

PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH KAPASITAS 1000 WATT DENGAN PROSES INSINERASI

Yusrizal¹, Munzir Qadri²

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Abulyatama, email:
yusrizal_mesin@abulyatama.ac.id

²Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, email:
munzir.qadry60@gmail.com

Abstract: *Waste pollution is getting worse if there is no effective effort in handling it. Waste management that starts from its source, like household, has been a challenging problem to be solved. In countering this issue, a system of waste-based power plant with incineration process is theoretically studied and expected to convert municipal waste into electricity with the minimum output of 1000 watt. Waste used in this research is organic municipal waste. The study covers assessment of power needed to run a generator, of steam mass, of heat needed by a boiler, and of amount of waste needed. The result shows that a 1.33 kW powered generator is needed in order to produce 1000 watt of power output. A number of 398.5 kg/hour of waste is needed to produce 44936.1 kJ/hour of heat to heat up a boiler.*

Keywords : *incineration, waste, household, electricity, incinerator, heat.*

Abstrak: Pencemaran akibat sampah semakin lama akan semakin mengkhawatirkan apabila tidak ada usaha yang efektif untuk mengatasinya. Penanggulangan sampah sejak dari sumbernya seperti rumah tangga menjadi tantangan tersendiri untuk diteliti. Dalam hal ini, direncanakan secara teoritis sebuah sistem pembangkit listrik tenaga sampah dengan proses insinerasi yang diharapkan mampu mengkonversi sampah rumah tangga menjadi listrik dengan kapasitas minimum 1000 watt. Dalam perencanaan ini sampah yang digunakan adalah sampah organik yang bersumber langsung dari rumah tangga. Perencanaan ini meliputi perhitungan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan generator, perhitungan massa uap, perhitungan panas yang dibutuhkan boiler, dan perhitungan jumlah sampah yang dibutuhkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk menghasilkan listrik sebesar 1000 watt diperlukan daya sebesar 1,33 kW untuk menggerakkan generator. Kalor yang diperlukan ketel adalah 44936,1 kJ/jam yang dihasilkan dari sampah dalam jumlah 398,5 kg/jam.

Kata kunci : *insinerasi, sampah, rumah tangga, listrik, insinerator, kalor.*

Pencemaran lingkungan akibat sampah semakin lama akan semakin mengkhawatirkan apabila tidak ada usaha yang efektif untuk mengatasinya. Pencemaran akibat sampah bukan saja terhadap tanah, tapi juga terhadap udara dan air yang dapat merugikan manusia dan lingkungan. Terjadinya proses pencemaran lingkungan oleh sampah akibat adanya berbagai macam unsur organik dan non-organik pada sampah

yang tertimbun menjadi satu. Sampah yang sudah cukup lama tertimbun tanpa dilakukan pengolahan akan berpotensi untuk menjadi bahan pencemar (Trisaksono Bagus P.,2002). Komposisi sampah perkotaan di Indonesia mayoritas adalah sampah organik dengan komposisi 73,98% dan bahan anorganik sebanyak 26,48%. Pada tabel 1.1 ditunjukkan komposisi secara umum karakteristik sampah kota yang ada di Indonesia. Penanggulangan sampah dengan cara membakarnya di dalam insinerator akan mengurangi volume sampah sekitar 90%.

Tabel 1 Karakteristik dan Komposisi Sampah rata-rata

| No | Komponen | % | Kadar Air (%) | Nilai Kalor (Kkal/kg) |
|-------|-----------|-------|---------------|-----------------------|
| 1 | Organik | 73,98 | 47,08 | 674,57 |
| 2 | Kertas | 10,18 | 4,97 | 235,55 |
| 3 | Kaca | 1,75 | | |
| 4 | Plastik | 7,86 | 2,28 | 555,46 |
| 5 | Logam | 2,04 | | |
| 6 | Kayu | 0,98 | 0,32 | 38,28 |
| 7 | Kain | 1,57 | 0,63 | 42,64 |
| 8 | Karet | 0,55 | 0,02 | 7,46 |
| 9 | Baterai | 0,29 | | |
| 10 | Lain-lain | 0,86 | | |
| Total | | 100 | 55,3 | 1553,96 |

Sumber :Arie Fernando(2007)

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menemukan solusi dalam penanggulangan sampah rumah tangga dan menemukan sumber energi baru yang bisa dikonversi menjadi listrik untuk kebutuhan skala rumah tangga di perkotaan yaitu minimal 1000 watt.

