

Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Berbasis Bioteknologi Lingkungan

¹Hasyim Suyuti Amin Muzzekki

¹Teknik Elektro, Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan

[¹Hasyims163@gmail.com](mailto:Hasyims163@gmail.com)

Abstract - The need for electrical energy is very high, especially in Indonesia, until now it still uses fossil fuels which cannot be renewed, therefore it is necessary to have alternative technologies that can be renewed such as waste power plants, their existence is very much found considering the amount of waste in Indonesia reaches up to 64 million tonnes annually. By using environmental biotechnology, it can be an environmentally friendly source of energy. The results of biogas processing using a 100L tank can produce 23846.26 kcal so that it can produce 27.66 kWh / day. If applied on a large scale at Tps Labang District, Bangkalan Regency, which produces 60 tons of waste every day, 17 July 2020 by taking 50% to 30,000 kg of organic waste every day with a calorific value of 1135.05 kcal. Then the thermal energy obtained is 34,051,500kcal / day. To find the power capacity generated according to the equation, the number (kcal) x 0.00116 (kWh / kcal) = 39.499.74 kWh / day, per day divided by the number of hours that is 24. Then the power capacity of the generator is 1,645.82 kW.

Keyword – Design of waste power plants based on environmental biotechnology

Abstrak - Kebutuhan energi listrik sangatlah tinggi terkhususnya di Indonesia hingga saat ini masih menggunakan bahan bakar fosil yang keberadaannya tidak bisa diperbaharui, maka dari itu perlu teknologi alternatif yang bisa diperbaharui seperti pembangkit listrik tenaga sampah, keberadaannya sangat banyak di temukan mengingat jumlah komsumtif sampah di Indonesia mencapai hingga 64 juta ton setiap tahunnya. Dengan menggunakan cara bioteknologi lingkungan dapat menjadi sumber tenaga yang ramah lingkungan.. Hasil pengolahan biogas dengan menggunakan tangki 100L, dapat menghasilkan 23846,26 kkal sehingga bisa menghasilkan 27,66 kWh/harinya. Jika di terapkan dalam skala besar di tps Kecamatan Labang kabupaten Bangkalan yang menghasilkan sampah 60 ton setiap harinya 17 juli 2020 dengan mengambil 50 % menjadi 30.000 kg untuk sampah organik setiap harinya dengan nilai kalor 1135,05 kkal. Maka di peroleh energi thermal sebesar 34.051.500kkal /hari. Untuk mencari kapasitas daya yang di hasilkan sesuai persamaan maka jumlah (kkal) x 0,00116 (kWh/kkal) =

39.499,74 kWh/hari, perhari di bagi di bagi jumlah jam yaitu 24. Maka kapasitas daya pembangkit sebesar 1.645,82 kW.

Kata Kunci – Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Berbasis Bioteknologi Lingkungan

I. Pendahuluan

Sampah merupakan suatu masalah yang sering dihadapi oleh kota-kota di Indonesia, Salah satu pemanfaatan sampah yaitu dengan mengubah sampah menjadi sebuah energi listrik. Dalam penelitian ini, sampah yang digunakan adalah sampah organik 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 (Riza, 2018)

Energi terbarukan merupakan sumber energi alam yang dapat langsung dimanfaatkan dengan bebas. Selain itu, ketersediaan energi terbarukan ini tak terbatas dan bisa dimanfaatkan secara terus menerus. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan sampah yang berpotensi dapat dikonversi menjadi energi listrik. Fakta menunjukkan bahwa potensi pemanfaatan sampah kota untuk pembangkit listrik sangatlah besar, baik dengan metode *Thermal* atau metode *Landfill*. (Monice, 2016)

Dengan dibangunnya PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah) di TPST Bantargebang akan mengurangi dampak dari sampah yang tertimbun. PLTSa Bantargebang memiliki pembangkit listrik dengan kapasitas 15,6 MW dan pada tahun 2017 hanya menghasilkan 250 KW.. Berdasarkan hasil evaluasi dengan memperbaiki sistem PLTSa memakai *capping* beserta pipa vertikal untuk mengkoleksi *gas landfill* yang diperoleh berpotensi dapat menghasilkan listrik sebesar 22,9 MW. (Prasetyo, 2017)

waste-to-energy (WTE) systems adopting the best available control technology for air pollution is a win-win approach because it also generates

electricity to mitigate the dependence on imported fossil fuels and the greenhouse gas emissions incidentally. In this work, the updated status of municipal solid waste (MSW) and WTE plants in Kaohsiung were analyzed to get the crux based on the official database. Using the operational data on the WTE plants over recent years (2003–2018), the analysis of operational efficiencies for the four WTE plants in Kaohsiung was addressed in the paper (tsai, 2019)

