

PERANCANGAN *PROTOTYPE* PLTSA DENGAN TURBIN IMPULS SATU TINGKAT

I Putu Angga Tata Pradana¹, Cok Gede Indra Partha², I Gusti Ngurah Janardana²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email : tatapradana5@gmail.com ¹

ABSTRAK

Sampah merupakan permasalahan yang sangat serius di daerah kawasan pesisir pantai-pantai yang ada di Bali, pengelolaan sampah kiriman dari laut yang belum maksimal. Salah satu cara alternatif dalam pengelolaan sampah ialah menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga sampah (PLTSA) yang dapat menghasilkan listrik. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh arus, torsi dan daya pada *prototype* PLTSA dengan merancang turbin impuls satu tingkat, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah kuantitatif deskriptif. Pengujian pada *prototype* PLTSA menggunakan turbin impuls satu tingkat dengan diameter runner 44 cm dan jumlah sudu turbin sebanyak 75 sudu. *Prototype* ini menggunakan satu buah *nozzle* dengan ujung diameter *nozzle* 6mm dan boiler dari tabung gas freon 13,6 Kg dengan uap keluaran boiler sebesar 3 bar dan kapasitas air 9 liter mendapatkan rata-rata putaran turbin tertinggi 1470 rpm dan putaran generator tertinggi 2460, sehingga pada turbin impuls satu tingkat mendapatkan tegangan tertinggi sebesar 16,44 Volt, arus tertinggi sebesar 2,28 Ampere dan daya output tertinggi sebesar 23,32 Watt dengan torsi 0,18 Nm maka *prototype* ini mempunyai efisiensi sebesar 11,1%.

Kata kunci : PLTSA, sampah, turbin impuls

ABSTRACT

Garbage is a very serious problem in the coastal areas of the beaches in Bali, the management of waste sent from the sea is not maximized. One alternative way of managing waste is using a waste power plant (PLTSA) that can generate electricity. The purpose of this study was to determine the effect of current, torque and power on the PLTSA prototype by designing a single stage impulse turbine, the method used in this study was descriptive quantitative. Tests on the PLTSA prototype used a single-stage impulse turbine with a runner diameter of 44 cm and a total of 75 turbine blades. This prototype uses a nozzle with a nozzle diameter of 6mm and a boiler from a 13.6 Kg freon gas cylinder with a boiler output steam of 3 bar and a water capacity of 9 liters to get the highest average turbine rotation of 1470 rpm and the highest generator rotation of 2460, so that at single stage impulse turbine gets the highest voltage of 16.44 Volts, the highest current of 2.28 Amperes and the highest output power of 23.32 Watt with a torque of 0.18 Nm so this prototype has an efficiency of 11.1%.

Key Words : PLTSA, garbage, boiler, nozzle, impulse turbine

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. Langkah yang dapat dilakukan dalam mengurangi sampah di Pantai Biaung dengan memanfaatkan sampah sebagai sumber energi dengan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Balai Pengelolaan Sumber Daya Pesisir dan laut pada tanggal 27 Agustus 2022 dilaksanakan aktivitas *The Bali Beach Clean Up* di Pantai Biaung dengan total sampah yang berhasil dikumpulkan sebesar 90,95 kg sampah anorganik (yang terdiri dari 69,65 kg plastik, 1,35 kg kertas, 5,85 kg styrofoam, 3,90 kg kaca, 10,20 kg sampah tidak teridentifikasi) serta 1.050 kg sampah organik. Pembangkit Listrik tenaga Sampah adalah pembangkit listrik thermal yang

membangkitkan tenaga listrik dengan memanfaatkan sampah sebagai bahan utamanya, baik menggunakan sampah organik atau sampah anorganik.

