

# ANALISIS LAJU UAP OLEH BOILER DENGAN KAPASITAS 9 LITER AIR DAN 10KG SAMPAH ORGANIK PADA PLTSa

I.B Riyan Bhaskara Surya A<sup>1</sup>, Cok Gede Indra Partha<sup>2</sup>, I G N Janardana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

<sup>2</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit, Jl.Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80361

Email : [baskararian0@gmail.com](mailto:baskararian0@gmail.com)<sup>1</sup>, [cokindra@unud.ac.id](mailto:cokindra@unud.ac.id)<sup>2</sup>, [janardana@ee.unud.ac.id](mailto:janardana@ee.unud.ac.id)<sup>3</sup>

## ABSTRAK

Pulau Bali berdasarkan dari letak geografisnya dikelilingi oleh lautan, oleh karena itu di wilayah pesisirnya sering didatangi sampah kiriman yang berasal dari laut. Sampah adalah salah satu permasalahan yang sangat serius di daerah kawasan pesisir pantai-pantai yang ada di Pulau Bali. Pantai Biaung yang terletak di Desa Kesiman Kertalangu, Denpasar Timur merupakan salah satu pantai yang sering di datangi sampah kiriman dari laut, dimana sampah kiriman perharinya mencapai 38Kg/Harinya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tekanan uap yang dihasilkan oleh boiler berkapasitas 9 liter air dan 10Kg sampah organik pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa). Metode kuantitatif deskriptif yang digunakan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui laju uap yang keluar dari boiler dengan kadar air sampah organik 53,26% pada Prototype PLTSa menggunakan tabung freon 13,6 kilogram dan tekanan uap 3 bar maka diperoleh daya sebesar 209 watt.

**Kata kunci** : PLTSa, sampah, boiler, uap

## ABSTRACT

. The island of Bali is geographically surrounded by the ocean, therefore its coastal areas are often visited by garbage coming from the sea. Garbage is one of the most serious problems in the coastal areas of the beaches on the island of Bali, Biaung Beach located in Kesiman Kertalangu Village, East Denpasar is one of the beaches that is often visited by garbage from the sea, where the garbage per day reaches 38 kg / day. The purpose of this study was to determine the steam pressure generated by a boiler with a capacity of 9 liters of water and 10 kg of organic waste in a Waste Power Plant (PLTSa). The descriptive quantitative method used in this study is to determine the steam rate coming out of the boiler with 53.26% organic waste moisture content in the PLTSa Prototype using a 13.6 kilogram freon tube and 3 bar vapor pressure, a power of 209 watts is obtained.

**Key Words** : Waste-to-energy plant, garbage, boiler, steam

## 1. PENDAHULUAN

Pulau Bali berdasarkan dari letak geografisnya dikelilingi oleh lautan, oleh karena itu di wilayah pesisirnya sering didatangi sampah kiriman yang berasal dari laut. Sampah merupakan salah satu permasalahan yang sangat serius di daerah kawasan pesisir pantai-pantai yang ada di Bali, karena Bali sendiri dikenal dengan

daerah pariwisata dan salah satu destinasi yang sering dikunjungi oleh wisatawan mancanegara dan lokal adalah pantai-pantai yang ada di Bali jadi permasalahan sampah kiriman di seputaran pantai ini merupakan hal yang sangat serius mengingat juga sebagian besar mata pencaharian penduduk Bali di bidang pariwisata.

Balai Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut (BPSPL) yang pada tanggal 27 Agustus 2022 melaksanakan kegiatan The Bali Beach Clean Up di Pantai Biaung mencatat total sampah yang berhasil dikumpulkan sebanyak 90,95 kg sampah anorganik dan 1.050 kg sampah organik. Pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) dapat menghasilkan tenaga listrik dengan menggunakan sampah sebagai bahan utama. PLTSa dapat menggunakan sampah organik atau anorganik sebagai bahan utamanya.

Penelitian ini berlokasi di Pantai Biaung. Penulis memilih lokasi penelitian di Pantai biaung karena beberapa hal diantaranya berdasarkan peraturan Gubernur Bali Nomor 47 Tahun 2019 tentang “Pengelolaan Sampah Berbasis Sumber” dimana masing-masing Desa Adat diwajibkan memiliki pengelolaan sampah . Penelitian pembangkit listrik yang akan di rancang menggunakan metode pembakaran dengan berbahan bakar sampah. Berdasarkan hasil survei yang sudah dilakukan oleh penulis di Pantai Biaung terdapat berbagai macam jenis sampah, untuk penelitian ini menggunakan sampah berjenis organik yang akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik Tenaga Sampah sementara sampah berjenis anorganik akan di bawa ke bank sampah.