II. Metode Penelitian

Hasil dan Pembah Metodologi penelitian adalah tahapan yang harus dilakukan dalam melakukan penelitian, perancangan dan pengujian. Secara garis besar tahapan tertuang pada gambar di bawah ini. Untuk memulai penelitian dengan perancangan dan penyusunan alat dan bahan serta literature di dalam pelaksanaannya. Dari hasil rancangan dilakukanlah pengujian, apabila belum selesai kembali lagi ke penyusunan dan perancangan. Apabila telah selesai maka penelitian di analisa dan disimpulkan

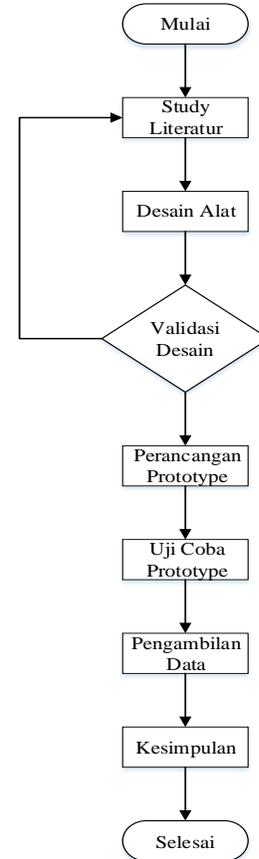
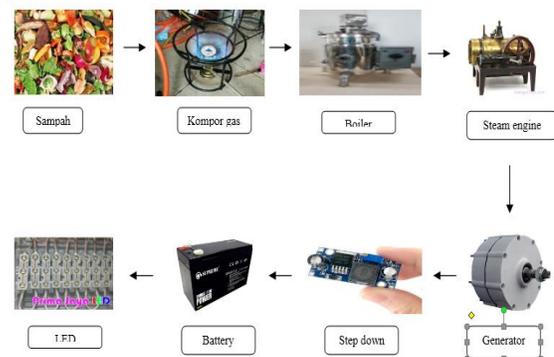


Diagram Block Sistem



gambar 15 diagram block

Didalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) input yang dihasilkan dari sampah yang sebelumnya di olah terlebih dahulu, dalam proses pengolahannya sampah yang di ambil dari pasar, atau tempat pembuangan sampah lainnya akan dikumpulkan di tempat pembuangan akhir (TPA), setelah sampah di kumpulkan semuanya sampah dimasukkan kedalam pemilah sampah, dimana sampah di bagi menjadi dua kategori, sampah

organik dan sampah anorganik. Setelah sampah selesai dipilah, sampah organik di kumpulkan di sebuah ruangan yang kedap udara, proses ini di sebut dengan proses fermentasi yang akan menghasilkan gas metana sebagai sumber bahan bakar yang nantinya membakar boiler untuk mendidihkan air, setelah air mendidih akan menghasilkan uap ini bertekanan tinggi yang akan memutar turbin uap dan juga secara otomatis untuk memutar generator sehingga nantinya akan menghasilkan energi listrik.

Beikut ini alat dan fungsinya

a. Boiler

Berfungsi sebagai tempat proses pembakaran untuk mendidihkan air untuk bisa menghasilkan uap bertekanan agar bisa memutar turbin

b. Tungku gas berfungsi sebagai alat yang memproses pembakaran dari gas yang di hasilkan menjadi api

c. Turbin Uap / mesin uap

Berfungsi sebagai penerima gaya yang di terima dari Boiler sehingga akan berputar dan secara otomatis memutar generator

d. Generator

Berfungsi sebagai memproduksi listrik yang di hasilkan dari turbin uap

e. Rangkaian step down

Berfungsi sebagai penurun tegangan listrik yang di hasilkan dari turbin uap

f. Baterai / accu

Berfungsi sebagai penyimpan tegangan listrik

g. Beban

Berfungsi sebagai indikator dihasilkan energi listrik

III. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pembuatan Prototype



Gambar 3.1 Gambar Pembangkit Prototype

Dalam pengujian pembangkit listrik tenaga sampah ada beberapa kategori dalam sub pengujiannya yaitu: pengujian pembuatan biogas, pengujian boiler, pengujian mesin uap dan generator.

