

STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH KAPASITAS 115 KW (STUDI KASUS KOTA TEGAL)

Riza Samsinar¹, Khaerul Anwar²

^{1,2)} Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta

Jl. Cempaka Putih Tengah, Cempaka Putih, Jakarta 10510, Indonesia

Email : riza.samsinar@ftumj.ac.id, khaerul_130@yahoo.com

ABSTRAK

Sampah merupakan suatu masalah yang sering dihadapi oleh kota-kota di Indonesia, karena sampah sendiri membuat pencemaran bagi sekitarnya. Kota Tegal hanya memiliki satu TPA yang menyebabkan sampah semakin menumpuk dikarenakan jumlah sampah yang setiap harinya dibuang tidak sebanding dengan lahan penampungnya. Salah satu pemanfaatan sampah yaitu dengan mengubah sampah menjadi sebuah energi listrik. Dalam penelitian ini, sampah yang digunakan adalah sampah organik sebagai bahan baku PLTSa dengan teknologi insinerasi dan dari hasil perhitungan dengan ketersediaan sampah di TPA Muarareja di kota Tegal, jumlah sampah yang tersedia sebanyak 13.266,78 kg/jam, menghasilkan panas diruang bakar 2.137.278,25 KJ/jam dengan laju panas yang keluar dari incinerator 1.709.822,6 KJ/jam, laju masa aliran uap yang keluar dari ketel 680,71 kg/jam dan daya yang keluar dari turbin sebesar 127.410 watt serta daya yang dihasilkan generator sebesar 114,67 KW.

Kata kunci : Pemanfaatan Sampah organik, Incinerator, Pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa).

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hampir di semua negara, sampah merupakan salah satu permasalahan yang terus dicari solusinya. Di kota Tegal produksi sampah dari tahun ke tahun terus meningkat, selain menyebabkan pencemaran udara di lingkungan sekitar, jumlah lahan yang tersedia tidak sebanding dengan produksi sampah yang terus meningkat.

Salah satu pemanfaatan sampah yaitu dengan mengubah sampah menjadi sebuah energi listrik, Pengolahan sampah menjadi energi listrik sering disebut Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa). Sampah dapat diolah menjadi energi listrik karena dalam sampah mengandung kadar air yang cukup tinggi, khususnya sampah organik.

Pemanfaatan sampah digunakan untuk kebutuhan listrik di lingkungan kota Tegal yang dapat membantu pemerintah kota Tegal dalam menangani polusi udara serta menggalang energi listrik terbarukan dari sampah organik, karena sumber energi listrik dari minyak dan fosil lambat tahun mulai langka dikarenakan sumber tersebut tidak dapat diperbaharui, sedangkan sampah yang ada di kota Tegal dari hari ke hari rata-rata meningkat.

1.2 Perumusan Masalah

Sehubungan dengan judul dan pembatasan masalah diatas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut. Bagaimana cara memanfaatkan sampah

sebagai bahan baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah ? Berapa banyak jumlah sampah yang tersedia untuk diolah menjadi sumber energi listrik ? Bagaimana cara merencanakan dan perhitungan dari sistem tersebut ? Bagaimana mengatasi emisi gas hasil pembakaran agar tidak berdampak buruk pada lingkungan ? Berapa daya yang dihasilkan dari pengolahan sampah sebagai bahan baku PLTSa ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari PLTSa ini dapat dibedakan menjadi 2 yaitu tujuan akademis dan tujuan teknis.

a. Tujuan akademis

Tujuan akademis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai syarat kelulusan program studi strata 1 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta.
2. Menerapkan ilmu yang didapat dibangku perkuliahan secara terpadu dan terperinci sehingga berguna dan berkembang.
3. Melatih dan mengembangkan kreatifitas dalam merancang dan mengemukakan gagasan ilmiah sesuai dengan spesifikasinya secara sistematis.

b. Tujuan teknis

Tujuan teknis dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu merencanakan konsep yang tepat untuk mengolah sampah sebagai bahan baku PLTSa.