KAJIAN PUSTAKA

Bioenergi adalah istilah umum bagi energi yang dihasilkan melalui material organik, seperti kayu, tanaman pertanian, sekam, sampah, atau kotoran hewan berdasarkan sumbernya, bioenergi dapat dibagi menjadi dua bagian besar yaitu yang dari limbah pertanian dan budidaya, dan yang dari limbah buangan, seperti buangan tanaman sisa panen, kotoran hewan, sampah kota, limbah pabrik dan sebagainya. (Suyitno M.,2011)

Dalam mengolah limbah menjadi energi pada dasarnya terdapat dua alternatif proses,

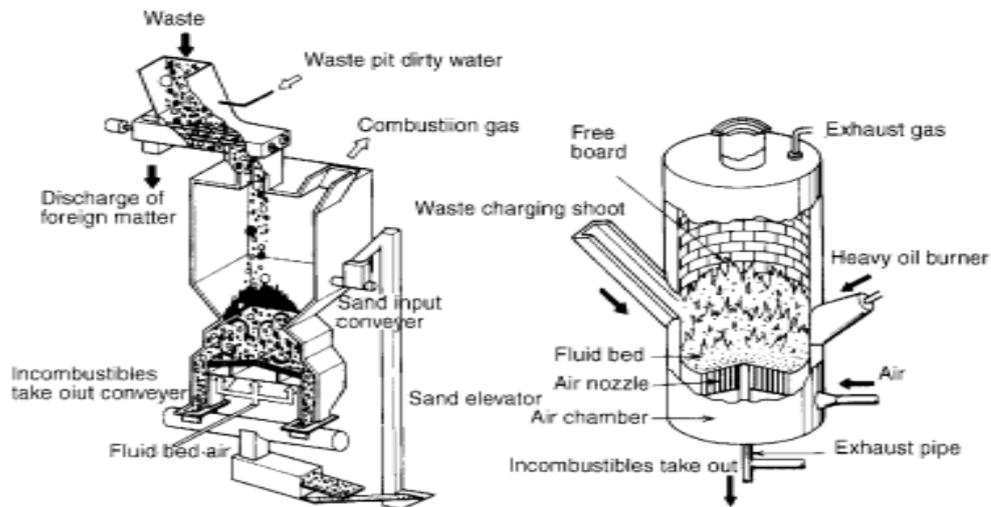
yaitu proses biologis yang menghasilkan gas bio dan proses termal yang menghasilkan panas. Pada kedua proses tersebut, hasilnya dapat langsung dimanfaatkan untuk menggerakkan generator listrik. Perbedaan mendasar antara keduanya ialah proses biologis menghasilkan gas bio yang kemudian dibakar untuk menghasilkan tenaga yang akan menggerakkan motor yang dihubungkan dengan generator listrik sedangkan proses termal menghasilkan panas yang akan digunakan untuk membangkitkan uap (*steam*) yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap yang dihubungkan dengan generator listrik. (Suyitno M., 2011)

Liamsanguan S.H.C., et al (2007) membandingkan proses insinerasi, *landfill* dan pembangkit listrik konvensional menggunakan metode Life Cycle Assessment (LCA) dan menyimpulkan bahwa proses insinerasi memiliki keuntungan yang lebih besar dalam hal pemanasan global dan pembentukan ozon fotokimia dibandingkan pembangkit listrik konvensional, namun tidak dalam hal asidifikasi.

Insinerasi

Insinerasi adalah suatu teknik dalam pengolahan sampah dengan cara membakar dengan temperatur tinggi (*Thermal Treatment*), dan mengubah menjadi debu, gas, partikulat, dan panas. Masalah yang timbul dari proses pembakaran ini adalah gas yang ditimbulkan, seperti dioxin, furan, logam berat, CO, HCL, NOx, dan SO₂. Jika gas-gas yang dikeluarkan melalui cerobong tersebut tidak disaring terlebih dahulu, maka akan menimbulkan pencemaran udara. (Soma S.,2010).

