

PERANCANGAN INSINERATOR *FIXED BED UPDRAFT* TERINTEGRASI DENGAN *SCRUBBER* UNTUK MEMISAHKAN TAR

¹Eko Naryono, ²Arief Rachmansyah, ³Soemarno

¹ *Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri, Malang*

² *Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang*

³ *Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang*

eko_naryono@yahoo.com, ariefftub@yahoo.com, smno@ub.ac.id

Abstract

Incineration of household organic waste requires treatments of the flue gases to minimize pollutants. One type of pollutants in the flue gas incinerator product is tar, which is the result of the degradation of cellulose and lignin in biomass. One simple method of separation of tar from the exhaust gases is by absorption, using water as a medium scrubber. The scrubber water, before being discharged into the environment or reused needs to be treated to reduce pollutants. The purpose of this design was developed incinerator and scrubber system, which is integrated in one piece of equipment that can separate the pollutants in the flue gas, and tar from the water effectively. The working principle of the equipment is functioning to burn solid waste, absorbing the flue gas by scrubber and separate the tar from scrubber water by evaporation. Conceptually, based on visual observation of the product flue gas and waste water, the design of this incinerator can produce clean flue gas and waste water. Incinerators designed can reduce hydrocarbon content in the exhaust gases of up to 75% and tar in wastewater up to 76%.

Keywords: Incinerator, Household organic waste, Scrubber, Tar

1. Pendahuluan

Pengelolaan sampah padat perkotaan (MSW) disebagian besar kota kota di Indonesia menggunakan sistem ditimbun pada lahan terbuka (*open dumping*). Sebagian besar sampah di Indonesia adalah sampah organik (Lu Aye *et al.*, 2006). Sampah ini ditimbun pada lahan terbuka di tempat pembuangan akhir (TPA) tanpa diolah terlebih dahulu. Hanya sebagian kecil sampah organik yang dimanfaatkan untuk kompos. Namun demikian pembuatan kompos membutuhkan waktu yang relatif lama (20 hari).

Hal ini berdampak terhadap timbunan volume sampah yang semakin besar, sehingga membutuhkan lahan tempat pembuangan yang semakin luas. Perkiraan kebutuhan lahan tempat pembuangan dengan tinggi timbunan 10 m berdasarkan perhitungan selama 10 tahun sebesar 15 ha (Julianus, *et al.*, 2009). Pada jangka panjang apabila tidak dilakukan penanganan dengan baik dapat menimbulkan permasalahan lingkungan dan penyediaan lahan tempat pembuangan.

Guna meminimalisasi penyediaan lahan TPA diperlukan pemikiran alternatif lain proses pengolahan sampah padat ini. Salah satu alternatif pengolahan yang efektif digunakan adalah proses pengolahan termal menggunakan insinerator.

Proses termal membutuhkan waktu yang lebih singkat untuk menguraikan sampah padat dan

dapat mengurangi volume sampah sampai 90% volume sampah (www.epa.gov). Namun demikian pada penerapannya pengolahan termal berpotensi menghasilkan polutan pada gas buang yaitu, SO₂, NH₃, H₂S CO, CO₂, HCl., *particulate matter* (PM), tar, jelaga, NO_x, volatile organic compound (VOC), polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH), dan logam berat, dioksin, furan (Wether *et al.*, 1999). Terbentuknya bahan tersebut dipengaruhi jenis komponen sampah, proses pembakaran yang tidak sempurna dan sistem pembakaran yang digunakan (Lee dan Lin, 2007).

Pada pengolahan termal potensi polutan pada gas buang perlu diminimalisasi sampai mencapai ambang batas yang diperbolehkan. Beberapa metode dapat dilakukan untuk menurunkan polutan antara lain perlakuan sampah sebelum dibakar pemilahan, pengeringan (Liang *et al.*, 2008), pengecilan ukuran, pemilihan sistem pembakaran (Caballero *et al.*, 1997) dan perlakuan (*treatment*) pada gas buang (Quina *et al.*, 2008).

Pengelompokan teknologi pengolahan dibagi menjadi dua bagian besar yaitu: *coventional combustion* and *advanced thermal treatment* (Stantec, 20011). *Coventional combustion* terdiri dari insinerasi fixed bed dan insinerasi fluidisasi sedangkan *advanced thermal treatment* terdiri dari gasifikasi, pirolisa dan gasifikasi plasma. *Advanced*

thermal treatment menggunakan teknologi yang kompleks sehingga belum banyak diterapkan pada skala komersial. Sampai saat ini masih banyak digunakan insinerator untuk pengolahan termal (Stantec, 2011).