2. Mengetahui jumlah kalor yang dibutuhkan ketel.
3. Mengetahui tekanan uap pada turbin.
4. Mengetahui daya yang keluar dari turbin untuk menggerakkan generator.
5. Mengetahui daya yang dihasilkan generator dari jumlah sampah yang ada pada TPA Muarareja.

8	Karet	0,55	0,02	7,46
9	Battery	0,29	-	-
10	Lain-lain	0,86	-	-
	Total	100	55,3	1553,96

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 SAMPAH

Sampah adalah barang yang tidak mempunyai nilai atau tidak berharga untuk maksud biasa atau utama dalam pembikinan atau pemakaian barang rusak atau bercacat dalam pembikinan maufaktur atau materi berkelebihan atau ditolak atau buangan [2].

Berdasarkan sifat kimianya, sampah dibedakan menjadi dua jenis yaitu [3].

1. Sampah organik yaitu sampah yang terdiri dari bahan-bahan penyusun tumbuhan dan hewan yang berasal dari alam.
2. Sampah anorganik yaitu sampah yang berasal dari sumber daya alam yang tak terbaharui seperti mineral dan minyak bumi atau dari proses industri.

Sampah - sampah kota yang ada di Indonesia sebagian besar adalah sampah organik yang mayoritas sampah organik adalah sampah yang berasal dari tanaman , untuk pemanfatan sampah sebagai bahan baku pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) dengan memilah sampah yang bisa di daur ulang.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan BPTT komposisi sampah organik bervariasi antara 70 - 80 %, nilai kalor sampah bervariasi antara 1000 - 2000 Kkal/kg dan kadar air antara 50 – 70 %. Pada table 1 ditunjukkan komposisi secara umum karakteristik sampah yang ada di Indonesia.

Tabel 1. Karakteristik dan komposisi sampah kota rata-rata di Indonesia[6]

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

2.2 TEKNOLOGI INCENERATOR

Incenerasi ialah suatu metode pembuangan sampah dengan cara membakar sampah pada temperature tinggi.Incenerasi dan sistem pengolahan sampah dengan temperatur tinggi dinamakan pengolahan termal atau *thermal treatment* [7].

2.3 BOILER

Boiler atau ketel uap ialah mesin atau alat yang digunakan untuk memproduksi uap pada suhu dan tekanan tertentu dengan cara memanasi air yang ada di dalamnya. Pada dasarnya ketel uap terdiri dari pipa-pipa besar maupun kecil yang dirangkai sedemikian sehingga air dan uap dapat menerima panas hasil pembakaran bahan bakar yang mengalir dibagian lain sehingga proses pembentukan uap dapat berlangsung sesuai dengan maksud desain ketel uap [8].

2.3.1 Utility Boiler[9]

Memprokdsi uap untuk pembangkit tenaga listrik. Kapasitas besar, tekanan dan temperature uap tinggi, efisiensi tinggi, dapur dinding pipa air dengan burner, bila dengan tekanan lebih besar dari 14 Mpa biasanya dengan reheater.

2.4 TURBIN

Turbin ialah mesin konversi energi jenis mesin fluida yang bekerja menghasilkan tenaga keluar.

2.4.1 Turbin Uap

Turbin uap ialah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran motor turbin.

Efisiensi isentropik bukanlah suatu efisiensi konversi energy, tetapi suatu parameter yang membandingkan suatu perangkat actual dengan suatu perangkat ideal (model). Analisa hokum kedua menunjukkan bahwa $\eta_s \leq 1$, harga η_s tergantung dari perancangan dari berbagai sudu turbin, nosel dan diffusor serta prediksi dari berbagai efisiensinya bersandar pada analisa mekanis fluida yang cukup canggih (sophisticated).

Turbin-turbin kecil mempunyai berbagai efisiensi pada urutan 60 – 80 %, berbagai turbin kukus dan gas (uap) yang besar mempunyai efisiensi isentropik pada urutan besaran 96% sudah dibuat pada tahun belakangan ini ^[8].

2.5 GENERATOR

Generator listrik ialah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik.