Menurut Trisaksono B.P. (2002), *fluidized bed incinerator* adalah sebuah tungku pembakar yang menggunakan media pengaduk berupa pasir seperti pasir kuarsa atau pasir silika, sehingga terjadi pencampuran (*mixing*) yang homogen antara udara dengan butiran pasir tersebut. Percampuran yang konstan antara partikel-partikel mendorong terjadinya laju perpindahan panas yang cepat serta terjadinya pembakaran sempurna. Fluidized Bed Incinerator cenderung berbentuk tegak lurus dan silindris. Sebagai ilustrasi gambaran sebuah fluidized bed tampak seperti gambar di bawah ini.



Gambar 1 Fluidized Bed Incinerator

Sumber: Trisaksono B.P.,2002

Sistem Kontrol Emisi

Menurut Soma S. (2010), masalah yang timbul dari proses pembakaran ini adalah gas yang ditimbulkan, seperti dioxin, furan, logam berat, CO, HCL, NO_x, dan SO₂. Adapun untuk mengontrol emisi gas tersebut agar tidak berdampak buruk pada lingkungan dapat dilakukan dengan cara:

1. Menyemprotkan Amoniak pada gas buang untuk mengontrol emisi dari NO_x.
2. Menyemprotkan *Lime* atau Sodium bikarbonat untuk mengontrol emisi dari SO₂ dan HCL.
3. Menyemprotkan Karbon untuk menangkap logam berat.

Konversi Sampah Menjadi Energi

Untuk mendapatkan daya listrik yang diharapkan maka perlu dihitung daya yang diperlukan untuk menggerakkan poros generator,

$$\eta_g = \frac{N_e}{N_{\text{efektif}}} \quad (1)$$

Dimana:

N_e = Daya yang dibangkitkan pada terminal generator (kW)

N_{efektif} = Daya efektif yang dihasilkan poros turbin (kW)

Agar generator bisa berjalan, maka diperlukan poros yang terhubung pada turbin sebagai penggeraknya. Perhitungan pada bagian turbin dimulai dari tekanan yang masuk

ke turbin dan mengasumsikan tekanan keluar turbin. Dimana kerja turbin persatuan massa dapat dihitung dengan menggunakan rumus efisiensi sebagai berikut:

$$\eta_s = \frac{W}{W_s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (2)$$

Dimana:

- W = Keluaran kerja yang dapat diukur dari suatu turbin adiabatik yang sebenarnya. (KJ/Kg)
- W_s = Keluaran kerja teoritis suatu turbin isentropik yang bekerja diantara tingkat keadaan awal dan tingkat keadaan akhir yang sama (kJ/kg)
- h₁ = Entalpi uap spesifik masuk turbin (kJ/kg)
- h₂ = Entalpi uap spesifik keluar turbin (kJ/kg)
- h_{2s} = Entalpi uap spesifik pada proses isentropik (kJ/kg)

Untuk mencari kerja turbin terlebih dahulu kita akan mencai nilai entalpi h₂ turbin sedangkan untuk mencari h₂ kita akan mengasumsikan turbin bekerja secara isentropik. Selanjutnya kita akan mencari kondisi uap keluar turbin pada proses isentropik. kondisi ini dihitung dengan persamaan (3) berikut :

$$X_{2s} = \frac{s_{2s} - s_{f2}}{s_{fg2}} \quad (3)$$

Dimana:

- X_{2s} = Kualitas uap keluar turbin pada proses isentropik
- S_{2s} = Entropy keluar pada proses isentropik
- S_{f2} = Entropi cair jenuh proses isentropik
- S_{fg2} = Entropi penguapan pada proses isentropik

Selanjutnya kita akan menghitung entalpy keluar turbin pada proses isentropik dengan persamaan (4) sebagai berikut :

$$h_{s2} = h_{f2} + X_{2s}h_{fg2} \quad (4)$$

Dimana:

- h_{s2} = Entalpi keluar turbin proses isentropik
- h_{f2} = Entalpi cair jenuh keluar turbin proses isentropik
- X_{2s} = Kualitas uap keluar turbin
- h_{fg2} = Entalpi penguapan keluar turbin proses isentropik