3.2 Pengujian Biogas

Dalam pembuatan biogas harus menentukan jumlah volume massa air, sampah, dan massa kotoran sapi

Analisis perancangan

➤ Perhitungan volume digester

$$\begin{aligned} V &= \pi^2 \times t \\ &= 3,14 \times (28)^2 \times 41 \\ &= 100.932,16 \text{ cm}^3 \\ &= 0,10 \text{ m}^3 \\ &= 100,93 \text{ liter} = 100 \text{ liter} \end{aligned}$$

➤ Banyaknya kotoran sapi dan sampah

Dalam perhitungan jumlah kotoran sapi dan sampah yang di butuhkan untuk menghasilkan biogas yang akan di gunakan. Diketahui massa jenis kotoran sapi 1351,85 kg/m³, massa jenis sampah organik 0,0116 – 0,2494 kg/L jika diambil rata – rata 0,0909 kg/L. Jumlah volume yang terdapat di digester harus 3/4.

a. Volume tangki = 0,10 m³ atau 100 liter

b. Volume (V) ³/₄ dari bubur kotoran sapi, sampah organik dan air dengan menggunakan perbandingan yaitu : 0,5:1:1,5

$$\begin{aligned} V &= \frac{3}{4} \times 0,10 \text{ m}^3 \\ &= 0,0752 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

0,0302 m³ volume digester yang di isi sampah organik, air 0,03231 m³ dan kotoran sapi 0,01251 m³

c. Massa kotoran sapi (Ms) yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} M_s &= 1351,85 \text{ kg/m}^3 \times 0,01251 \text{ m}^3 \\ &= 16,9 \text{ kg} \end{aligned}$$

d. Massa sampah (Mo) yang di butuhkan

$$\begin{aligned} M_o &= 100L \times 0,0302 \text{ kg/m}^3 \\ &= 9,69 \text{ kg} \end{aligned}$$

e. Massa air (Ma) yang di butuhkan

$$\begin{aligned} M_a &= 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0,03225 \text{ m}^3 \\ &= 32,25 \text{ kg} \end{aligned}$$

➤ Desain rancangan reactor

Rancangan desain reaktor yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan drum atau tong dengan kapasitas 100 Liter, dibagian atas terdapat manometer untuk mengetahui jumlah tekanan gas yang dihasilkan, juga terdapat saluran masuknya sampah dan lubang saluran gas yang nantinya disalurkan ke ban dalam mobil sebagai penampung gas tersebut disalurkan menggunakan pipa gas. Dibagian bawah terdapat saluran pembuangan untuk memudahkan pembuangan dari sisa ampas sampah yang telah digunakan.

➤ Bahan dan Alat

Alat yang akan di gunakan dalam percobaan penelitian ini:

1. Tong besi 100 liter
2. Selang plastic ukuran ¾ inch
3. Kantong plastic
4. Ban dalam mobil
5. Pisau
6. Literan
7. Ember plastic
8. Timbangan
9. Batang kayu (pengaduk)
10. Corong
11. Gelas ukur 1000ml
12. Kompor gas

Bahan yang di gunakan dalam penelitian

1. Buah naga = 2,65kg
2. Parutan kelapa = 1,26 kg
3. Buah salak = 1,83 kg
4. Buah nanas = 0,78 kg
5. Nasi basi = 1,5 kg
6. Sayuran = 1,7 kg
7. Air = 32, 25kg /
32,25 Liter
8. Ragi tape = 70 gram

➤ Tahap pelaksanaan

- a. Membuat digester biogas dari tong besi dengan volume 100 liter. Tong besi di berikan penutup besi, setelah itu di berikanlah 1 lubang masuknya sampah dengan memberi pumbuka dan penutup dengan menggunakan tutup solar truck, dan 1 lubang keluarnya biogas juga di

berikan katup kompresor dan di teruskan dengan menggunakan selang, juga di berikan sambungan y nepel, yang akan menuju ke ban dalam mobil, sebagai indikator adanya pertumbuhan gas dan satunya menuju ke kompor gas