2.6 KONDENSER

Kondenser merupakan peralatan yang berfungsi mengembungkan kembali uap yang dimanfaatkan untuk memutar turbin uap. Hal ini bertujuan untuk menghemat air serta menjamin kemurnian air yang digunakan dalam system turbin uap agar tidak terjadi pengendapan akibat kotoran-kotoran yang dapat merusak turbin.

2.7 PERENCANAAN PLTSa

2.7.1 Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)

Pembangkit listrik tenaga sampah merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan sampah sebagai bahan bakar. Sampah ini nantinya akan digunakan untuk memanaskan air dalam boiler. Uap panas yang dihasilkan boiler ini dimasukkan ke turbin uap yang akan memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik. Ada beberapa tahapan dalam proses PLTSa yaitu ^[14].

a. Sampah dari TPS diangkut oleh truk-truk pengangkut sampah ke PLTSa. Truk yang tiba akan ditimbang terlebih dahulu sebelum membuang sampah ke bunker sampah. Truk kosong yang keluar dari bunker sampah juga ditimbang agar diketahui berat bersih sampah yang dibuang ke dalam bunker berdinding beton. Ruang bongkar sampah ini merupakan ruangan tertutup dan udara dalam ruangan dihisap oleh kipas udara sehingga bau sampah tidak menyebar keluar ruangan tetapi terhisap kipas udara dan selanjutnya disalurkan ke tungku pembakaran. Dimensi bunker harus dapat menampung kebutuhan sampah 5-10 hari. Sampah basah di dalam bunker ditiriskan 3-5 hari, kemudian air lindi disalurkan ke IPAL supaya tidak mencemari lingkungan sekitar. Sampah yang sudah didiamkan beberapa hari mempunyai nilai kalor 800-1400 kkal/kg dan kadar air 50-60 %.

b. Sampah yang sudah mengering ini kemudian diangkut ke tungku pembakaran dengan grabber yang terpasang pada *overhead traveling crane* yang dikendalikan dari jarak jauh dari ruang kendali. Sampah dari grabber dijatuhkan sedikit demi sedikit ke dalam hopper tungku, sampah kemudian dimasukkan ke dalam tungku pembakaran melalui mekanisme pemasukan sampah pada tungku. Tungku dirancang agar sampah dapat terbakar pada suhu 850⁰-900⁰C dalam waktu yang lama sehingga seluruh sampah dapat terbakar sempurna serta menghilangkan gas-gas beracun yang terbentuk seperti dioksin dan furan. Pada saat awal pembakaran diperlukan bahan bakar pembantu seperti minyak bakar, gas atau batu bara. Sisa pembakaran berupa abu bawah (Bottom Ash) dikeluarkan secara otomatis dan dikumpulkan sebelum diangkut untuk dimanfaatkan lebih lanjut, debu yang dihasilkan dari sisa pembakaran 20% dari berat sampah awal.

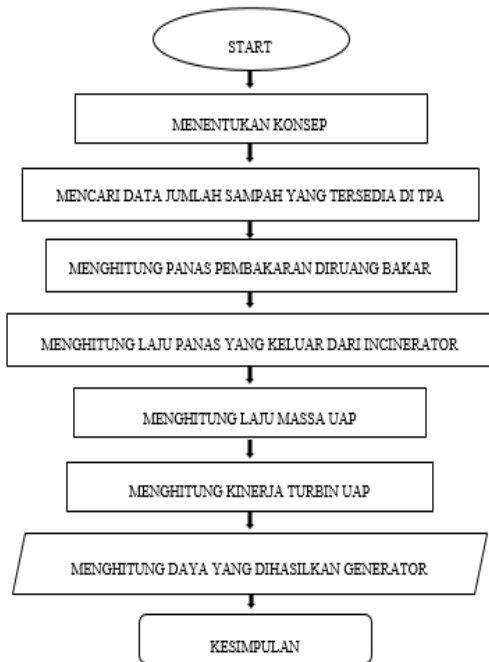
c. Gas panas hasil pembakaran kemudian dimanfaatkan untuk menguapkan air yang berada pada pipa-pipa ketel (Boiler). Saluran gas panas dari tungku diatur agar temperatur gas panas ketika mengenai boiler tidak terlalu tinggi. Demikian juga tekanan dan temperature uap di dalam pipa diatur agar perbedaan temperature antara gas panas dan uap air tidak menyebabkan pengembunan gas pada pipa-pipa boiler yang berakibat korosi pada pipa-pipa boiler. Pipa-pipa boiler dilengkapi dengan penyemprot gas asitilen untuk menghilangkan kerak pada pipa-pipa boiler.

