasil analisa NO dan rasio konversi N menjadi NO berbagai variasi WSW

KasusNomor	1	2	3	4	5
Rataan konsentrasi NO (ppm)	44.20	39.74	38.17	36.15	35.90
Rasio konversi N menjadi NO (%)	35.99	33.60	29.20	25.91	25.00

Sumber: Liang, dkk. [10]

Berdasarkan hasil pengukuran, NO merupakan senyawa nitrogen yang banyak terdapat pada gas buang. Pada temperatur pembakaran dibawah 1100° C sumber sebagian besar N yang berasal dari bahan bakar menjadi NO sedangkan NO<sub>x</sub> konsentrasinya rendah. Konsentrasi NO berhubungan dengan kandungan nitrogen pada bahan volatil HCN. Terbentuknya NO karena terjadi reaksi antara HCN dan O<sub>2</sub>. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 10 yang menunjukkan konsentrasi NO proporsional dengan terbentuknya HCN.

Jenis Hidrokarbon pada gas buang untuk MSW dengan kandungan air 28,9% sebagai fungsi waktu dapat dilihat pada Tabel 10. Komponen CH<sub>4</sub> merupakan penyusun CxHy yang tertinggi. Terbentuknya CH<sub>4</sub> merupakan hasil devolatilisasi MSW pada temperatur 260° C. Semakin lama, bahan volatil yang terbentuk semakin besar sampai mencapai puncak pada waktu selama 1680 detik kemudian menurun kembali karena bahan volatil semakin habis. Hasil penelitian ini memberikan kesimpulan bahwa kandungan air berpengaruh terhadap kualitas gas buang. Semakin tinggi kandungan air semakin tidak sempurna reaksi yang ditunjukkan dengan semakin rendahnya rasio konversi C menjadi CO.

### Pengaruh Sistem Pembakaran terhadap Gas Buang

Ada beberapa jenis teknologi proses pembakaran sampah yang dapat digunakan sebagai alternatif untuk mengolah sampah dengan metode termal selain dibakar langsung menggunakan insinerator. Sebagai bahan pertimbangan pemilihan sistem antara lain kecepatan pembakaran, seberapa besar gas buang hasil pembakaran dan abu yang terbentuk dan tingkat emisi polutan gas buang yang terbentuk selama proses pembakaran yang dihasilkan dari sistem. Volume gas buang dan tingkat emisi menentukan sistem pengolahan lanjutan untuk proses pembersihan gas dan menentukan kebutuhan biaya investasi dan operasi peralatan. Proses yang dipilih adalah proses yang dapat menghasilkan volume dan jumlah gas buang dan abu rendah. Sebagai contoh apabila proses diubah dari pembakaran langsung menjadi gasifikasi maka akan terjadi penurunan volume gas buang karena terbatasnya suplai udara pembakaran. Emisi NO<sub>x</sub> dapat diturunkan dengan menggunakan oksigen murni untuk menggantikan oksigen dari udara. Berdasarkan penelitian terdahulu yang pernah dilakukan, pada pembakaran sludge sebesar 24-30 m<sup>3</sup> menggunakan oksigen murni dapat menurunkan gas buang sebesar 1,7 m<sup>3</sup>. Dampak lain proses gasifikasi adalah diperoleh produk gas sintesis yang berguna untuk bahan baku industri kimia kimia.

Alternatif proses yang lain adalah pirolisa yaitu proses dekomposisi secara termal bahan organik tanpa oksigen. Selama proses pirolisa berlangsung, bahan organik akan diubah menjadi gas pirolisa yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Temperatur operasi yang rendah menyebabkan terbentuknya SO<sub>2</sub> dan NO sangat kecil [11]. Sisa pembakaran berupa arang dapat mengikat lagam berat yang tertinggal sebagai produk bawah (*bottom ash*) sehingga dapat disimpan dengan aman. Teknologi lain yang dapat dipakai adalah peleburan dan gasifikasi pada temperatur tinggi yang dapat mengurangi jumlah abu.