Penulis memilih sampah berjenis organik sebagai bahan bakar karena berdasarkan penelitian rata-rata nilai kalori yang dihasilkan sampah di Indonesia menunjukkan bahwa sampah organik memiliki nilai kalor sampah tertinggi dengan kadar air sampah organik 47,08% [1], Sedangkan kadar air sampah organik di Pantai Biaung sebesar 53,26%, nilai kalori sampah ini yang nantinya akan berpengaruh terhadap laju panas pembakaran diruang bakar, berdasarkan permasalahan tersebut, akan dilakukan penelitian secara Capstone di Pantai Biaung, Berdasarkan data tersebut maka dilakukan penelitian *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) guna mendukung program

pemerintah dalam mengurangi sampah di Pantai Biaung [2] [3].

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1 Sampah

Menurut SK SNI tahun 1990, sampah adalah limbah padat yang terdiri dari zat organik dan anorganik yang tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan. Pandangan masyarakat terhadap pengetahuan tentang sampah organik adalah benda yang yang tidak lagi diinginkan atau tidak bernilai ekonomis. Menurut penelitian yang dilakukan oleh BPTT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), komposisi sampah organik berkisar antara 70-80%, nilai kalor sampah 1.000-1.500 Kkal/kg, dan kadar air 50-60% [1] [3].

**Tabel 1.** Karakteristik sampah di indonesia

No	Komponen	%	Kadar air (%)	Nilai kalor (Kkal/kg)
1	Organik	73,98	47,08	647,57
2	Plastik	7,86	2,28	555,46
3	Karet	0,55	0,02	7,6
4	Kain	1,57	0,63	42,64
5	Kaca	1,75	-	-
6	Logam	2,04	-	-
7	Kayu	0,98	0,32	38,28
8	Kertas	10,18	4,97	235,55
TOTAL		100	55,3	1553,96

### 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)

Pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) menggunakan bahan bakar sampah untuk menghasilkan energi listrik. Uap kompresi tinggi memanaskan air pada boiler dan menghasilkan uap, yang kemudian digerakkan oleh turbin uap yang tersambung pada generator, menghasilkan energi listrik. PLTSa bisa menjadi salah satu alternatif penyediaan energi listrik terutama pada pesisir pantai dengan memanfaatkan sampah kiriman dari laut.

### 2.3 Prinsip Kerja PLTSa

Prinsip kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) adalah penggerak mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik, yang kemudian dikonversi menjadi energi mekanik melalui putaran turbin. Generator berputar karena poros turbin terhubung dengannya. Komponen utama pada PLTSA terdiri dari [4] [5] :

1. Boiler  
Boiler berfungsi sebagai pengubah air sebelum mendidih dan setelah air mendidih, boiler mengubahnya menjadi tekanan uap panas yang digunakan untuk memutar turbin..
2. Turbin Uap  
Turbin Uap berfungsi untuk menghasilkan energi putar, atau energi mekanik, dari panas yang terkandung dalam uap.
3. Kondensator  
Kondensator berfungsi untuk mengubah uap yang sudah terpakai dari turbin menjadi air kembali ke boiler.
4. Generator  
Generator berfungsi untuk mengubah energi putar turbin diubah menjadi tenaga listrik oleh generator..

**2.4 Ruang Bakar**

Ruang bakar adalah ruang pembakaran sampah yang dilengkapi oleh tempat pembakaran dan tempat memisahkan abu dengan sampah sudah terbakar. Ruang bakar juga berguna untuk mengatur jumlah sampah yang akan digunakan dalam Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) [1].

Berikut merupakan rumus yang digunakan dalam menghitung laju panas di ruang bakar [1] [4] [5].