d. Uap bertemperatur dan bertekanan tinggi yang dihasilkan, digunakan untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator pembangkit listrik. Jumlah air yang diperlukan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik bergantung pada karakteristik turbin yang dihasilkan. Uap yang dihasilkan tidak langsung dibuang tetapi diembunkan di kondensor, dan dialirkan kembali ke ketel. Meskipun air disirkulasikan kembali, diperlukan penambahan air ketel sebesar 10-15% untuk mengkompensasi kebocoran uap yang terjadi.

e. Setelah panasnya dimanfaatkan untuk membangkitkan uap gas hasil pembakaran dialirkan ke pengolah gas buang untuk menghilangkan gas-gas asam seperti Sox, HCL, NOx, logam berat, dioksin. Gas bertemperatur rendah yang keluar dari alat penghilang gas asam kemudian dilewatkan penyaring debu. Penyaring debu dapat berupa

penyaring debu biasa atau dikombinasi dengan electrostatic precipitator (EP).Perlu dilengkapi juga alat katalis penghilang NOx dan penghilang dioxin.

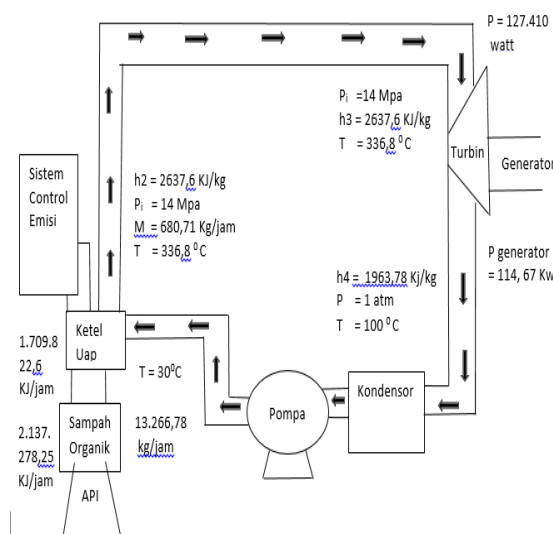
3 SISTEMATIKA PENELITIAN



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 MENENTUKAN KONSEP



Gambar 4.1 Konsep perencanaan PLTSA [8].

4.2 JUMLAH TIMBUNAN SAMPAH YANG TERSEDIA

TPA Muarareja beralamat di kelurahan Muarareja jalan Mataram kecamatan Tegal Barat kota Tegal. Menurut kepala UPTD pengolahan sampah, Luas lahan TPA Muarareja 5 Ha.

Sedangkan menurut kasi pengolahan sampah pada Dinas Lingkungan Hidup yang beralamat di jalan Nila no 11 kabupaten Tegal, sampah yang berada di TPA Muarareja berasal dari 71 TPS dan TPST se kota Tegal dengan produksi sampah 988 m³/hari dengan massa jenis sampah domestik atau sampah rumah tangga 481 kg/m³ (www.google.co.id) atau setara 475.228 kg / hari. Berikut ini data produksi sampah rata-rata per hari di kota Tegal yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 21. Tabel produksi sampah rata-rata per hari di kota Tegal [1]

No	Tahun	Produksi sampah (m ³)
1	2012	728
2	2013	730
3	2014	733
4	2015	734
5	2016	988

Sementara itu dilihat dari komposisi atau karakteristik jenis sampahnya diketahui bahwa sampah domestik atau sampah rumah tangga didominasi oleh sampah organik 65%, disusul jenis sampah plastik atau karet 17%, sampah kertas 9%, sampah kain/tekstil/bahan kulit 7%, kaca/gelas/kramik 2%, serta logam 1%. Sampah non-domestik didominasi sampah organik 69%, disusul sampah jenis kertas 16 %, sampah plastic/karet 12%, sampah kain/tekstil/bahan kulit 1%, serta sampah kaca/gelas/kramik 1%, dan sampah lain-lain 1%.