Warnecke, 2000 dan Chong *et al.*, 2011 membandingkan kedua jenis sistem *conventional combustion*, diantaranya disebutkan sebagai berikut: konstruksi dan cara pengoperasian insinerator fluidisasi lebih kompleks dibandingkan insinerator fixed bed dan lebih banyak diterapkan untuk skala besar, biaya investasi insinerator fixed bed lebih murah daripada fluidisasi sehingga lebih sesuai untuk kapasitas kecil.

Berdasarkan alasan tersebut maka insinerator fixed bed lebih sesuai untuk kapasitas kecil seperti pada TPS. Berdasarkan cara kerjanya insinerator fixed bed diklasifikasikan menjadi dua yaitu tipe updraft dan downdraft.

Menurut Fjellerup *et al.*, 2005 dan Chong *et al.*, 2011, insinerator fixed bed updraft mempunyai kelebihan yaitu fleksibel digunakan untuk bahan pada berbagai ukuran sedangkan kekurangannya adalah menghasilkan gas yang lebih kotor yang banyak mengandung tar. Kelebihan insinerator *downdraft* menghasilkan gas lebih bersih mengandung sedikit tar, sedangkan kelemahannya adalah mempunyai spesifikasi umpan yang ketat antara lain ukuran seragam dan kandungan air rendah. Berdasarkan perbandingan tersebut pada perancangan dipilih fixed bed tipe updraft yang dianggap sesuai untuk sampah organik yang mempunyai kandungan air tinggi, dan untuk proses pembakaran pada insinerator ini tidak memerlukan perlakuan awal umpan.

Insinerator *fixed bed updraft* menghasilkan gas buang yang lebih kotor bercampur tar primer yang banyak mengandung oksigen dibandingkan downdraft (Fjellerup *et al.*, 2005). Sebelum dibuang ke atmosfer atau dimanfaatkan, gas buang harus dipisahkan dari tar agar memenuhi spesifikasi produk gas yang dihasilkan dan persyaratan lingkungan.

Sampah organik mengandung berbagai komponen seperti sisa makanan, sayuran, dan sampah kebun mengandung kadar air yang tinggi sampai 70% massa (Caneghem dkk., 2012). Sampah organik apabila dibakar menghasilkan campuran uap air dan tar pada gas buang dengan jumlah yang besar. Campuran ini sebelum di buang ke udara bebas perlu dipisahkan, Dengan demikian pada saat dibuang ke udara baik air maupun gas buang, mengandung polutan yang minimal.

Beberapa peneliti terdahulu telah mempelajari karakteristik insinerator dan gasifikasi fixed bed updraft (Liu *et al.*, 2005, Antonopoulos *et al.*, 2011, Chong *et al.*, 2011) tetapi tidak menjelaskan cara pengolahan gas buang. Patrick *et al.*, (2002) mengembangkan teknologi pemisahan tar dan air dari gas hasil gasifikasi yang diberi nama

OLGA dengan cara kondensasi dan absorpsi tetapi tidak dijelaskan secara detil. Subagiyo *et al.*, 2012 melakukan penelitian pemisahan tar dari gas buang pembakaran sampah organik rumah tangga tetapi masih menghasilkan air buangan yang mengandung tar.

Hasil penelitian terdahulu tersebut di atas telah digunakan sebagai dasar perancangan insinerator *fixed bed updraft* terintegrasi dengan scrubber untuk memisahkan tar (Naryono, 2016). Namun demikian hasil pengujian kinerja prototipe insinerator yang dirancang, mempunyai kelemahan yaitu kecepatan pembakarannya rendah karena aliran gas buang yang keluar dari insinerator terhambat oleh air *scrubber*.

Perancangan ini bertujuan merancang, dan membuat prototipe peralatan insinerator yang terintegrasi dengan sistem pengolah gas buang dan air buangan dengan kapasitas 2kg/jam. Insinerator ini dapat digunakan untuk membakar sampah organik, mengolah gas buang dan air buangan dalam satu peralatan.