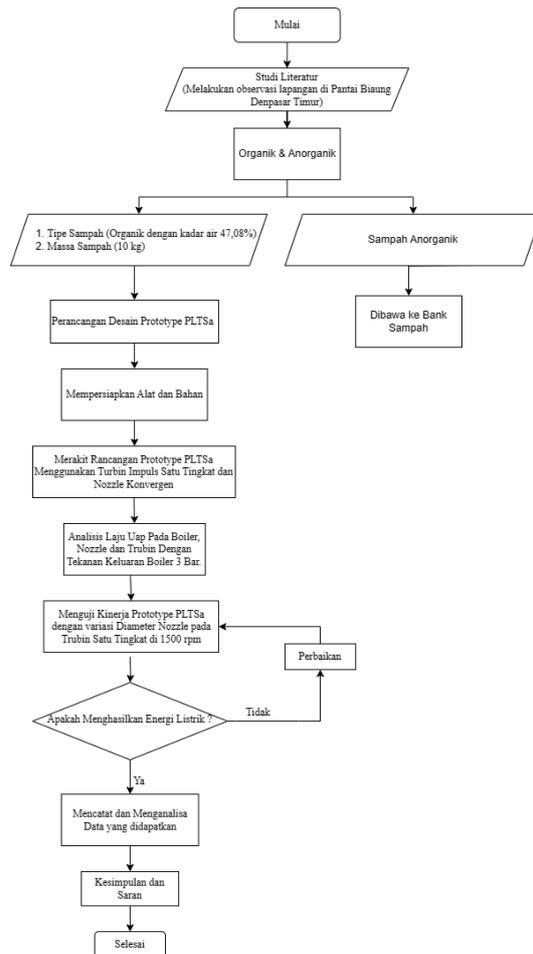
- a. Panas di ruang pembakaran ( $Q_f$ ) :  
$$Q_f = M_{\text{Sampah}} \times CV_{\text{Sampah}}$$
- b. Kalor bahan bakar ( $Q$ ) :  
$$Q = m \times c \times \Delta t$$
- c. Daya yang dihasilkan boiler ( $P$ ) :  
$$P = \frac{Q}{S}$$
- d. Panas yang keluar dari incinerator ( $Q$ ) :  
$$Q = \eta \times Q_f$$

- e. Laju panas aliran masa uap ( $M$ ) :

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

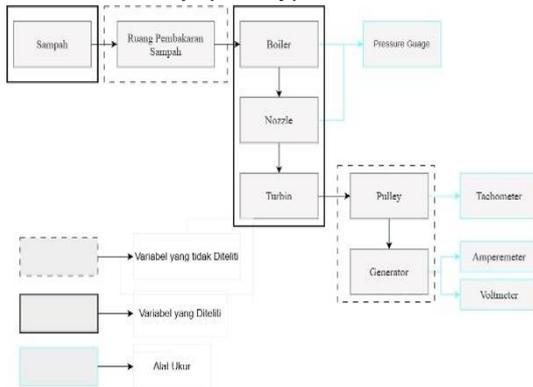
**3. METODE PENELITIAN**

Gambar 1 menunjukkan diagram alur penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dengan melakukan penelitian literatur tentang topik penelitian, kemudian merancang desain prototipe PLTSA, yaitu membuat desain boiler dan membuat gambar 3D dari desain prototipe PLTSA dari setiap bagian dalam bentuk 3D. Penelitian PLTSA menggunakan bahan bakar sampah organik dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Januari 2023 sampai Juni 2023.



**Gambar 1** Diagram alur penelitian Prototype PLTSA

Gambar 2 merupakan diagram alur dari sistem kerja *prototype* PLTSa



**Gambar 2** Diagram Alur Sistem Kerja *Prototype* PLTSa

Setiap bagian diagram alur tersebut memiliki penjelasan dan fungsinya yaitu uap yang tertampung didalam boiler kemudian dialirkan melalui pipa menuju *Nozzle* untuk disemprot ke sudu turbin *Impuls* dari atas samping dengan tekanan optimal. Uap semprotan ujung *Nozzle* mengenai bagian tengah sudu turbin. Sehingga menimbulkan energi mekanik uap untuk mendorong sudu turbin untuk dapat memutar *Runner*. Turbin dihubungkan dengan *pulley* melalui poros turbin dan *pulley* turbin ini dihubungkan dengan *pulley* generator menggunakan belt. Pada boiler terpasang manometer untuk mengukur tekanan uap. Gaya mekanik yang dihasilkan oleh turbin dan generator diukur dengan tachometer, sedangkan output tegangan dan arus generator diukur dengan menggunakan voltmeter dan amperemeter.