Secara keseluruhan komposisi sampah kota didominasi sampah organik 67%, sampah kertas 15%, serta sampah plastik atau karet 13% dan sampah lain-lain 5%.

Tabel 3. Komposisi atau karakteristik jenis sampah kota Tegal (sumber : Dokumen Masterplan Persampahan kota Tegal)

No	Jenis sampah	Jumlah sampah (kg/hari)	% dari total sampah (475.228 kg/hari)
1	Organik	318.402,76	67

2	Kertas	71.284,2	15
3	Plastik atau karet	61.779,64	13
4	Lain-lain	23.761,4	5

Dari tabel 3 jumlah produksi sampah organik yaitu 318.402,76 kg/hari, atau 13.266,78 kg/jam (satu hari = 24 jam), dari data produksi sampah organik per-jam inilah yang nantinya untuk menghitung panas pembakaran diruang bakar.

4.3 MENGHITUNG PANAS PEMBAKARAN DIRUANG BAKAR

Seperti yang telah dijelaskan bahwa total nilai kalor sampah organik menurut Arie Fernando, 2007 adalah 674,57 Kkal/kg.

Sehingga untuk mengetahui panas diruang pembakaran incinerator :

$$Q_f = M \text{ sampah} \times CV \text{ sampah}$$

Dimana :

$$Q_f = \text{Panas pembakaran diruang bakar (KJ/jam)}$$

$$M \text{ sampah} = \text{Masa sampah (kg/jam)}$$

$$CV \text{ sampah} = \text{Calori Value sampah (KJ/kg)}$$

Sebagaimana diketahui :

$$M \text{ sampah} = 13.266,78 \text{ kg/jam}$$

$$CV \text{ sampah} = 674,57 \text{ Kkal/kg} = 161,1 \text{ KJ/kg}$$

(1KJ/kg = 0,23884 Kkal/kg)^[8]

Sehingga :

$$Q_f = M \text{ sampah} \times CV \text{ sampah}$$

$$= 13.266,78 \times 161,1$$

$$= 2.137.278,25 \text{ KJ/jam}$$

4.4 MENGHITUNG LAJU PANAS YANG KELUAR DARI INCINERATOR

$$\eta = \frac{Q}{Q_f}$$

Dimana :

$$\eta = \text{Efisiensi ketel (\%)}$$

$$Q = \text{Laju panas yang keluar dari incenerator (KJ/jam)}$$

$$Q_f = \text{Panas pembakaran diruang bakar (KJ/jam)}$$

Sehingga untuk menghitung jumlah kalor yang keluar dari incenerator adalah :

$$Q = \eta \times Q_f$$

Sebagaimana diketahui :

$$\eta = 80 \% = 0,8$$

$$Q_f = 2.137.278,25 \text{ KJ/kg}$$

Sehingga :

$$Q = \eta \times Q_f$$

$$= 0,8 \times 2.137.278,25$$

$$= 1.709.822,6 \text{ KJ/jam}$$

4.5 MENGHITUNG LAJU ALIRAN MASA UAP

$$M = \frac{Q}{h_2 - h_1}$$

Dimana :

$$M = \text{Laju aliran masa uap keluar dari ketel (kg/jam)}$$

$$Q = \text{Laju panas yang keluar dari incenerator (KJ/jam)}$$

$$h_1 = \text{Etalphy air masuk ketel (KJ/kg)}$$

$$h_2 = \text{Entalphy uap keluar ketel (KJ/kg)}$$

Sebagaimana diketahui :

$$\text{Temperatur masuk} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Tekanan pada ketel} = 14 \text{ Mpa}$$