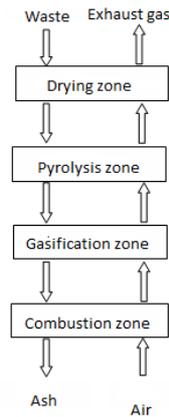
Kecepatan pembakaran insinerator hasil rancangan ini lebih besar dari insinerator yang telah dirancang sebelumnya. Pada perancangan ini dilakukan modifikasi terhadap rancangan insinerator sebelumnya, dengan mengganti sistem *scrubber* gelembung dengan sistem *scrubber* kolom packing. Air scrubber yang semula statis diubah menjadi sistem sirkulasi. Dengan demikian dapat mengurangi hambatan sirkulasi gas buang di dalam air scrubber.

2. Insinerator Fixed Bed Updraft

Beberapa referensi (Liu *et al.*, 2005, Antonopoulos *et al.*, 2011, Chong *et al.*, 2011) telah menjelaskan prinsip kerja insinerator fixed bed updraft dengan sekema proses seperti ditunjukkan gambar 1. Insinerator fixed bed updraft dapat dibagi menjadi empat zone proses termal: zone pengeringan, zone pirolisa, zone gasifikasi dan zone pembakaran.

Mengacu gambar 1, prinsip kerja proses insinerator dapat dijelaskan sebagai berikut : umpan sampah dimasukkan dari bagian atas ke dalam ruang pengeringan, pada zone ini berlangsung proses pengeringan karena dialiri gas panas dari zone pirolisa. Tahap selanjutnya adalah sampah yang kering mengalami pirolisa pada zone pirolisa.

Produk padat dari zone pirolisa mengalami proses gasifikasi bereaksi dengan gas panas dari zone pembakaran. Pada zone pembakaran terjadi reaksi produk padat proses gasifikasi dengan oksigen yang dialirkan dari dasar insinerator. Produk padat dari zone pembakaran berupa abu dikeluarkan dari dasar insinerator, sedangkan produk gas hasil pembakaran dialirkan ke atas melewati zone gasifikasi, melewati zone pirolisa, zone drying.



Gambar 1. Skema diagram proses incinerator fixed bed updraft (sumber: Liu, 2005)

3. Dasar Perancangan.

Pada perancangan ini digunakan dasar referensi hasil penelitian terdahulu yang meliputi rumusan perhitungan dimensi insinerator, neraca massa, dasar pemilihan sistem pengolahan gas buangan dan pengolah air buangan.

3.1. Perancangan insinerator

Perancangan insinerator meliputi penentuan volume reaktor, penentuan ukuran pipa untuk mengalirkan gas buang dan penentuan kapasitas blower. Penentuan volume reaktor digunakan rumusan empiris (Levenspiel, 1999) sebagai berikut :

$$\tau = \frac{V \times \rho}{F_{Bo}} = \frac{\text{Massa'dalam'reaktor}}{\text{laju'alir'umpan}} \quad (1)$$

Dimana : τ , V , F_{Bo} , dan ρ masing masing adalah waktu tinggal, volume reaktor, laju alir massa umpan dan densitas umpan. Waktu tinggal diperoleh dengan cara eksperimen yaitu sebesar 75 menit.

Penentuan ukuran aliran pipa gas buang dan blower didasarkan pada perhitungan neraca massa di dalam insinerator dengan kapasitas 2 kg/jam (Tabel 1).

3.2. Perancangan sistem pengolahan gas buang.

Dasar pemilihan sistem pengolahan gas buang adalah dapat diturunkannya kandungan hidrokarbon pada gas buang dengan cara kondensasi (Subagiyo, 2012). Berdasar hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem pengolahan gas buang dengan cara kondensasi dapat menurunkan kandungan hidrokarbon berat sampai 75% (Gambar 2).