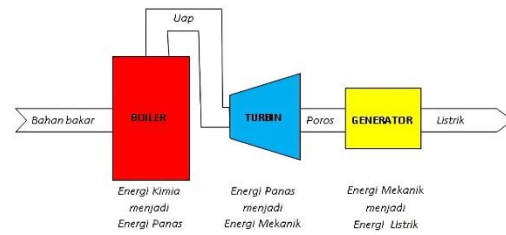
Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga sampah ini dapat dilakukan dengan metode pembakaran bahan bakar sampah. Sistem Kerja dari *Prototype* ini yaitu uap yang tertampung di dalam boiler kemudian dialirkan melalui pipa ke *Nozzle* yang nantinya disemprot menuju sudu turbin Impuls dari sisi atas samping dengan tekanan optimal. Uap keluaran ujung *Nozzle* menuju sisi tengah sudu turbin dan akan menghasilkan gaya berat uap untuk memacu sudu pada turbin untuk memutar Runner. Turbin dapat disambungkan ke generator agar generator memutar dengan menggunakan pulley yang diletakkan di poros turbin dan pulley pada generator dipasang belt. Generator disambungkan ampere meter yang berfungsi untuk pengukuran arus dan volt meter berfungsi sebagai pengukur tegangan generator sesudah dibebani. Pada boiler digunakan alat ukur manometer untuk mengukur tekanan uap dan alat ukur tachometer untuk pengukuran putaran turbin dan generator.

Penelitian ini akan merancang *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah, dengan analisis perancangan turbin uap impuls satu tingkat guna mendapatkan torsi, arus dan daya yang optimal, serta dapat mengurangi jumlah sampah kiriman di pantai biaung dengan memanfaatkan sampah tersebut.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 PLTSa

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) ialah pembangkit listrik dengan tenaga uap yang menggunakan sampah. Sampah dibakar untuk memanaskan air pada boiler dan nantinya akan menjadi uap. Uap tekanan tinggi kemudian menggerakkan turbin uap yang tersambung pada generator dan menghasilkan energi listrik yang ditunjukkan seperti pada gambar 1[1].



Gambar 1 Proses Konversi Energi pada PLTSa.

2.2 Turbin Uap

Turbin uap merupakan penggerak mula yang mengubah energi potensial uap menjadi energi kinetik, selanjutnya diubah menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin dipasang pulley dan dihubungkan dengan generator. Turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang tergantung dari pada jenis mekanismenya seperti bidang industri, pembangkit tenaga listrik, dan bidang transportasi[2].

Prinsip kerja turbin uap dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu :

a. Turbin uap impuls

Turbin tahapan impuls atau turbin impuls merupakan turbin sederhana berotor satu maupun banyak (gabungan) yang mempunyai sudu – sudu. Sudu pada dasarnya simetris dan mempunyai sudut keluar dan sudut masuk. Prinsip impuls ialah mengubah momentum aliran yang diarahkan ke arah sudu dan menggerakkan sudu stasioner. Kekuatan dorongan yang dihasilkan mendorong sudu bergerak ke depan. Energi ini diubah menjadi energi mekanik dengan memutar poros turbin.

b. Turbin uap reaksi

Turbin uap reaksi mempunyai prinsip gaya reaksi sudu yang bergerak karena uap melalui *nozzle* dan mengalami percepatan. dalam turbin reaksi tidak dapat mengubah energi uap menjadi energi mekanik. Setiap tahapan turbin reaksi terdiri dari sudu stasioner dan putaran poros pada deretan sudu.

2.3 Turbin Impuls Satu Tingkat

Turbin Impuls satu tingkat atau biasa disebut dengan turbin de laval ditemukan oleh Insinyur Swedia, Carl G.P. de Laval, Turbin de laval merupakan turbin sederhana yang terdiri dari satu tingkat, yaitu satu set *nozzle* dan satu baris sudu.

2.4 Perancangan Desain Turbin Impuls

Dalam mendesain turbin impuls satu tingkat diperlukan rumus – rumus untuk memperkirakan ukuran desain yang akan dibuat agar dapat menghasilkan keluaran yang maksimal.