Sehingga dapat diketahui :

$$h_1 = 125,8 \text{ KJ/kg (dari tabel)}$$

$$h_2 = 2637,6 \text{ KJ/Kg (dari tabel)}$$

$$Q = 1.709.822,6 \text{ KJ/jam}$$

Sehingga :

$$M = \frac{Q}{h_2 - h_1}$$

$$= \frac{1.709.822,6}{(2637,6 - 125,8)}$$

$$= \frac{1.709.822,6}{2511,8}$$

$$= 680,71 \text{ kg/jam}$$

4.6 MENGHITUNG KINERJA TURBIN UAP

Pada tingkat keadaan 1

$$\text{Tekanan masuk} = 14 \text{ Mpa, utility boiler }^{[9]}$$

Sehingga :

$$S_1 = 5,3726 \text{ KJ/Kg (dari tabel)}$$

$$h_2 = h_3 = 2637,6 \text{ KJ/Kg (dari tabel)}$$

Pada tingkat keadaan 2 sistem terbuka^[8].

Diasumsikan :

$$\text{Tekanan keluar} = 1 \text{ atm}$$

$$\text{Temperatur keluar} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sehingga :

$$S_{f2} = 1,3071 \text{ KJ/(Kg.K)}$$

$$S_{fg2} = 6,0486 \text{ KJ/(Kg.K)}$$

Dikarenakan proses secara isentropik sehingga $S_{2s} = S_1$ kondisi ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_{2s} = \frac{S_{2s} - S_{f2}}{S_{fg2}}$$

Dimana :

$$X_{2s} = \text{Kualitas uap keluar turbin proses isentropik}$$

$$S_{2s} = \text{Entropi keluar pada proses isentropik (KJ/kg.K)}$$

$$S_{f2} = \text{Entropi air jenuh proses isentropik (KJ/kg.k)}$$

$$S_{fg2} = \text{Entropi penguapan pada proses isentropik (KJ/kg.K)}$$

Sebagaimana diketahui :

$$S_{2s} = S_1 = 5,3726 \text{ KJ/Kg} \quad (\text{dari tabel})$$

$$S_{f2} = 1,3071 \text{ KJ/(Kg.K)} \quad (\text{dari tabel})$$

$$S_{fg2} = 6,0486 \text{ KJ/(Kg.K)} \quad (\text{dari tabel})$$

Sehingga :

$$X_{2s} = \frac{S_{2s} - S_{f2}}{S_{fg2}}$$

$$= \frac{5,3726 - 1,3071}{6,0486}$$

$$= \frac{4,0655}{6,0486}$$

$$= 0,672$$

$$h_{s2} = h_{f2} + X_{2s} \times h_{fg2}$$

Dimana :

h_{s2} = Entalpi keluar turbin proses isentropik (KJ/kg)

h_{f2} = Entalpi cair jenuh keluar turbin proses isentropik (KJ/kg)

X_{2s} = Kualitas uap keluar turbin proses isentropik

h_{fg2} = Entalpi penguapan keluar turbin proses isentropic (KJ/kg)

Sebagaimana diketahui :

Temperatur keluar = 100 °C

Sehingga diketahui :

$$h_{f2} = 419,0 \text{ KJ/kg} \quad (\text{dari tabel})$$

$$h_{fg2} = 2257,0 \text{ KJ/kg} \quad (\text{dari tabel})$$

Sehingga :

$$h_{s2} = h_{f2} + X_{2s} \times h_{fg2}$$

$$= 419,0 + 0,672 \times 2257,0$$

$$= 1935,7 \text{ KJ/kg}$$

Pada langkah selanjutnya ialah Menghitung kerja turbin isentropik dan kerja turbin adiabatik sebenarnya, dimana efisiensi turbin isentropik diasumsikan 96 %^[17].

$$\eta_s = \frac{w_t}{w_s} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{s2}}$$

Sehingga :

$$W_s = h_3 - h_{s2}$$

$$W = W_s \times \eta_s$$

Dimana :

η_s = Efisiensi turbin isentropik (%)

W_t = Keluaran kerja yang dapat diukur dari suatu turbin adiabatik yang sebenarnya (KJ/kg)

W_s = Keluaran kerja teoritis suatu turbin isentropic yang bekerja diantara tingkat keadaan awal dan tingkat keadaan akhir yang sama (KJ/kg)

h_3 = Etalpi uap spesifik masuk turbin (KJ/kg)

h_4 = Entalpi uap spesifik keluar turbin (KJ/kg)

h_{s2} = Entalpi uap spesifik pada proses isentropic (KJ/kg)