- b. Mempersiapkan biostater kotoran sapi sebanyak 16,9 kg sebagai penunjang dalam proses pembuatan biogas
- c. Mempersiapkan air biasa sebanyak 32,25 liter
- d. Mempersiapkan sampah organik sebanyak 9,69 kg diantara terdapat beberapa buah-buahan dan sayuran
- e. Tidak lupa menyiapkan stater ragi tempe untuk memaksimalkan proses fermentasi agar pertumbuhan mikroba lebih optimal
- f. Mencacah sampah organik yang telah di persiapkan, sebanyak 9,69 kg ke dalam di gester (tangka) biogass dan di campurkan kotoran sapi sebanyak 16,9 kg, juga menambahkan air sebanyak 32,25 liter dan tidak lupa di tambahkan ragi
- g. Setelah itu dilakukanlah pengadukan agar tercampur merata
- h. Mendinginkan sampah organik di dalam tanki biogass dan mengamati proses pertumbuhan setiap harinya dari minggu pertama hingga minggu ke lima

Hasil Biogas

➤ Temperatur biodigester

Pada percobaan penelitian ini terperatur menunjukkan 32°C dimana temperature yang tinggi umumnya akan memberikan jumlah produksi biogas yang lebih baik. Namun suhu tersebut tidak baik jika melebihi batas diantara suhu 20-40°C. dan suhu optimal yang direkomendasikan adalah 28-30°C. temperature sangatlah berpengaruh dalam proses pertumbuhan bakteri di dalam rentan suhu tersebut. Selama proses pengendapan pada reactor sangat penting karena hal ini berkaitan dengan kemampuan hidup bakteri dalam proses pembuatan biogas. Demikian biogas yang di hasilkan akan setabil dalam

jumlah biogas yang akan di
hasilkan(paimin, 2000)

Foto Reaktor



Gambar 3.2 tank biogass

Gambar. Memperlihatkan tekanan yang di
hasilkan oleh biogas dengan kurun waktu
40 hari. Pada hari pertama sudah Nampak
adanya pertumbuhan gas, dan mengisi
secara penuh ban dalam yang telah di isi
oleh tekanan biogas yang di menghasilkan

Jumlah berat jenis sampah X
nilai kalori sampah
Sampah
Jumlah berat jenis : 9,69 X
0,0909 X Kalori :1135,05 kkal/kg =
999,77kkal

Kotoran Sapi
Massa X Nilai Kalori kotoran sapi
Massa 16,9 X Kalori :1351,85
kkal/kg = 22.846,26 kkal
Jumlah Kalori Sampah + Kotoran
Sapi
999,77 + 22.846,26 =
23846,03kkal

3.3 Pengujian boiler

Dalam pengujian boiler ini dengan melakukan
pembuatan secara sederhana menggunakan tong
besi yang di modifikasi sehingga menjadi boiler,
yang akan di uji berapa jumlah tekanan uap
yang di dihasilkan.boiler yang menggunakan
spesifikasi tinggi 41 cm dan lebar 26,4 cm.

- Parameter dan asumsi untuk menghitung
kebutuhan kalor dan perhitungan kebutuhan uap
:

- ❖ Volume pada boiler (Vb)
 $Vb = 3,14 \times (13,2)^2 \times 41$
 $= 22.431,65 \text{ cm}^3$

- ❖ Volume air pada boiler (Va)
Jumlah volume air pada boiler harus $\frac{3}{4}$ dari
jumlah volume yang terdapat pada boiler, maka
:

$$Va = 22.431,65 \times 0,75$$

$$= 16.823,25 \text{ cm}^3 \text{ ke liter} = 16,82 \text{ liter}$$

- ❖ Massa air (G)
: 16,82 kg
- ❖ Panas jenis air (Cp) : 4.187 kJ/kg°C
- ❖ Temperature air (Ta) : 29°C
- ❖ Temperature uap rencana (Tf) : 100 – 150 °C
- ❖ Temperature api (Tr) : 616,6 °C
- ❖ Entalpi air didih (hr) : 121 kJ/kg
- ❖ Entalpi air uap (hg) : 2705 kJ/kg
- ❖ Tekanan (p) : 2 kg/cm²
- ❖ Lama perebusan air : 30 – 60 menit

Menghitung daya boiler, N (BTUs/jam)

Panas yang di dibutuhkan Q4 = 155040 kJ/jam
yang di pilih tekanan 2kg/cm². Atau N =
155040 x 0,95 = 147288 BTUs/jam = 44186,4
W = 59 HP.