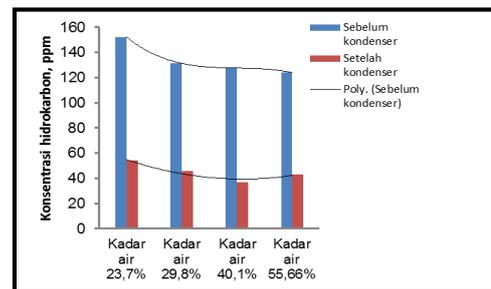
Sampah	2,00	-	-
Oksigen	0,820	-	0,505
Nitrogen	2,798	-	2,706
CO ₂	-	0,464	0,667
Tar	-	0,128	-
CO	-	0,043	-
C _x H _y	-	0,066	-
CH ₄	-	0,003	-
H ₂	-	0,000	-
Uap air	-	1,033	0,080
Total	5,618	1,033	0,704 3,959

Sumber: Naryono, 2016

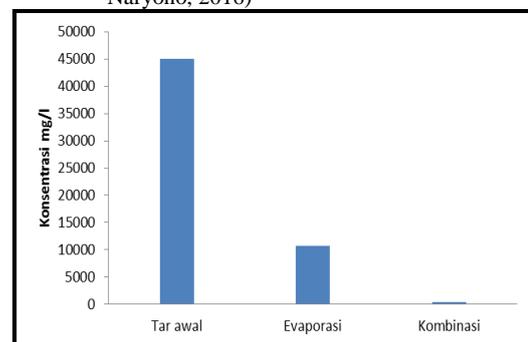
Pada perancangan ini digunakan sistem kondensasi dengan cara kontak langsung gas buang dengan air (*scrubber*). Sistem ini mempunyai dua fungsi yaitu dapat mendinginkan gas buang dan menyerap polutan. Sistem scrubber yang digunakan adalah dengan cara mengkontakkan aliran air scrubber dengan gas buang pada kolom *packing* secara berlawanan arah.

3.3. Perancangan sistem pengolah air buangan

Dasar perancangan sistem pengolah air buangan yang digunakan adalah dapat diturunkannya kandungan tar di dalam limbah air scrubber dengan cara evaporasi. Pada penelitian yang pernah dilakukan, proses evaporasi dapat menurunkan kandungan tar di dalam air sampai dengan 76% seperti disajikan Gambar 3.



Gambar 2. Karakteristik komposisi hidrokarbon gas buang sebelum dan sesudah kondenser (Sumber: Naryono, 2016)



Gambar 3. Karakteristik komposisi tar sebelum dan sesudah evaporasi (Sumber Naryono et al., 2015)

Tabel 1. Neraca Massa Insinerator

Komponen	Input (Kg)	Output (Kg)		
		Penguapan	Pirolisa	Pembakaran

4. Metode Perancangan

Pada tahap awal perancangan dilakukan pemilihan jenis sistem pembakaran, dan sistem

pengolahan gas buang dan air scrubber. Tahap selanjutnya dirancang model peralatan yang dapat mengintegrasikan ketiga sistem tersebut dalam satu peralatan.

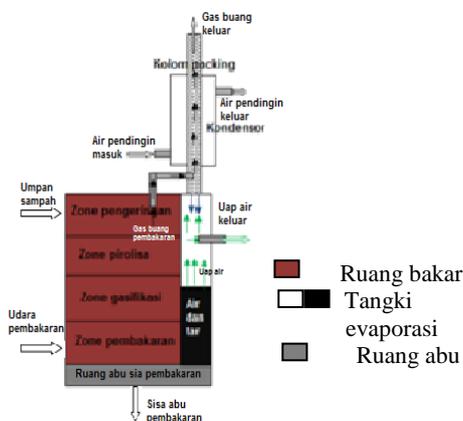
Setelah diperoleh rancangan model yang sesuai, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan dimensi alat. Perhitungan volume ruang bakar menggunakan persamaan 1, perhitungan luas penampang pipa, ukuran kondenser dan kapasitas blower didasarkan perhitungan neraca massa tabel 1.

5. Hasil perancangan

Skema sistem peralatan yang dirancang dapat berfungsi sebagai insinerator, pengolah gas buang dan air limbah scrubber dan terintegrasi menjadi satu dalam satu peralatan disajikan (Gambar 4). Prinsip kerja insinerator sebagai berikut: Umpam masuk ke ruang bakar dari atas, dikontakkan dengan udara pembakaran yang mengalir dari bawah. Gas buang hasil pembakaran sebelum dikeluarkan dari insinerator dialirkan terlebih dulu melewati kolom packing yang didinginkan menggunakan sistem kondenser dengan pendingin air.

Pada saat gas melewati kolom packing, terjadi kondensasi air yang turun ke bawah, masuk tangki evaporasi. Pada saat turun, air akan kontak dengan gas buang hasil pembakaran, dan dapat berfungsi sebagai scrubber yang dapat menyerap tar dalam gas buang. Dengan demikian dapat menurunkan tar di dalam gas buang pembakaran sebelum dibuang ke udara luar.