Sebagaimana diketahui

$$\eta_s = 96 \% = 0,96$$

$$h_2 = h_3 = 2637,6 \text{ KJ/Kg} \quad (\text{dari tabel})$$

$$h_{s2} = 1935,7 \text{ KJ/kg}$$

Sehingga :

$$W_s = h_3 - h_{s2}$$

$$= 2637,6 - 1935,7$$

$$= 701,9 \text{ KJ/kg}$$

$$W_t = W_s \times \eta_s$$

$$= 701,9 \times 0,96$$

$$= 673,82 \text{ KJ/kg}$$

Selanjutnya h_4 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kerja turbin adiabatik dengan persamaan $W = h_3 - h_4$.

$$h_4 = h_3 - W_t$$

Dimana :

h_4 = Entalpi uap spesifik keluar turbin (KJ/kg)

h_3 = Etalpi uap spesifik masuk turbin (KJ/kg)

W_t = Keluaran kerja yang dapat diukur dari suatu turbin adiabatik yang sebenarnya (KJ/kg)

Sebagaimana diketahui :

$$h_2 = h_3 = 2637,6 \text{ KJ/Kg} \quad (\text{dari tabel})$$

$$W_t = 673,82 \text{ KJ/kg}$$

Sehingga :

$$h_4 = h_3 - W_t$$

$$= 2637,6 - 673,82$$

$$= 1.963,78 \text{ KJ/kg}$$

4.7 MENGHITUNG DAYA YANG DIHASILKAN GENERATOR

$$N_{\text{efektif}} = W_t \times M$$

Dimana :

N_{efektif} = Daya yang keluar dari turbin (KW)

W_t = Keluaran kerja yang dapat diukur dari suatu turbin adiabatik yang sebenarnya (KJ/kg)

M = Laju aliran masa uap keluar dari ketel (kg/jam)

Sebagaimana diketahui :

$$W_t = 673,82 \text{ KJ/kg}$$

$$M = 680,71 \text{ kg/jam}$$

Sehingga :

$$N_{\text{efektif}} = W_t \times M$$

$$= 673,82 \times 680,71$$

$$= 458.676,01 \text{ KJ/jam}$$

$$= 127.410 \text{ Watt} \quad (\text{1KJ/jam} = 0,2777777777777778 \text{ Watt})$$

$$= 127,41 \text{ KW}$$

Langkah selanjutnya adalah menghitung daya yang telah dibangkitkan oleh generator seperti

kita ketahui untuk efisiensi generator sendiri ialah 90 %^[16].

$$P_{\text{generator}} = N_{\text{efektif}} \times \eta_{\text{generator}}$$

Dimana :

$P_{\text{generator}}$ = Daya yang dihasilkan generator (KW)

N_{efektif} = Daya yang keluar dari turbin (KW)

$\eta_{\text{generator}}$ = Efisiensi generator (%)

Sebagaimana diketahui :

$$\eta_{\text{generator}} = 90 \% = 0,9$$

$$N_{\text{efektif}} = 127.410 \text{ Watt}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= N_{\text{efektif}} \times \eta_{\text{generator}} \\ &= 127.410 \times 0,9 \\ &= 114.669 \text{ Watt} \\ &= 114,67 \text{ KW} \end{aligned}$$