Pembakaran secara terkontrol dapat menurunkan kecepatan pembentukan beberapa jenis polutan. Jenkin dkk memberikan data perbandingan emisi pembakaran secara terbuka (*field burn*), pembakaran pada sistem fluidisasi yang terkontrol (CFB) dan hasil eksperimen menggunakan peralatan pembakaran yang tidak dikontrol (MCF) seperti terlihat pada Tabel 11 [12].

**Tabel 11.** Perbandingan emisi gas buang hasil pembakaran field burner, CFB dan MCF

Gas	Field burner		CFB	MFC $\phi=0.85$	
	Kayu	Jerami padi		Kayu	Jerami padi
CO	5.54	3.22	0.002	0.45	0.30
NO <sub>x</sub>	0.20	0.28	0.048	0.19	0.40
SO <sub>2</sub>	0.01	0.06	0.01	0.005	0.035
HC	0.89	0.44	0.001	0.04	0.01

Sumber: Jenkin dkk [12]

Berdasarkan Tabel 11 apabila dibandingkan terlihat bahwa sistem pembakaran CFB dapat menurunkan emisi menjadi seperempat emisi yang dihasilkan pada pembakaran yang tidak dikontrol. Hal ini menunjukkan bahwa upaya memperbaiki sistem pembakaran dapat menurunkan emisi yang cukup besar sehingga diharapkan dapat mencapai ambang batas maksimum yang diperbolehkan. Upaya ini dalam rangka untuk memperoleh metode pembakaran sampah yang aman terhadap lingkungan.

Sistem pembakaran lain adalah membakar sampah padat bersama dengan bahan pembuat semen (*Clinker*). Sistem yang diteliti oleh Sikalidis dkk., bertujuan mempelajari pengaruh pencampuran bahan pembuatan semen pada sampah terhadap kualitas gas buang hasil pembakaran kedua campuran tersebut. Penelitian dilakukan dengan cara melakukan pembakaran campuran pembuatan semen (batu kapur, *clay*, silica dan oksida besi dan sampah padat yang telah dipilah dan dikeringkan. Sampah padat dipilah menjadi dua bagian yaitu fraksi berat (tanah, batu, pecahan keramik gelas dan bahan lain yang sejenis) dan fraksi ringan (kertas, kayu, plastik yang ringan, kain, dan bahan lain yang mudah terbakar. Fraksi berat setelah dihancurkan langsung dimasukkan pada tanur bakar pada temperature 1100° C. Bagian yang ringan digunakan sebagai bahan bakar yang dapat menggantikan sebagian bahan bakar pembuatan semen pada *rotary kiln* [13].

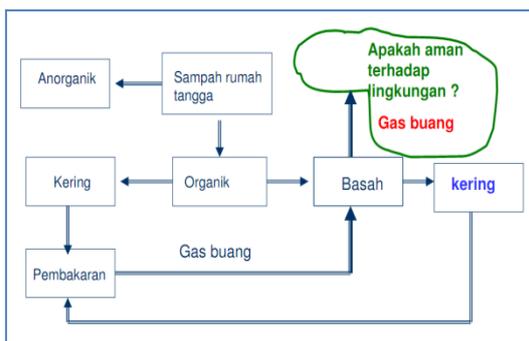
Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem pembakaran ini dapat mengurangi volume MSW pada jumlah yang besar. Sisa pembakaran MSW dapat bercampur dengan terak semen dan menghasilkan emisi gas buang yang tidak beracun. Emisi PCDF dan PCDD mengalami dekomposisi karena temperature yang tinggi pada kiln, CO tidak terbentuk karena berubah menjadi CO<sub>2</sub>, sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) tidak terbentuk karena mengalami kristalisasi dengan senyawa kalsium. Demikian juga pada HCl dan komponen nitrogen dapat dikurangi dengan menambahkan

ammonia. Teknik ini tidak menghasilkan residu atau bahan yang berpotensi sebagai polutan.