Rumus yang digunakan untuk membuat desain turbin impuls satu tingkat sebagai berikut [3] [4][5]:

- a. Menghitung kecepatan laju uap :

$$U = (U/C_1)_{optimum} \times C_1 \quad (1)$$

Keterangan :

U = Kecepatan laju uap (m/s)

C₁ = kecepatan uap keluar *nozzle* (m/s)

- b. Analisa ukuran diameter cakram

$$d = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot n} \quad (2)$$

Keterangan :

d = Diameter rata – rata cakram (mm)

n = Putaran turbin (rpm)

- c. Analisis ukuran sudu

1. Sudut masuk sudu

$$\beta_1 = \arccos \left(\frac{C_1 \cdot \cos \alpha_1 - U}{W_1} \right) \quad (3)$$

2. Sudut keluar sudu

$$\beta_2 = \beta_1 - 3^\circ \quad (4)$$

Keterangan :

β_1 = sudut masuk sudu (°)

β_2 = sudut keluar turbin (°)

3. Jari – jari kelengkungan sudu

$$R = \frac{b}{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2} \quad (5)$$

Keterangan :

b = Panjang sudu (mm)

4. Jarak antara sudu

$$t_1 = \frac{R}{\sin \beta_1 + \sin \beta_2} \quad (6)$$

5. Analisis jumlah sudu turbin (Z)

$$Z = \frac{\pi \cdot d}{t_1} \quad (7)$$

Keterangan :

Z = jumlah sudu

d = diameter cakram (mm)

t₁ = jarak antara sudu (mm)

6. Perhitungan daya (Watt)

$$P = V \times I \quad (8)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

7. Perhitungan Torsi

$$T = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} \quad (9)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

P = Daya (Watt)

n = Kecepatan putaran (rpm)

π = phi (3,14)

8. Perhitungan efisiensi PLTSa

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan :

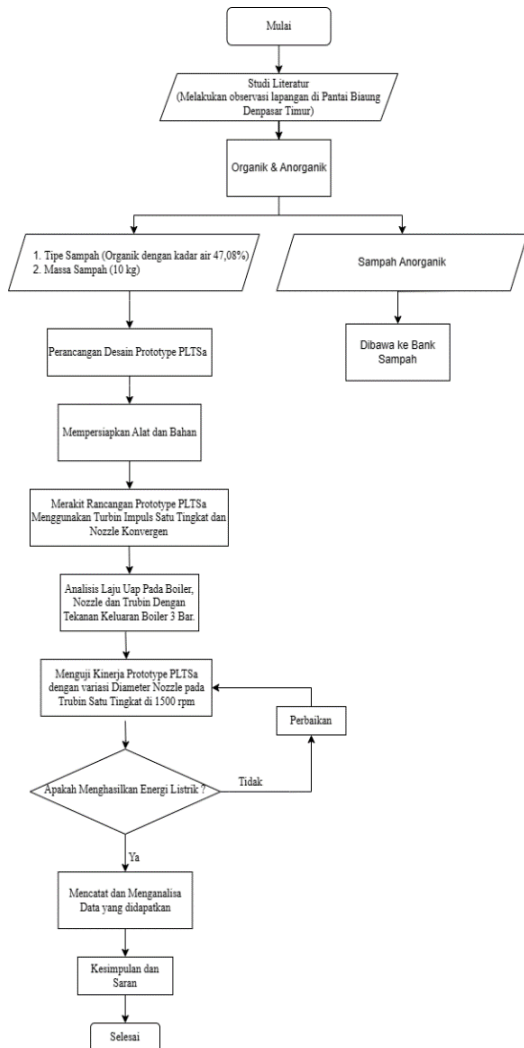
η = Efisiensi PLTSa

P_{out} = Daya maksimal keluaran generator

P_{in} = Daya yang dihasilkan sampah organik

3. METODOLOGI PENELITIAN

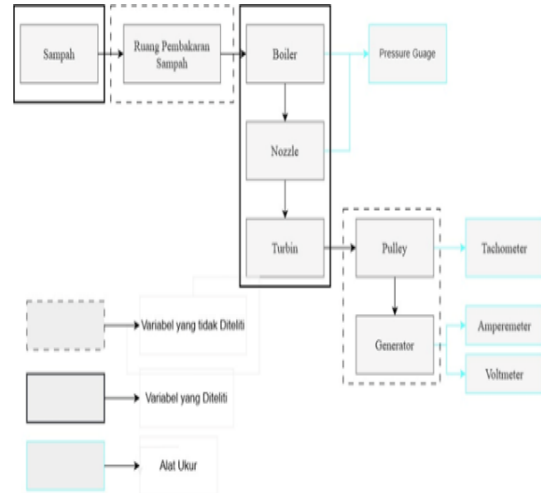
Tahapan penelitian yang akan dilakukan ditunjukkan pada *flowchart* pada gambar 2 yang dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2 Flowchart Alur Penelitian

Tahapan penelitian ini dimulai dari melaksanakan studi literatur yang berkaitan dengan PLTSa dan mengambil studi kasus di Pantai Biaung, selanjutnya menentukan tipe sampah dengan menggunakan sampah organik 10 kg yang memiliki kadar air 53,26%, kemudian melakukan perancangan desain *prototype* PLTSa dalam bentuk 3D, lalu dalam penelitian ini mempersiapkan alat dan bahan yang akan dipakai, selanjutnya merakit perancangan *prototype* PLTSa menggunakan turbin impuls satu tingkat dan *nozzle* konvergen, kemudian melakukan analisis laju aliran uap keluar boiler 3 bar, setelah itu dilakukan pengujian kinerja *prototype* PLTSa dengan memvariasikan diameter *nozzle* pada turbin impuls satu tingkat pada proses ini dilaksanakan perakitan seluruh alat dan bahan *dengan*

melakukan pengujian terhadap putaran serta *output* arus dan tegangan generator, kemudian melakukan pencatatan dan analisis data dan membuat kesimpulan.



Gambar 3 Diagram Alur Sistem Kerja *Prototype* PLTSa dengan Turbin Impuls Satu Tingkat

Diagram alur dari sistem kerja *prototype* PLTSa dengan turbin impuls satu tingkat di tunjukkan pada gambar 3. Penjabaran fungsi dari setiap bagan diagram alur dimulai dari sampah organik di bakar di ruang pembakaran, dari pembakaran tersebut akan dapat memanaskan air yang ada di dalam boiler hingga mencapai tekanan 3 bar, dan dialirkan menggunakan pipa yang dipasang *nozzle*. Setelah tekanan uap mencapai 3 bar kemudian stop kran pada boiler dibuka sehingga uap yang keluar dari *nozzle* akan memutar turbin. Turbin dipasangkan *pulley* yang kemudian dihubungkan dengan generator dengan menggunakan *belt*. Tachometer digunakan untuk mengukur putaran turbin dan generator, sedangkan volt meter dan ampere meter digunakan mengukur tegangan dan arus dari generator.

Perancangan *prototype* PLTSa dengan turbin impuls satu tingkat menggunakan perhitungan sesuai standar yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu menggunakan Boiler dari tabung gas freon 13,6 kg dengan menggunakan 9 liter air, 10 Kg sampah organik, tekanan keluaran boiler 3 bar, suhu awal air pada boiler 30°, nilai n =