Dengan demikian kita dapat menghitung kerja turbin secara isentropik dan kerja turbin aktual perkilogram uap yang melaluinya dengan persamaan(2) diatas. Laju aliran masa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5) seperti di bawah ini, yaitu dengan menggunakan perbandingan antara daya yang masuk generator dengan daya

turbin.

$$\dot{M} = \frac{\dot{W}}{W_T} \quad (5)$$

Dimana:

\dot{M} = Laju aliran massa (lbm/jam)

\dot{W} = Daya yang masuk generator (Btu/jam)

W_T = Kerja turbin (Btu/lbm)

Besarnya jumlah kalor yang dibutuhkan ketel untuk memproduksi uap dapat dihitung dengan persamaan (6) berikut:

$$Q = \dot{M} (h_2 - h_1) \text{ kJ/h} \quad (6)$$

Dimana:

\dot{M} = Laju aliran massa uap keluar ketel (kg/h)

h_2 = Enthalpy uap keluar ketel (kJ/kg)

h_1 = Enthalpy air masuk ketel (kJ/kg)

Terakhir adalah menghitung jumlah sampah yang digunakan atau yang akan dibakar pada insinerator dengan menggunakan persamaan (7) berikut:

$$\eta = \frac{Q}{Q_f} = \frac{\dot{M} (h_2 - h_1)}{M_{sampah} \times CV_{sampah}} \quad (7)$$

Dimana:

Q = laju panas yang dibutuhkan ketel (kJ/Jam)

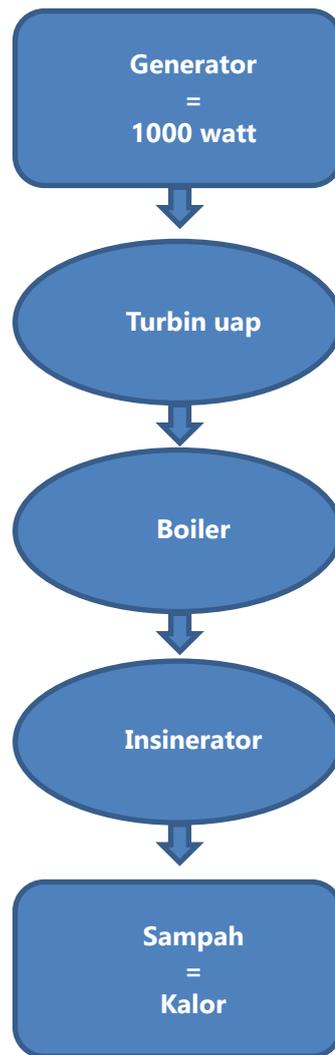
Q_f = Panas pembakaran di ruang bakar (kJ/kg)

CV_{sampah} = Caloric value (kJ/kg)

M_{sampah} = Masa sampah (kg/h) (Reynolds W.C., *et al.*, 1996)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui proses analisa teoritis berdasarkan informasi jumlah dan kandungan sampah di kota-kota besar di Indonesia. Adapun referensi yang digunakan yaitu berupa buku-buku dan jurnal-jurnal penelitian sebelumnya. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Diagram alir tahapan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Generator

Untuk mendapatkan daya output generator yang direncanakan sebesar 1000 watt, maka harus diketahui terlebih dahulu besarnya daya yang dibutuhkan generator tersebut. Menurut Kadir A. (1980), dengan menggunakan efisiensi yang merupakan perbandingan antara daya yang keluar dengan daya yang masuk, maka kita dapat mengetahui besarnya daya yang dibutuhkan generator. Untuk mesin-mesin antara 1-5 HP, memiliki efisiensi antara 75-80 % seperti yang terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Efisiensi generator DC berdasarkan daya keluarannya

| | | | | | | | |
|----------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|
| P (kW) | 1 | 5 | 10 | 20 | 50 | 100 | 250 |
| η % | 75 | 80 | 83 | 85 | 88 | 90 | 92 |

Sumber: Kadir A. (1980)

Daya yang direncanakan adalah 1000 watt = 1,3 HP. Dengan menggunakan interpolasi maka didapat efisiensi untuk generator dengan daya 1,3 HP adalah sebesar 75,6 %. Dengan menggunakan pers. (1) dan asumsi efisiensi generator berdasarkan tabel di atas yaitu sebesar 75,6%, maka besarnya daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan generator adalah 1,32 kW.