**Rancangan Sistem yang Direncanakan**

Berdasarkan paparan di atas dapat diberikan beberapa ringkasan yang akan digunakan sebagai dasar perancangan sistem pemilahan, pengeringan dan pembakaran sampah organik rumah tangga. Berdasarkan peraturan pemerintah yang dikeluarkan departemen pekerjaan umum PU No: 21/PRT/M/2006 diperbolehkan penggunaan insinerator untuk pembakaran sampah dengan persyaratan harus aman terhadap lingkungan. Pembakaran sampah yang telah dipilah (RDF) menghasilkan kualitas gas buang hasil pembakaran yang lebih baik dibandingkan dengan hasil pembakaran langsung MSW. Demikian juga kandungan air sampah semakin tinggi menyebabkan pencapaian kesempurnaan reaksi terlalu lama sehingga dapat menghasilkan gas buang yang berpotensi mencemari lingkungan. Sistem pembakaran juga berpengaruh terhadap kualitas gas buang. Pembakaran yang terkontrol dapat menghasilkan emisi gas buang CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, NOx, furan dan dioksin di bawah ambang batas maksimum yang diperbolehkan.

Sistem yang direncanakan merupakan gabungan proses pemilahan, pengeringan dan pembakaran dengan diagram alir proses seperti terlihat pada Gambar 3. Dasar yang digunakan adalah perlunya dilakukan perlakuan awal sampah rumah tangga sebelum dibakar dengan cara pemilahan dan pengeringan.

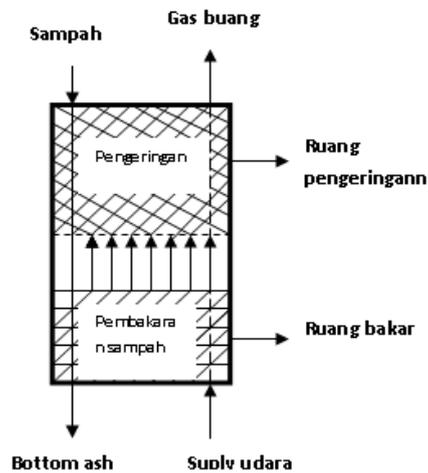


Gambar 3. Diagram alir konsep sistem yang direncanakan

Berdasarkan Gambar 3 dapat dijelaskan mekanisme pengelolaan sebagai berikut sampah mula mula dipisahkan yang organik dan anorganik. Bagaian organik dipisahkan lagi menjadi dua bagian basah dan kering. Bagian yang kering dibakar sedangkan yang basah dikeringkan menggunakan energi hasil pembakaran sampah kering. Sampah yang telah

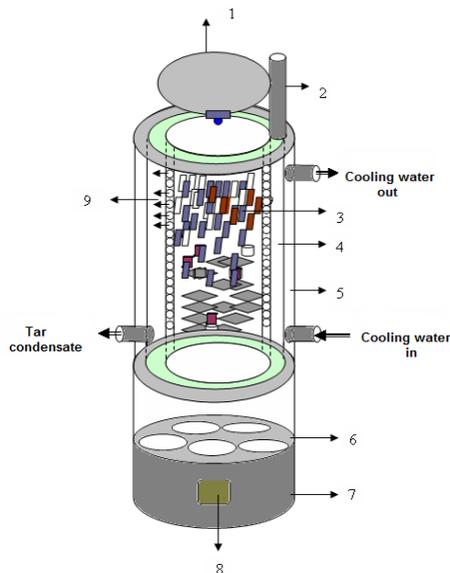
dikeringkan selanjutnya dicampur dengan sampah kering hasil pemilahan awal kemudian dibakar demikian seterusnya. Proses pemilahan dilakukan secara manual.