Pengujian pada boiler menggunakan api yang di
hasilkan oleh biogas sebagai pembakar untuk
mendidikan air, sampai dengan suhu 100°C. di
dapatkan nilai tekanan uap yang di dihasilkan oleh
boiler yaitu

Tabel . Data pengujian pada boiler

Tekanan Uap	Temperature Uap
55Psi	237,2

Table 3.1 tabel boiler

Percobaan yang di dihasilkan tidak jauh
berbeda dari penelitian yang di lakukan oleh
Ahmad yani, Dedi mustafa, dan Taqwa pada
jurnal, rancang bangun prototype pembangkit
listrik tenaga uap mini sebagai media praktikum
mahasiswa 2018



Gambar 3.3 boiler

3.4 Pengujian mesin uap dan generator

Penelitian dengan melakukan perancangan dan pembuatan mesin uap (steam engine), di dapatkan hasil berupa set up mesin uap mini. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan data tekanan uap (P), temperature uap (T), putaran mesin uap (RPM).

Siklus pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang terdiri dari energi kimia (bahan bakar) menjadi energi panas, untuk memanaskan boiler / penampung air sehingga nantinya akan menghasilkan energi kinetik (uap yang bertekanan) yang kemudian uap yang di hasilkan di gunakan untuk mendorong piston cylinder dan menggerakkan crankshaft untuk mendapatkan putaran gerak bolak balik piston, juga di atur oleh piston valve agar bisa membagi uap untuk mendorong piston kebawah maupun ke atas.

Selain itu pada crankshaft terdapat pulley sebagai alat penerus putaran yang di hasilkan dari mesin uap ke pulley generator dengan di hubungkan vbelt agar bisa memutar generator dan bisa menghasilkan listrik.

Bentuk energi di atas keberadaannya sebagai berikut :

- Energi kimia yang terdapat pada gas yang di hasilkan dari proses fermentasi dari sampah dan menghasilkan biogas
- Energi kalor, di dapat dari proses pembakaran, panas yang di hasilkan di teruskan ke boiler mendidihkan air yang terdapat di dalamnya sebagai energi kalor.
- Energi kinetik, air yang dididihkan akan menghasilkan uap yang bertekanan berfungsi sebagai mendorong piston dan memutar poros engkol sehingga menghasilkan energi putar
- Energi mekanik merupakan pemusatan energi yang terletak di poros pada mesin uap.

Energi listrik, dihasilkan dari energi putar yang di hasilkan dan di teruskan dari poros mesin uap dengan

menggunakan pulley dan di hubungkan dengan vbelt ke pulley generator sehingga bisa memutar generator dan menghasilkan energi listrik.

Gambar Mesin Uap



Gambar 3.4 mesin uap

Data uji tanpa beban

Tekanan uap	Temperature uap	Putaran mesin
55Psi	238 ⁰ C	1458rpm

Table 3.2 mesin uap

Data uji tdengan beban

Tekanan uap	Temperature uap	Putaran mesin
55 Psi	207 ⁰ C	680 rpm

Table 3.3 mesin uap

Pengujian generator mengacu pada hasil putaran yang di hasilkan oleh putaran mesin uap, pada crank shaft terdapat pulley yang menghubungkan ke pulley generator yang di hubungkan oleh vbelt, sehingga hasil yang di dapatkan dari putaran akan menghasilkan energi listrik yang bisa di dimanfaatkan.

Generator yang di gunakan dengan spesifikasi :

Type : HSM 7810-10
 Rated voltage : DC 220 – 240 V
 Rated power : 1.0 HP
 Current : 3.5A
 Watt : 770 – 840 watt

Dari data hasil yang di hasilkan dari percobaan menggunakan semua alat terhadap pengujian generator. Pengujian ini di lakukan untuk

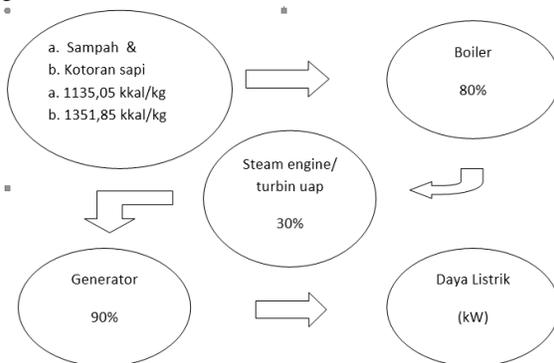
mendapatkan nilai putaran mesin (RPM), Tegangan Output (V), Arus Listrik (A), tekanan uap (P), Temperature Uap)