Turbin

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Risqiawan D.D., et al. (2013) bahwa dengan pembebanan generator sebesar 1000 watt dan tekanan masuk turbin sebesar 0,8 MPa serta energi kinetik dan potensial diabaikan, maka didapat hasil seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan perencanaan turbin

| | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| P_{in} | T_{in} | P_{out} | T_{out} | S₁ | H₁ | S_{f2} | S_{fg2} |
| 0,8 MPa | 170,4 °C | 1 atm | 100 °C | 6,6636 kJ/kg | 2769,1 kJ/kg | 1,3071 kJ/(kg.K) | 6,0486 kJ/(kg.K) |
| X_{2s} | h_{f2} | h_{fg2} | h_{s2} | W_s | W | h₂ | |
| 0,886 | 419 kJ/kg | 2257 kJ/kg | 2418,7 kJ/kg | 350,4 kJ/kg | 280,3 kJ/kg | 2488,8 kJ/kg | |

Ketel dan Laju Aliran Massa

Menurut Reynolds W.C., et al. (1996), besarnya aliran massa uap ditentukan dengan menggunakan persamaan (3) yaitu dengan menggunakan perbandingan antara daya yang masuk ke generator dan daya turbin. Ketel yang digunakan adalah ketel pipa api karena menurut Muin S.A. (1988) bahwa alasan ketel jenis ini dirancang sedemikian rupa yaitu agar dapat menggunakan air berkualitas rendah, mempunyai tungku yang lebih besar sehingga angka perpindahan panasnya pun lebih besar. Ketel uap jenis ini tergolong ketel uap berukuran kecil dan sederhana dan merupakan awal dari pembuatan ketel uap selanjutnya. Hasil perhitungan perencanaan ketel dapat dilihat pada tabel 4.

Table 4. Hasil perhitungan perencanaan ketel

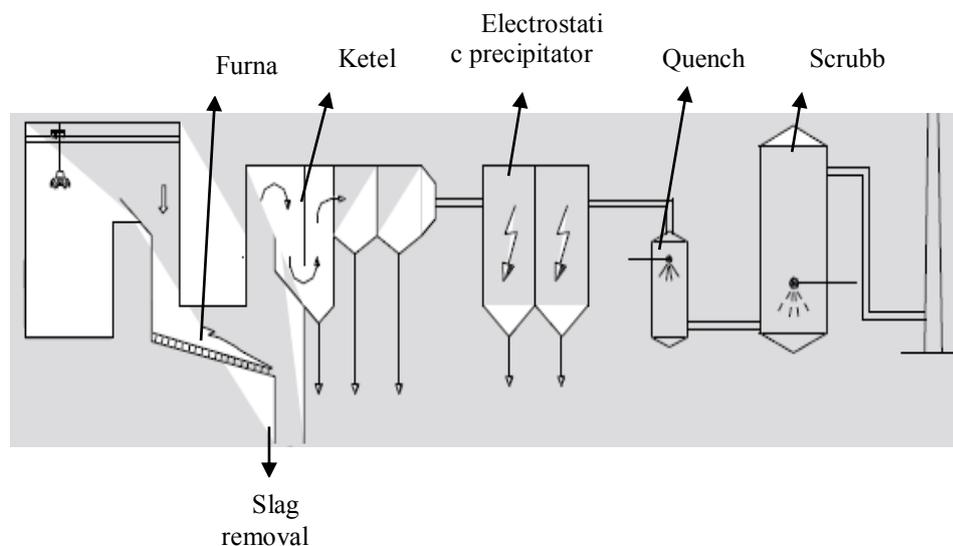
| \dot{M} | h_1 | Q |
|-----------|-------------|----------------|
| 17 kg/jam | 125,8 kJ/kg | 44936,1 kJ/jam |

Kalor dan Sampah

Dalam perencanaan ini sampah yang digunakan adalah sampah organik atau sampah rumah tangga. Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwasampah organik merupakan sampah terbanyak dengan kadar air sebesar 47,08 % dan memiliki nilai kalor sebesar 674,57 kKal/kg. Kemudian banyaknya sampah yang dibakar dalam insinerator dihitung dengan menggunakan persamaan (5) yang mana untuk ketel diasumsikan memiliki efisiensi 70%, sehingga didapat jumlah sampah yang diperlukan yaitu 398,5 kg/jam.