Untuk mengevaluasi laju uap yang dihasilkan oleh boiler pada PLTSa, perhitungan dilakukan menggunakan standar yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu massa sampah (10Kg/jam), kalor sampah organik (726,12 Kkal/Kg), kadar air sampah organik (53,26%), kalor jenis air (4180 J/Kg°C) dan kapasitas air pada boiler (9 liter). Hasil yang dihasilkan berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada rumus sebelumnya adalah sebagai berikut:

a. Panas di ruang pembakaran ( $Q_f$ ) :

$$Q_f = 10\text{Kg/jam} \times 182,2\text{Kj/Kg} = 1822 \text{Kj/jam}$$

b. Kalor bahan bakar ( $Q$ ) :

$$Q = 9 \times 4180 \times (130 - 30) = 376200 \text{joule atau } 3.762 \text{Kj}$$

c. Daya yang dihasilkan boiler ( $P$ ) :

$$P = \frac{376200}{1800} = 209 \text{Watt}$$

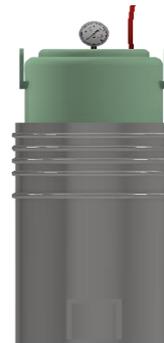
d. Panas yang keluar dari incinerator ( $Q$ ) :

$$Q = 0,8 \times 1822 = 1457,6$$

e. Laju panas aliran masa uap ( $M$ ) :

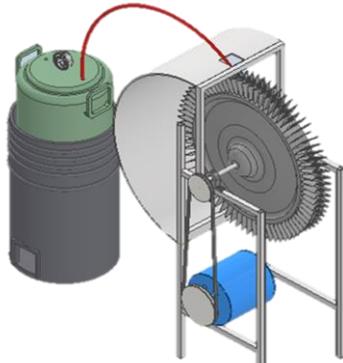
$$M = \frac{1457,6}{2748,7 - 125,79} = 0,5557 \text{Kj/jam}$$

Dalam analisis laju uap yang dikeluarkan oleh Boiler pada PLTSa ini menggunakan drum besi 100 liter dengan tinggi 79 cm dan diameter 46,5 cm seangkan pada boiler menggunakan tabung gas freon 13,6 Kg dengan tinggi 34cm dan diameter 25cm dan ketebalan 0,5mm. Berikut merupakan gambar desain ruang pembakaran dan boiler ditampilkan pada gambar 3.



**Gambar 3** Desain Ruang Pembakaran dan Boiler pada *Prototype* PLTSa

Gambar 4 menunjukkan desain lengkap *Prototype* PLTSa yang sudah dibentuk.



**Gambar 4** Desain 3D *Prototype* PLTSa

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Realisasi Ruang Pembakaran dan Boiler PLTSa

Realisasi Ruang Pembakaran dan Boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) menggunakan drum besi 100 liter dan tabung gas freon 13,6 Kg dapat dilihat pada gambar 5 dan 6.



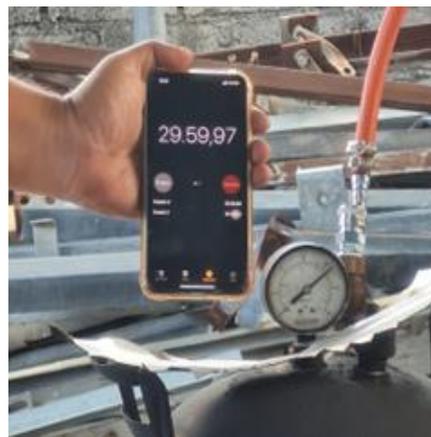
**Gambar 5** Realisasi Ruang Pembakaran dan Boiler



**Gambar 6** Realisasi *Prototype* PLTSa

##### 4.2 Analisis Pengujian *Prototype* PLTSa

Kemampuan *Prototype* PLTSa dilaksanakan analisis dalam penelitian ini diantaranya pengukuran : lama waktu pembakaran di ruang bakar, tekanan uap di boiler, tegangan, arus, daya dan torsi generator. Serta melakukan perhitungan terhadap data hasil pengukuran diantaranya : daya generator, torsi dan efisiensi *prototype* PLTSa. Berdasarkan *Prototype* PLTSa yang telah diujikan didapat data hasil yang ditampilkan pada gambar 7 dan tabel 2.