5 KESIMPULAN

1. Dengan ketersediaan sampah pada TPA Muarareja kota Tegal sebanyak 988 m³ dengan massa jenis sampah 481 kg/m³ atau setara 475.228 kg / hari setelah dipilah sampah organik yang ada di TPA Muarareja kota Tegal adalah 67% yaitu 318.402,76 kg/hari dan jika dihitung kedalam per jam menjadi 13.266,78 kg/jam, menghasilkan panas pembakaran diruang bakar 2.137.278,25 KJ/jam, dengan laju panas yang keluar dari incinerator 1.709.822,6 KJ/jam.
2. Laju aliran masa uap yang keluar dari ketel uap adalah 680,71 kg/jam dengan suhu masuk ketel 30⁰ C dengan tekanan 14 MPa, ketel yang digunakan ialah utility boiler,
3. Entalphi yang masuk ke turbin sama dengan entalphi yang keluar dari ketel uap yaitu 2637,6 KJ/Kg dan entalphi yang keluar dari turbin adalah 2076,08 KJ/kg dapat menghasilkan daya 127.410 Watt untuk membangkitkan generator.
4. Dengan jumlah sampah yang tersedia di TPA Muarareja kota Tegal yaitu 13.266,78 kg/jam dapat menghasilkan daya yang keluar dari generator sebesar 114,67 KW.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Dinas Pemukiman Dan Tata Ruang Kota Tegal.
- 2 Mitchell, B.1997, *Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan*, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- 3 Damanhuri, Enri & Tri Padmi, 2010, Diktat kuliah TL-3104 *pengolahan Sampah Bandung* : FTSL ITB.
- 4 Trisaksono Bagus P. 2002. *Pengelolaan Dan Pemanfaatan Sampah Menggunakan Teknologi Incenerator*, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol.3, No 1 : 17-23.
- 5 Cokorde Gede Indra Partha. *Penggunaan Sampah Organik Sebagai Pembangkit Listrik di TPA Suwung – Denpasar*. *Jurnal Vol. 152 9 No.2 Juli – Desember 2010*.
- 6 Fernando, arie 2007 *Pemilihan Teknologi Pengolahan Sampah Pembiayaan dan Institusi TPA Regio Nol (Studi kasus: kota Jakarta Barat , kabupaten dan kota Tangerang serta kabupaten Serang)*.Tesis. Jakarta.
- 7 Soma, Soekaman.2010. *Pengantar ilmu teknik lingkungan seri : Pengolahan sampah perkotaan*. IPB press. Bogor.
- 8 Mundzir Qadri, Duwi Adi Rahmat, 2017. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 1000 Watt*.
- 9 Ridwan ST,MT^{*}), Elbi Wiseno, ST,MT^{*}), Firdaus^{**}), *Karakteristik Ketel Pipa Api Kapasitas Uap 6000 Kg/Jam Berbahan Bakar Solar di PT. Mustika Ratu, Tbk*.
- 10 Word Bank Technical Guidace Report. 1999. *Municipal solid Waste incineration*. Washington, D.C. 20433, U.S.A.
- 11 Cahyo Adi Basuki^[1], Ir. Agung Nugroho^[2], Ir. Bambang Winardi^[2], *Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Metode Least Square*.
- 12 Qamaruddin¹⁾, Muhammad Ilyas Sikki²⁾, 2016. *Analisis Kebutuhan Bahan Bakar Terhadap Perubahan Tekanan Uap*, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, Vol. 4, No. 2.
- 13 M. Suyitno. 2011. *Energi Alternatif*. Yuma Pustaka Surakarta.
- 14 Safrizal.2014. *Distributed Generation Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kota (PLTSA) Type Incinerator Solusi Listrik Alternatif kota Medan*. Prosiding SNATIF Ke-1 ISBN: 978-602-1180-04-4.
- 15 Monice¹, Pemonov², 2016. *Analisa Potensi Sampah Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Di Pekanbaru*, *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)* , Vol 1 No 1, pp. 9-16 ISSN 2548-6888 print, ISSN 2548-9445.

- 16 Faridha, Budi Pirngadie, Nina Konitat Supriatna 2015. *Potensi Pemanfaatan Sampah Menjadi Listrik Di TPA Cilowong Kota Serang Provinsi Banten, Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan* Vol.14 No.2 : 103-116, ISSN 1978-2365.
- 17 William C Reynold, Hendrye, Perkin, 1996, *Thermodinamika Teknik*, Jakarta, Erlangga.
- 18 Siti Ade Fatimah, 2009, *Analisis Kelayakan Usaha Pengolahan Sampah Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah*.
- 19 <http://irianpoo.blogspot.co.id/2013/05/mengenal-turbin-uap.html>
- 20 <http://dunia-listrik.blogspot.co.id/2009/01/generat-or-dc.html>