Sistem Control Emisi

Dengan mengacu pada sistem kontrol yang ada (world bank technical guidance report, 1999) dimana konsep sistem kontrol emisi yang digunakan adalah sistem basah, maka dalam penelitian ini juga mengikuti konsep yang sama seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem basah sederhana
Sumber: World bank technical guidance report, 1999

Pada gambar diatas dapat kita lihat partikel dan sebagian logam berat, kecuali raksa (Hg), dihilangkan di *precipitator*. Sedangkan hidrogen klorida (HCl), asam flourida (Hf) dan sebagian Hg akan dihilangkan dalam scrubber basah dengan menyemprotkan air. *Precipitator* beroperasi pada temperatur 150-200 °C, dan karena proses *scrubbing* memerlukan gas buang pada temperatur 55-60 °C maka gas harus didinginkan diantara ESP dan *scrubber*. Hal ini dapat dilakukan dengan menyemprotkan air dalam penurunan panas yang terpisah atau kombinasi dengan alat penukar kalor. Air masuk ke dalam *scrubber* dan menyerap HCL, dan Hf hingga konsentrasinya berada pada batas bawah dan konsentrsi klorida yang tinggi mendukung penyerapan Hg dan menghambat pembentukan So₂. Air disirkulasikan sampai tercapai tingkat klorida tertentu, kemudian dialirkan ke *quencher* sehingga kandungan klorida terkonsentrasi karena penguapan.

Limbah yang dihasilkan mengandung asam flourida (Hf), hidrogen clorida (HCl) dan logam berat yang telah dihilangkan pada proses *scrubbing*. Limbah ini harus dinetralkan dengan menggunakan kalsium hingga mencapai ph 2,5 atau lebih tinggi dengan menggunakan sodium hidroksida.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan perhitungan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem pembangkit listrik tenaga sampah kapasitas 1000 watt memungkinkan untuk direalisasikan.
2. Jumlah pasokan sampah yang dibutuhkan relatif besar untuk skala rumah tangga.
3. Untuk menghasilkan listrik sebesar 1000 watt diperlukan pasokan sampah sejumlah 398,5 kg/jam.

Saran

Diperlukan rancangan dengan dimensi yang terencana guna merealisasikan sistem pembangkit listrik tenaga sampah kapasitas 1000 watt ini. Di samping itu juga masih perlu dilakukan optimasi pada sistem pembangkit ini agar jumlah sampah yang dibutuhkan sesuai dengan jumlah sampah yang dihasilkan rumah tangga sehari-hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Fernando A. (2007). *Pemilihan Teknologi Pengoahan Sampah, Pembiayaan dan Institusi. TPA Regional (Studi Kasus: Kota Jakarta Barat, Kabupaten dan Kota Tangerang Serta Kabupaten Serang)*. Tesis. Jakarta.
- Kadir A. (1980). *Mesin Arus Searah*. Jakarta: Djambatan.
- Liamsanguan S.H.C., et al (2007). Environmental Assessment of Energy Production from Municipal Solid Waste Incineration. *LCA Case Studies*, 529-536.
- Muin S.A. (1993). *Pesawat-Pesawat Konversi Energi II (Turbin Uap)*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Reynolds W.C., et al, (1996). *Termodinamika Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Risqiawan D.D., et al. (2013). Studi Eksperimen Perbandingan Pengaruh Variasi Tekanan Inlet Turbin dan Variasi Pembebanan Terhadap Karakteristik Turbin Pada Organic Rankine Cycle. *Jurnal Teknik Pomits* Vol. 2, No. 1: 414-418.
- Soma S. (2010). *Pengantar Ilmu Teknik Lingkungan Seri: Pengolahan Sampah Perkotaan*. Bogor:IPB Press.
- Suyitno M. (2011). *Energi Alternatif*. Surakarta: Yuma Pustaka.
- Trisaksono B.P. (2002). Pengelolaan dan Pemanfaatan Sampah. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol. 3, No. 1:17-23.
- World Bank Technical Guidance Report. (1999). *Municipal Solid Waste Incineration*. Washington, D.C.