Campuran air dan tar selanjutnya masuk ke dalam tangki evaporasi. Pada tangki evaporasi terjadi penguapan air yang mengandung tar, menghasilkan uap air bersih yang dikeluarkan dari jalur uap air keluar. Proses penguapan menggunakan energi panas hasil pembakaran sampah. Sisa tar tertinggal di dalam tangki evaporasi.



Gambar 4. Sekema modifikasi insinerator yang dirancang

6. Hasil pengujian kinerja insinerator

Hasil pengujian insinerator pada pembakaran sampah organik secara visual ditunjukkan Gambar 5. Pengamatan visual meliputi kenampakan gas buang pembakaran sebelum dilewatkan scrubber dan setelah dilewatkan scrubber dan air scrubber setelah digunakan untuk menyerap gas buang.

Dengan mengacu Gambar 5 dapat dijelaskan perbedaan kenampakan visual gas buang (lingkaran merah). Lingkaran merah yang sebelah kiri gas buang pembakaran apabila tidak dilewatkan scrubber, sedangkan yang sebelah kanan gas buang setelah dilewatkan scrubber. Gas buang yang tidak dilewatkan scrubber tampak lebih kotor dan gelap dibandingkan bila dilewatkan scrubber.

Gambar yang paling kanan (air scrubber), air di dalam ruang scrubber setelah digunakan untuk menyerap gas buang pembakaran. Kenampakan air ini secara visual berwarna hitam gelap. Sebelum dibuang atau digunakan kembali perlu dipisahkan dari tar.



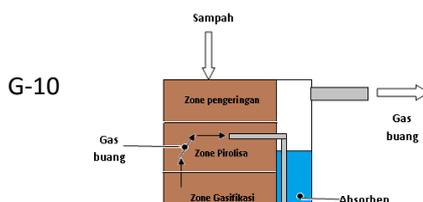
Gambar 5. Foto kenampakan hasil pengamatan visual luaran produk hasil pembakaran

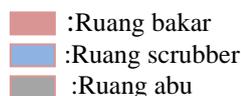
Pemisahan dilakukan dengan dengan cara evaporasi di dalam tangki scrubber. Sebagai sumber energi pemanas, digunakan sebagian panas hasil pembakaran sampah. Uap air yang terbentuk selanjutnya dikondensasi menghasilkan air jernih. Dengan demikian air kondensat dapat dibuang atau digunakan kembali.

6. Evaluasi

Pada makalah ini telah dilakukan perancangan dan pembuatan prototipe insinerator *fixed bed updraft* yang terintegrasi dengan *scrubber* untuk memisahkan tar. Sistem yang dirancang merupakan modifikasi dari hasil perancangan sebelumnya (Gambar 6).

Perbedaan keduanya terletak pada sistem pengolah gas buang. Dengan mengacu Gambar 4 dan 6 dapat ditunjukkan yang berbeda adalah arah aliran gas buang dari ruang bakar. Pada Gambar 4, aliran gas buang menuju kolom packing yang juga difungsikan sebagai scrubber, sedangkan Gambar 6 aliran gas buang dialirkan dengan cara digelembungkan ke dalam air yang diisikan di dalam ruang scrubber.





Gambar 6. Sekema insinerator sebelum dimodifikasi
(Sumber: Naryono, 2016)

Secara konseptual kedua sistem dapat berfungsi ganda yaitu untuk menyerap tar pada gas buang hasil pembakaran dan pada saat yang sama berfungsi untuk evaporasi air scrubber sehingga dapat dipisahkan dari tar. Dengan demikian dapat dihasilkan gas buang dan air limbah yang bersih dan ramah lingkungan.

Kedua sistem scrubber ini dapat menurunkan kandungan tar dalam gas buang sampai 75%, dan menurunkan kandungan tar di dalam air scrubber sampai 76%. Keunggulan sistem yang disajikan pada Gambar 4 adalah kecepatan pembakarannya lebih besar daripada sistem yang ditunjukkan Gambar 6. Hal ini disebabkan karena tekanan operasi proses pembakaran Gambar 4 lebih rendah daripada sistem Gambar 6.

7. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Dr. Soemarno MS., Dr.Ir. Arief Rachmansyah dan Dr. Atikah, MSi., Apt (almh) yang telah membimbing sejak mulai penelitian sampai dengan perancangan insinerasi ini.

Daftar Pustaka

- Antonopoulos I-S, A. Karagiannidis, L. Elefsiniotis, G. Perkoulidis, A. Gkouletsos, 2011. Development of an innovative 3-stage-bed gasifier for municipal sold waste and biomass. *Fuel Processing Technology*. **92**: 2389-2396
- Caballero, J.A., Marcilla, A., Front, R., Conesa, JA., 1997. Characterisation of sludges primary and secondary pyrolysis. *J. Anal. Applied Pyrolysis*. **40**: 433-450
- Caneghem J.V., A. Bream, P. Lievens, C. Block, P. Billen, I. Vermeulen, R. Dewil, J. Baeyens, C. Vandecasteele, 2012. Fluidized bed of waste incinerator. *Progress in Energy and Combustion Science* : **Article in Press**
- Chong, C., Qi-Jin, Y., Hua Yan, J., Yong Chi 2011. Simulation of municipal solid waste in two different types of fixed bed reactors. *Fuel. Article in Press*
- Fjellerup J., Ahrenfelt J., Henriksen U., Gobel B., 2005. Formation, decomposition and cracking of biomass tars in gasification. Departement of Mechanical Engineering, Technical University of Denmark. ISBN nr. :**87-7475-326-6** : 5-48
- Julianus, I.K., Hermana, J., 2009. Optimalisasi Pengelolaan TPA Alak dalam Mengatasi Permasalahan Persampahan di Kota Kupang. Makalah seminar nasional aplikasi teknologi prasarana wilayah . ISBN 978-979 –18342 -1- 6
- Levenspiel O., 1999. Chemical Reaction Engineering, 3th edition, John Wiley & Sons (Asia), Singapore.
- Liu, Y.A., Liu, Y.U., 2005. “Novel incineration technology integrated with drying, pyrolysis, gasification, and combustion of MSW and ashes vitrification. *Enviromental Science Technology*. **39**: 3855- 3863.
- Lu Aye, E.R., Widjaya, 2006. Environmental and economic analysis of disposal options for traditional markets in Indonesia. *Waste Management*. **26**: 1180-1191.
- Lee, C.C., Lin, S.D., 2007. Handbook of environmental engineering calculations. second edition. **39** , Mc. Graw- Hill Companies.
- Liang , L., Sun, R., Fei, J., Wu, S., Liu, X., Dai, K., Yao., 2008. Experimental study on effects of moisture content on combustion characteristics of simulated municipal solid waste in fixed bed. *Bioresource Technology*. **99** :7238- 7246
- Naryono E., 2016. Perancangan Sistem Pembakaran Sampah Organik Rumah Tangga Ramah Lingkungan. Disertasi. Universitas Brawijaya, Malang
- Naryono, E., Atikah, Arief R., Soemarno2015. Treatment of waste water from organic fraction incineration of municipal solid waste (MSW) by evaporation-absorbtion process *International Journal of Engineering Research and Development*: **11**(08) : 1- 8
- Patrick, C.A., Bragman, Sander, V.B., van Paasen., Boerrigter, H., 2002. The novel “OLGA”

technology for complete tar removal from biomass producer gas. Paper presented at Pyrolysis and Gasification of Biomass and waste, expert Meeting, 30 September – 1 October 2002, Starsbourg, France.

Quina, J.M., Bordado, J.C., Quinta-Ferreira, R.M., 2008. Review treatment and use of air pollution control residues from MSW incineration. *Waste Management*. **28** : 2097-2121

Solid waste combustion and incineration, http://www.epa.gov/eaposwer/non-hw/muncpl/landfill/sw_combst.htm

Subagiyo, Naryono, E., Santosa, S., 2013. Effect of organic household waste tar removal by condensation on the flue gas composition. *International Journal of Engineering and Science*: 2(2) : 34-41

Stantec, 2011. Technical review of municipal solid waste thermal treatment practices

Werther, J., Ogada, T., 1999. Sawage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*. 25: 55-116.

Warnecke, R., 2000. Gasification of biomass: comparison of fixed bed and fluidizedbed gasifier. *Biomass Bioenergy*. **18(6)** : 489-497.