

PENGARUH VARIASI DIAMETER UJUNG NOZZLE TERHADAP LAJU UAP UNTUK MENGERAKAN TURBIN PLTSa

I Nyoman Daton Trisnadana¹, Cok. Gede Indra Partha², I Gusti Ngurah Janardana³

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

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit, Jl Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80631

Email : datontrisnadana03@gmail.com¹, cokindra@unud.ac.id², janardana@ee.unud.ac.id³

ABSTRAK

Sampah merupakan salah satu permasalahan yang sangat serius di daerah kawasan pesisir pantai-pantai yang ada di Bali dikarenakan pengelolaan sampah kiriman dari laut yang belum maksimal. Salah satu cara pengolahan sampah menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga sampah (PLTSa) yang dapat menghasilkan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh variasi diameter pada *nozzle* dengan laju uap yang dihasilkan untuk menggerakkan turbin PLTSa, dengan metode penelitian ini menggunakan kuantitatif deskriptif. Pengujian pada *prototype* PLTSa menggunakan turbin impuls satu tingkat dengan menggunakan diameter runner 44cm dan jumlah sudu turbin sebanyak 75 sudu. *Prototype* ini menggunakan 3 variasi diameter *nozzle* yaitu 3mm, 6mm dan 9mm dengan uap keluaran boiler sebesar 3 bar sehingga mendapatkan rata-rata laju uap tertinggi terjadi pada diameter *nozzle* 6mm mendapatkan hasil 1470 rpm sebelum dihubungkan generator dan 2460 rpm setelah dihubungkan generator.

Kata kunci : PLTSa, sampah, *nozzle*, turbin

ABSTRACT

Garbage is a very serious problem in the coastal areas of the beaches in Bali because the management of postal waste from the sea is not optimal. One way of processing waste is using a waste power plant (PLTSa) that can generate electricity. This study aims to find out how the effect of variations in the diameter of the nozzle on the rate of steam generated to drive the PLTSa turbine, with this research method using descriptive quantitative. Tests on the PLTSa prototype used a single-stage impulse turbine using a runner diameter of 44cm and a total of 75 turbine blades. This prototype uses 3 nozzle diameter variations, namely 3mm, 6mm and 9mm with a boiler output steam of 3 bar so that the highest average steam rate occurs at a nozzle diameter of 6mm to get a result of 1470 rpm before connecting the generator and 2460 rpm after connecting the generator.

Key Words : PLTSa, garbage, *nozzle*, 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. Salah satu upaya yang dapat dimanfaatkan dengan menerapkan sampah sebagai sumber energi dengan pembangunan PLTSa. Pembangkit listrik yang akan dibuat untuk mengelola permasalahan sampah kiriman dari Pantai Biaung ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa).

Balai Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut (BPSPL) tanggal 27

Agustus 2022 dilaksanakan kegiatan The Bali Beach Clean Up di Pantai Biaung mencatat total sampah yang berhasil dikumpulkan sebanyak 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) dan 1.050 kg sampah organik[1]. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah ialah penghasil listrik yang menggunakan termal yang dapat menghasilkan tenaga listrik dengan memanfaatkan sampah sebagai bahan utamanya, baik dengan sampah organik maupun sampah anorganik.

Mekanisme Pembangkit Listrik Tenaga sampah ini dapat dilakukan dengan metode pembakaran berbahan 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 pada turbin Impuls dari sisi atas samping dengan tekanan optimal. Uap keluaran ujung Nozzle menuju sisi tengah sudu pada turbin dan akan menghasilkan gaya berat uap untuk memacu sudu pada turbin untuk dapat memutar Runner. Turbin dapat disambungkan ke generator agar generator memutar dengan menggunakan pulley yang diletakkan di poros turbin dan pulley pada generator menggunakan belt. Pada 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 Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Sampah dengan analisis variasi diameter *nozzle* terhadap laju uap untuk memutar turbin impuls. Pada penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan laju uap *prototype* pembangkit listrik tenaga sampah untuk mendapatkan putaran turbin yang paling maksimum, serta dapat mengurangi jumlah sampah kiriman di pantai biaung dengan memanfaatkan sampah tersebut.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Nozzel

Nozzel merupakan bagian dari turbin *Impuls* yang memiliki fungsi untuk mengubah tekanan uap ke energi kinetik, memfokuskan keluaran uap menuju sudu *Runner*, dan mengatur jumlah uap yang akan masuk ke turbin [2].



Gambar 1 Nozzel.