1500 rpm dan $(U/C_1)_{\text{optimum}} = 0,20$. Nilai yang telah di tentukan dapat di gunakan dalam merancang turbin impuls satu tingkat dengan rumus sebagai berikut :

a. Menghitung cepat keliling uap :

$$U = 0,20 \times 171,52 = 34,304 \text{ m/s}$$

b. Analisa ukuran diameter cakram

$$d = \frac{60 \cdot 34,304}{3,14 \cdot 1500}$$

$$= 436,993 \text{ mm} \approx 44 \text{ cm}$$

c. Analisis ukuran sudu

1. Sudut masuk sudu

$$\beta_1 = \arccos \left(\frac{171,52 \cdot \cos 16^\circ - 34,304}{138,867} \right)$$

$$= 19,9^\circ$$

2. Sudut keluar sudu

$$\beta_2 = 19,9^\circ - 3^\circ$$

$$= 16,9^\circ$$

3. Jari – jari kelengkungan sudu

$$R = \frac{22}{\cos 19,9^\circ + \cos 16,9^\circ}$$

$$= 11,59 \text{ mm}$$

4. Jarak antara sudu

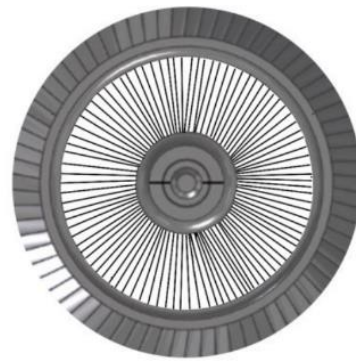
$$t_1 = \frac{11,59}{\sin 19,9^\circ + \sin 16,9^\circ} = 18,37 \text{ mm}$$

5. Analisis jumlah sudu turbin (Z)

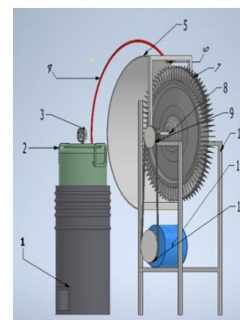
$$Z = \frac{3,14 \cdot 436,99 \text{ mm}}{18,37}$$

$$= 74,69 \approx 75 \text{ sudu}$$

Turbin yang digunakan pada *prototype* ini adalah turbin impuls satu tingkat dengan sudu berjumlah 75 sudu dan sudut masuk sudu $19,9^\circ$, sudut keluar sudu $16,9^\circ$, jari – jari kelengkungan sudu $11,59 \text{ mm}$ dan jarak antara sudu $18,37 \text{ mm}$ dengan diameter cakram 44 cm . Material yang digunakan dalam membentuk sudu yaitu plat besi dengan ketebalan 1 mm .



Gambar 4 Desain Turbin Impuls Satu Tingkat



Keterangan:

1. Ruang pembakaran
2. Boiler kapasitas 9 liter air
3. Manometer
4. Selang pipa air panas berdiameter 12mm
5. Cover turbin
6. Nozzle (3mm, 6mm dan 9mm)
7. Sudu turbin (75 sudu)
8. Poros turbin (Diameter 44 cm)
9. Belt A-38
10. Rangka turbin
11. Generator DC (250 Watt, 2750 RPM dan 24Volt)
12. Pulley (1:2)

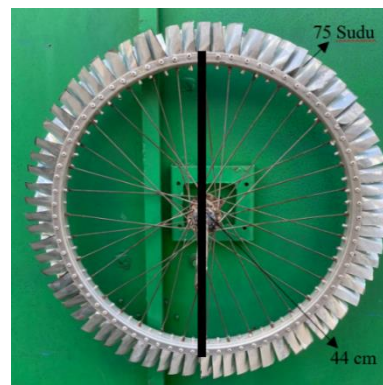
Gambar 5 desain PLTSA dengan Turbin Impuls Satu Tingkat

Gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan desain perancangan *prototype* PLTSA menggunakan turbin impuls satu tingkat yang sudah di desain 3D.

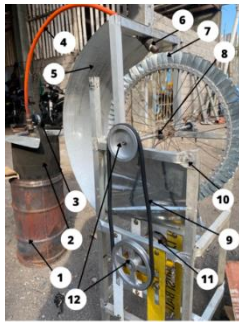
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi *Prototype* PLTSA dengan Turbin Impuls Satu Tingkat

Gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan realisasi Turbin dan *prototype* PLTSA menggunakan turbin impuls satu tingkat secara keseluruhan.