Sistem pengeringan dilakukan dengan cara menempatkan sampah organik basah di atas ruang bakar sampah. Gas buang hasil pembakaran dilewatkan pada tumpukan sampah basah sehingga energi panasnya dapat dipakai untuk menguapkan air yang ada dalam sampah. Sistem pengeringan dan pembakaran berada dalam satu peralatan. Ruang bakar dan pengeringan diberi batas sekat dari plat yang berlubang. Ruang bakar berada pada bagian paling bawah, sehingga ketika terjadi pembakaran sampah, gas buang dialirkan ke atas melewati tumpukan sampah basah. Skema diagram alat pengeringan dan pembakaran dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Skema sistem pembakaran

Pada perancangan ini dilakukan modifikasi system pengolahan gas buang yang semula dibakar ulang seperti penelitian Liu dan Liu (2005) menjadi sistem kondensasi [5]. Modifikasi ini dilakukan dengan alasan kandungan uap air yang tinggi pada gas buang pembakaran sampah organik rumah tangga, sehingga apabila dibakar ulang dapat mengganggu proses penyalaan. Proses kondensasi gas buang dapat mengembunkan komponen gas buang yang dapat mengembun misalnya HCl dan tar dan memungkinkan terperangkapnya partikel abu terbang yang mengandung logam berat, dioksin dalam kondensat uap air. Sistem ini diharapkan dapat menurunkan abu terbang atau *particulate matter* pada gas buang. Model rancangan peralatan ditunjukkan Gambar 5.



**Gambar 5.** Model sistem pembakaran sampah (1. penutup umpan; 2. pipa gas buang; 3. sampah; 4. Ruang pendingin gas; 5. pendingin; 6. grate; 7. Penampung abu; 8. manhole; 9. Jalur aliran gas buang)

management systems", *Waste Management*, 29 pp.934- 944.

- [9] Chang, Y.H; Chen , W.C; Chang, N.B; 1998, "Comperative evaluation of RDF and MSW Incineration", *Journal of Hazardous Materials*, 58, pp.33- 45
- [10] Liang , L; Sun, R; Fei, J; Wu, S; Liu, X; Dai, K; Yao, N; 2008, "Experimental study on effects of moisture content on combustion characteristics of simulated municipal solid waste in fixed bed", *Bioresource Technology*, 99 pp.7238- 7246
- [11] Caballero, J.A: Marcilla, A; Front, R; Conesa, JA; 1997, "Characterisation of sludges primary and secondary pyrolysis", *J. Anal. Applied Pyrolysis*; 4041; pp 433-450
- [12] Jenkins, B.M; Baxterr, L.L; Miles Jr, T.R; Miles, TR; 1998, "Combustion propertis of biomass" *Fuel Processing Technology* 54, pp 17 - 46.
- [13] Sikalidis, C.A; Zabaniotou, A.A; Famellos, S.P; 2002, "Utilisation of municipal solid waste for mortar production", *Resources, Conservation and Recycling*, 36, pp.155-167

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chang, YF; Lin, CJ; Chyan, J.M; Chen I.M; Chang, JE; 2007, "Multiple regression models for the lower heating value of municipal solid waste in Taiwan", *Journal of Environmental Management*, 85, pp.891- 899.
- [2] Cherubini, F; Bargigli S; Ulgiati, S; 2009, "Life cycle assestment (LCA) of waste management strategies : landfilling, sorting plant and incineration", *Energy*, 34, pp.2116- 2123.
- [3] Liu, YA; Liu, YU; 2005, "Novel incineration technology integrated with drying, pyrolysis, gasification, and combustion of MSW and ashes vitrification", *Enviromental Science Technology* 39, pp 3855- 3863.
- [4] Suksankraisorn, K; Patumsawad S; Fungtammasan, B; 2010, "Co-firing of Thai lignite and municipal waste (MSW) in the fluidised bed: effect of moisture content", *Applied Thermal Engineering*, 30, pp.2693- 2697.
- [5] Koseoglu, K; Poat, M; Polat, H; 2010, "Encapsulating fly ash and acidic process waste water in brick structure", *Journal of Hazardeous Material*, 176 pp.957- 964.
- [6] Peraturan menteri pekerjaan umum ( PERMEN PU ) No: 21/PRT/M/2006
- [7] Cheng, H., Hu, Y., 2010. Municipal solid waste (MSW) as renewable source of energy current and future practices in China. *Bioresource Technology*. 10: 3816- 3824.
- [8] Rigamonti, L; Grosso, M; Giugliano, M; 2009, "Life cycle assestment for optimizing the level of separated collection in integrated MSW