Waktu	Putaran	Tegangan	Arus	Temperatur	Tekanan
1 menit	681rpm	11,8V	3,32 A	209°C	55Psi
5 menit	677rpm	11,8V	3,22 A	207°C	53Psi
10 menit	683rpm	12,1V	3,38 A	209°C	56Psi
15 menit	681rpm	12,1V	3,32 A	209°C	55Psi
20 menit	681rpm	11,8V	3,32 A	209°C	55Psi

Berdasarkan tabel di atas, adalah hasil dari penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) beroperasi cukup baik dan dapat menghasilkan daya output minimum 39,2 watt dan daya maksimal 40,9 watt. Data yang di peroleh terjadi kenaikan dan penurunan, di karenakan jumlah tekanan dan temperature uap berubah-ubah sehingga mempengaruhi hasil.

IV. Kesimpulan

Diagram efisiensi



- a. Perhitungan kalori Sampah dan kotoran sapi
 Jumlah berat jenis sampah X nilai kalori sampah
 Sampah
 Jumlah berat jenis : 9,69 X 0,0909 X Kalori :1135,05 kkal/kg = 999,77kkal
 Kotoran Sapi
 Massa X Nilai Kalori kotoran sapi
 Massa 16,9 X Kalori :1351,85 kkal/kg = 22.846,26 kkal
 Jumlah Kalori Sampah + Kotoran Sapi
 999,77 + 22.846,26 = 23846,03kkal

- b. Perhitungan jumlah energi
 23846,03 kkal X 0,00116(kWh/kkal) = 27,66 kWh/ hari
 27,6613 : 24 = 1,1525 kW / jam

Nilai di atas belum termasuk perhitungan efisiensi boiler, steam engine dan generator dari rancang bangun yang telah di buat dengan outpu maks 12 V x 3,4 A = 41,14 watt, atau 0,4114 kW /jam

Alat	Perhitungan Efisiensi	Keterangan
Boiler	0,411kW(37%) 80% x 1,1525=0,922(922watt)	Tidak efisien 43% Los
Steam Engine	30% x 1,1525 = 0,345(345watt)	Efisiem
Generator	90% x 1,1525 =1,037(1037watt)	Tidak Efisein 52% los

- c. Jika di terapkan dalam skala besar di tps Kecamatan Labang kabupaten Bangkalan yang menghasilkan sampah 60 ton setiap harinya 17 juli 2020 dengan mengambil 50 % menjadi 30.000 kg untuk sampah organik setiap harinya dengan nilai kalor 1135,05 kkal. Maka di peroleh energi thermal sebesar 34.051.500kkal/ hari. Untuk mencari kapasitas daya yang di hasilkan sesuai persamaan maka jumlah (kkal) x 0,00116 (kWh/kkal) = 39.499,74 kWh/hari, perhari di bagi di bagi jumlah jam yaitu 24. Maka kapasitas daya pembangkit sebesar 1.645,82 kW, ini belum memperhitungkan rugi efisiensi boiler, turbin dan generator.

- d. Penelitian pembangkit listrik tenaga sampah mampu menjadi jawaban untuk mengurangi jumlah produksi sampah
 Sumber : studi potensi limbah kota sebagai pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) kota singkawang (Uray Ibnu Faruq,2016)

- e. Pemanfaatan sampah dengan menggunakan teknologi pembakaran secara langsung berbasis teknologi lingkungan insenerasi mampu menghasilkan daya 0,432 kW dalam media prototype dan bisa menghasilkan 39.499,74 kW dari jumlah sampah organik yang di produksi setiap harinya di tps Kecamatan labang kabupaten Bangkalan. Metode yang di gunakan relatif terbukti dalam perhitungan skala komersial

V. Daftar Pustaka

- [1] Monice. (2016). ANALISIS POTENSI SAMPAH SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSA).
- [2] paimin. (2000). ilmiah rekayasa pertanian dan biosistem .
- [3] Prasetyo, A. T. (2017). STUDI EVALUASI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH DI TEMPAT PENGOLAHAN SAMPAH TERPADU BANTARGEBAHANG.
- [4] Riza, S. (2018). STUDI PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH KAPASITAS 115 KW (STUDI KASUS KOTA TEGAL).
- [5] tsai, w.-t. (2019). An Analysis of Operational Efficiencies in the.