Gambar 6 Realisasi Turbin impuls Satu Tingkat



- Keterangan:
1. Ruang pembakaran
 2. Boiler kapasitas 9 liter air
 3. Manometer
 4. Selang pipa air panas berdiameter 12mm
 5. Cover turbin
 6. Nozzle (3mm, 6mm dan 9mm)
 7. Sudu turbin (75 Sudu)
 8. Poros turbin (Diameter 44 cm)
 9. Belt A-38
 10. Rangka turbin
 11. Generator DC (250 Watt, 2750 RPM dan 24V)
 12. Pulley (1:2)

Gambar 7 Realisasi *Prototype* PLTSa

Sistem kerja dari *prototype* PLTSa ini menggunakan sampah organik 10 kg sebagai media pembakaran, dimana sampah organik tersebut akan di bakar di ruang pembakaran untuk memanaskan air yang ada di dalam boiler hingga mencapai tekanan 3 bar. Setelah uap mencapai tekanan 3 bar kemudian uap dialirkan menuju pipa dan *nozzle* yang akan dialirkan menuju sudu turbin impuls. Uap keluaran *nozzle* akan mengenai tengah sudu turbin sehingga menimbulkan tekanan uap yang nantinya akan memutar runner. Turbin dapat di sambungkan ke generator dengan menggunakan *pulley* yang di letakan di poros generator dan turbin, sedangkan *pulley* pada generator dan turbin di pasang *belt* agar generator dapat berputar.

4.2 Pengujian *Prototype* PLTSa dengan Turbin Impuls Satu Tingkat

Penelitian ini melaksanakan pengujian yang berkaitan dengan *prototype* PLTSa yang menggunakan turbin impuls satu tingkat diantaranya pengukuran putaran turbin dan generator, pengukuran tegangan serta arus generator. Perhitungan mengenai data hasil pengukuran seperti : daya generator, torsi, dan efisiensi ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Data Hasil Pengukuran dan pengujian PLTSa

No.	Parameter	Nilai
1	Jumlah Sudu	75 sudu
2	Diameter Cakram	44 cm
3	Tekanan Uap	3 Bar
4	Diameter Ujung <i>nozzle</i>	6 mm
5	Volume Air Boiler	9 L/min
6	Putaran Turbin	1470 rpm (Sebelum di kopel Generator)
		1268 rpm (Sesudah di Kopel generator)
7	Putaran Generator	2460 rpm (Sebelum Dibebani)
		2339 rpm (Sesudah Dibebani)
8	Tegangan	19,14 V (Tanpa Beban)
		10,2 V (Beban 5Ω)
9	Arus	2,28 Ampere
10	Torsi	0,18 Nm
11	Efisiensi	11,1 %

Menghitung efisiensi PLTSa pada tabel 1 nomor 11, dimana daya yang dihasilkan sampah organik sebesar 209 Watt sedangkan daya yang dapat di hasilkan dari *prototype* PLTSa ini sebesar 23,32 Watt. Efisiensi PLTSa dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut[5]:

$$\eta = \frac{23,32W}{209W} \times 100\% = 11,1 \%$$

Perhitungan torsi pada *prototype* PLTSa di tunjukan sebagai berikut[5] :

$$T = \frac{23,32}{2 \cdot \pi \cdot \frac{1241,5}{60}} = 0,18 Nm$$

Tabel 2 dan tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran pengaruh beban terhadap arus dan tegangan, serta menunjukkan perhitungan terhadap daya dan torsi yang dihasilkan dengan menggunakan turbin impuls satu tingkat pada *nozzle* 6mm. Perhitungan daya dalam penelitian ini

menggunakan hukum ohm dimana hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2.3