**Gambar 7** Realisasi Waktu Pembakaran dan Tekanan uap pada PLTSa

**Tabel 2** Data Hasil Pengukuran *Prototype* PLTSa

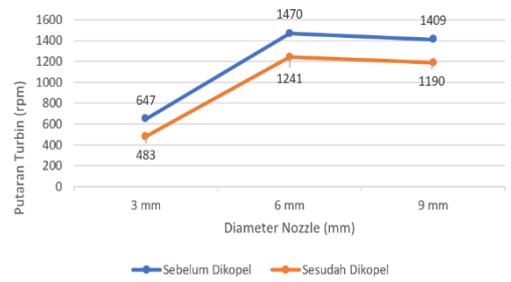
No	Parameter	Nilai
1	Tekanan Uap	3 Bar atau 43.5 psi
2	Volume Air Boiler	9 Liter
3	Putaran Turbin	1470 Rpm (sebelum dikopel generator)
		1241 Rpm (sesudah dikopel generator)
4	Putaran Generator	2460 Rpm (sebelum dikopel generator)
		2339 Rpm (sesudah dikopel generator)
5	Tegangan	19,14V (Beban 0 Ω)
		16,4V (Beban 30 Ω)
6	Arus	2,28 A
7	Daya	23,32 W
8	Torsi	0,18Nm

Selain itu, penelitian ini melakukan pengujian pengaruh pembebanan terhadap *prototype* PLTSa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan pemahaman tentang sifat daya mekanis dan listrik terhadap variasi beban. dengan menggunakan diameter nozzle 6mm dikarenakan laju uap pada nozzle 6mm sedikit dibandingkan nozzle 3mm dan 9mm. Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 3.

**Tabel 3** Data Hasil Pengujian Dengan Beban Pada PLTSa

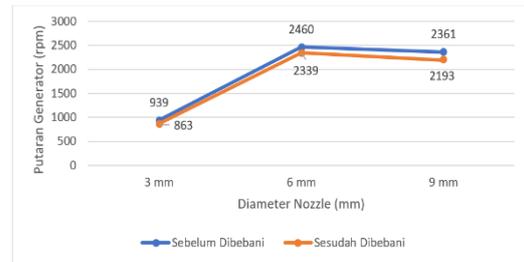
No	Ukuran Nozzel (mm)	Putaran Turbin (RPM)		Putaran Generator (RPM)		Tanpa Beban (V)	Dengan Beban			
		Sebelum Dikopel	Sesudah Dikopel	Sebelum Dibebeani	Sesudah Dibebeani		R (Ω)	Volt (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	6	1494	1268	2511	2383	19,48	5	10,2	2,28	23,32
				15	12,1		1,24	15		
		1446	1215	2409	2296	18,81	15	14,5	0,92	13,34
				30	16,4		0,52	8,54		

Berdasarkan data dari tabel 3, hasil ditampilkan dalam bentuk grafik garis pada gambar 8, 9, 10 dan 11.



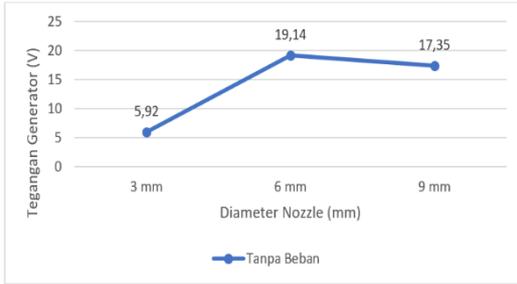
**Gambar 8** Grafik Pengukuran Putaran Turbin

Gambar 8 dapat dilihat bahwa kecepatan putaran turbin tertinggi sebelum dikopel dengan generator terdapat pada diameter nozzle 6mm sebesar 1470 rpm dan kecepatan tertinggi putaran turbin setelah dikopel generator terjadi pada diameter nozzle 6mm sebesar 1241 rpm.



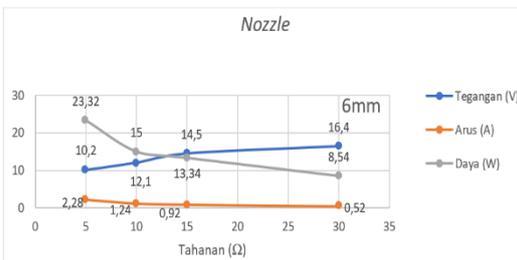
**Gambar 9** Grafik Pengukuran Putaran Generator

Gambar 9 dapat dilihat bahwa kecepatan generator tertinggi sebelum dibebani terdapat pada diameter nozzle 6mm sebesar 2460 rpm dan kecepatan tertinggi putaran generator setelah dibebani terjadi pada diameter nozzle 6mm sebesar 2339 rpm.



**Gambar 10** Grafik Pengukuran Tegangan Tanpa Beban

Gambar 10 dapat dilihat tegangan generator tertinggi tanpa beban terjadi pada diameter *nozzle* 6mm yaitu sebesar 19,14 Volt.



**Gambar 11** Pengukuran Tegangan, Arus, dan Daya Setelah Dibebani Tahanan/Resistor

Gambar 8, 9, 10 dan 11 menunjukkan bahwa variasi tahanan/resistor memengaruhi kemampuan PLTSa, sehingga mengubah daya mekanis dan daya elektrik yang dihasilkannya. Tegangan terbesar terdapat pada tahanan/resistor 30Ω sebesar 16,4V, sedangkan tegangan terendah terjadi pada tahanan/resistor 5Ω sebesar 10,2V. Arus terbesar terjadi pada tahanan/resistor 5Ω sebesar 2,28A, sedangkan arus terendah terjadi pada tahanan/resistor 30Ω sebesar 0,52A dan Daya tertinggi pada generator PLTSa terdapat pada tahanan/resistor 5Ω sebesar 23,32W, sedangkan daya terendah terjadi pada tahanan/resistor 30Ω yaitu sebesar 8,54W.

#### 4.3 Perhitungan Efisiensi *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)

Perhitungan Efisiensi *Prototype* PLTSa pada tabel 2 nomor 11 diketahui daya maksimal yang dihasilkan sampah

organik adalah sebesar 209W, sedangkan daya yang di hasilkan dari *Prorotype* PLTSa adalah sebesar 23,32W, maka Efisiensi *Prototype* PLTSa dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{23,32W}{209W} \times 100\%$$

$$\eta = 11,1\%$$

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dari hasil penelitian diatas dapat disimpulkan laju uap *Prototype* PLTSa dengan spesifikasi menggunakan 10kg sampah organik, boiler tabung freon 13,6 kg, tekanan uap 3 bar dan kapasitas air dalam boiler 9 liter dapat diperoleh daya maksimal yang dihasilkan sampah organik adalah sebesar sebesar 209 Watt. Realisasi *Prototype* PLTSa ini mendapatkan daya tertinggi sebesar 23,32 Watt, sehinga didapat efisiensi PLTSa sebesar 11,1%.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad, Maulana and Permata, (2014) "PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH", Jakarta, Politeknik Negeri Jakarta, Vol. 1 Hal. 1-16.
- [2] Darmawan, Marno and N. Fauji, (2021) "Rancang Bangun Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Kapasitas 1,45 KW di Lingkungan Kampus Unsika," Jurnal Teknik Mesin dan Pembelajaran, Vol. 4, No. 1, Hal. 29.
- [3] H. Rahman, (2016) "Rancang Bangun Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Turbin Impuls," Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, Vol. 051, Hal. 1-50.
- [4] Narti, Ihsan, S. Zelviani, N. Waidah and F. Abadi, (2019) "Pengaruh

- Jenis Bahan Bakar Biobriket Terhadap Unjuk Kerja Pada Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Uap," Universitas Islam Negeri Allaudin Makasar, Vol. 6, No. 1, Hal. 162-169.
- [5] K. Rahmawati, (2018) "Perancangan Desain Boiler Pada Mini Plant Steam Engine Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap," Program Studi DIII Teknologi Instrumentasi Departemen Teknik Instrumentasi Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Vol. 1, No. 1, Hal. 1-96.
- [6] R. Samsinar and K. Anwar, (2018) "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 KW ( Studi Kasus Kota Tegal )," Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, Vol. 15, No. 2, Hal. 33-40.
- [7] S. E. Susilowati and A. Budiman, (2023) "Rancang Bangun Prorotipe Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Turbin Impuls Diameter 70cm," Jurusan Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta, Vol. 8, No. 1, Hal. 1-10.