Tabel 2 Data Hasil Pengujian Pengaruh beban Terhadap tegangan, Arus dan Daya

Beban (Ω)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (Watt)
5	10,2	2,28	23,32
10	12,1	1,24	15
15	14,5	0,92	13,34
30	16,4	0,52	8,54

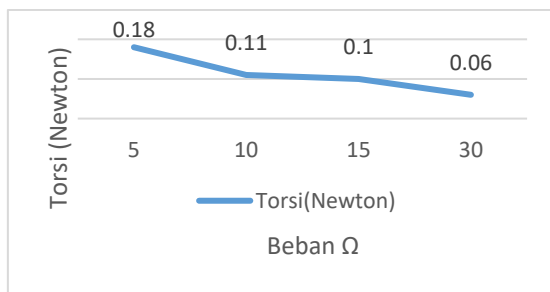
Tabel 3 Data Hasil Pengujian Pengaruh Pembebanan terhadap daya Mekanis

Beban (Ω)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Torsi (Newton)
5	1268	2383	0,18
10			0,11
15	1215	2296	0,10
30			0,06

Berdasarkan data hasil pada tabel 2 dan 3 ditampilkan dalam bentuk grafik garis yang ditunjukkan pada gambar 8 dan 9.



Gambar 8 Grafik Hasil Pengujian Pengaruh beban terhadap Tegangan, Arus dan Daya



Gambar 9 grafik Hasil Pengujian Pengaruh Beban Terhadap Torsi

Berdasarkan grafik pada gambar 8 dan 9 diperoleh hasil variasi beban berpengaruh terhadap tegangan, arus, daya dan torsi yang dihasilkan PLTSa, dimana

terjadi penurunan pada torsi, arus dan daya tetapi sebaliknya terjadi kenaikan pada tegangan seiring dengan kenaikan beban.

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian sebagai berikut :

1. Perancangan turbin impuls satu tingkat pada *prototype* PLTSa memiliki diameter cakram 44 cm dengan 75 sudu. *Prototype* PLTSa ini dapat diselesaikan, dan dapat menghasilkan daya listrik 23 Watt dengan komposisi sampah organik 10 kg. Prtotoype ini menggunakan boiler tabung gas freon 13,5kg dengan tekanan keluaran uap 3 bar dan kapasitas air 9 liter. *Prototype* ini juga menggunakan satu buah *nozzle* dengan diameter ujung *nozzle* sebesar 6mm. *Prototype* ini memproduksi daya terbesar pada variasi beban 5 ohm dengan daya yang dihasilkan 23,32 Watt, untuk teganganya 10,2 volt, arus 2,28 dan torsi 0,18 Newton maka *prototype* ini mempunyai efisiensi sebesar 11,1%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Achmad, F. Maula, and M. Permata, "PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSA)No Title," *Politeknik Negeri Jakarta*, pp. 1–16, 2014, [Online]. Available: <https://desimulyanto.wordpress.com/category/makalah/>
- [2] M. Mustangin, S. H, F. M, and R. S, "TURBIN UAP: Prinsip ,start-up,Perawatan ,Penunjangnya." pp. 1–222, 2018.
- [3] M. L. Hakim, "Rancang Bangun Turbin Untuk Sistem Organic Rankine Cycle (Orc) Menggunakan Fluida Kerja R-141B Of Turbine For Organic Rankine Cycle (Orc) System Using R-141B As Fluid Power Capacity 1 Kilowatt," 2016.
- [4] H. Hariri and F. Zainal, "Perancangan Dimensi Bagian Utama Turbin Uap Impuls Skala Laboratorium,"

Seminar Rekayasa Teknologi Semrestek, pp. 297–305, 2018.

- [5] I. Wayan, B. Saputra, and A. I. Weking, "Rancang Bangun Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Menggunakan Kincir Overshot Wheel," *Teknologi Elektro*, vol. 16, no. 02, 2017.