2.2 Perhitungan Desain Nozzel

Diasumsikan tekanan keluaran boiler 3 bar pada temperatur air 133,6°C dan tekanan keluaran turbin 1 bar. Perhitungan

nozzle dilakukan untuk mendapatkan laju laluan uap yang melewati *nozzle* [3], maka untuk perhitungan boiler digunakan persamaan sebagai berikut :

1. Menghitung diameter saluran uap dengan diketahui panjang saluran uap

$$d = 0,545 \sqrt{\frac{Q}{Z_0 \sqrt{H}}} \quad (1)$$

Keterangan :

d = Diameter saluran uap (m)

Q = Laju aliran uap (KJ/s)

H = panjang lintasan uap (m)

Z0 = Banyaknya *Nozzle*

2. Menghitung massa aliran uap melalui *nozzle*.

$$M = \frac{Q}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

Dimana :

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

Q = Laju panas yang keluar dari incenerator (KJ/jam)

h₁ = Entalphy air masuk boiler (KJ/kg)

h₂ = Entalphy uap keluar boiler (KJ/kg)

3. Dengan mengasumsikan tekanan masuk *nozzle* 3 bar dan mengalami perubahan suhu, maka dapat ditentukan kecepatan uap keluar *nozzle* pada kondisi awal dengan persamaan berikut :

- a. Kecepatan uap keluar *nozzle* teoritis adalah :

$$C_{1t} = 12,72 \cdot \sqrt{h_1 - h_2} \quad (3)$$

- b. Kecepatan uap keluar *nozzle* aktual adalah :

$$C_1 = \psi \cdot C_{1t} \quad (4)$$

Keterangan :

C_{1t} = Kecepatan uap keluar *nozzle* teoritis, m/s

C₁ = Kecepatan uap keluar *nozzle* aktual, m/s

h₁ = Entalpi masuk , KJ/kg

h₂ = Entalpi keluar, KJ/kg

2.3 Nozzle konvergen

Nozzle konvergen memiliki laluan dengan dimensi penampang yang mengecil secara konstan, pada bagian keluar uap memiliki dimensi yang minimum yang besar dimensi bergantung pada kondisi aliran. Expansi uap dari tekanan P₀ ke P₁ terjadi sepanjang luasan di dalam *nozzle*.

1. Menghitung volume spesifik uap pada penampang sisi keluar *nozzle* persamaan kontinuitas :

$$m \cdot u = A \cdot c \quad (5)$$

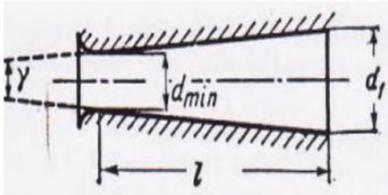
Keterangan :

m = Massa alir uap melalui *nozzle*, kg/s

U = Volume spesifik uap pada penampang sisi keluar *nozzle*, m³/kg

c = Kecepatan aktual uap pada penampang sisi keluar *nozzle*, m/s

A = Luasan penampang sisi keluar *nozzle*, m²



Gambar 2 Nozzle Konvergen.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Workshop dan Laboratorium Konversi Energi Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Januari 2022.

3.1 Perencanaan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

PLTSa ini dibuat dengan memperkirakan nilai massa sampah organik, kapasitas boiler, diameter pipa dan tekanan uap keluaran boiler untuk prototype PLTSa.

Tabel 1 Data perencanaan sistem PLTSa

No	Parameter	Nilai
1	Sampah	10 kg
2	Boiler	9 L
3	Diameter pipa	1/2"
4	Tekanan Uap	3 bar atau 43.5113 Psi

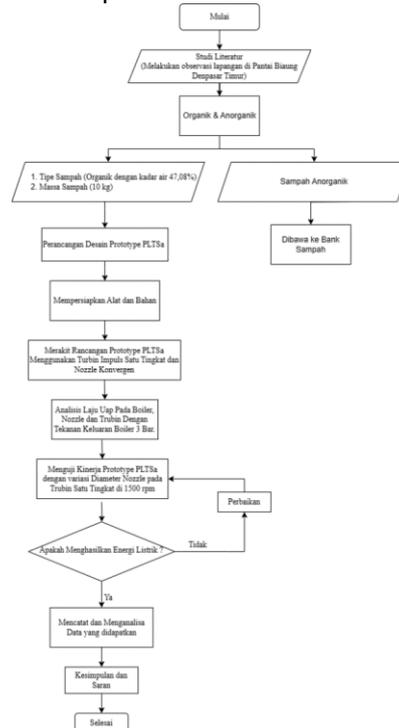
Turbin uap mempunyai satu set stasioner sudu (disebut nozel) dan satu set sudu bergerak yang berdekatan (disebut bucket atau sudu rotor) dipasang di dalam sebuah tempat. Dua set sudu secara bersamaan bekerja sehingga uap dapat menggerakkan poros turbin dengan beban yang tersambung. Nozel mempercepat kecepatan uap dan memperluasnya dengan tekanan yang lebih rendah. Poros berputar mengubah arah aliran uap, sehingga menciptakan gaya ke sudu. Karena beroda geometri, memanifestasikan dirinya sebagai torsi pada poros tempat roda bersudu dipasang. Perpaduan antara torsi dan kecepatan merupakan daya keluaran turbin,

berikut parameter pemodelan turbin impuls untuk prototype PLTSa [4].

Tabel 2 Data pemodelan turbin impuls satu tingkat

No	Parameter	Nilai
1	Runner	44 cm
2	Sudu	75 bilah
3	Diameter poros	12 mm
4	Panjang Poros	0,5 m

Penelitian ini terdapat urutan perancangan dan pembuatan alat uji prototype PLTSa serta pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 3 :



Gambar 3 Diagram alir penelitian

3.2 Menghitung diameter saluran uap

Menghitung diameter saluran uap dengan panjang saluran uap 1 meter sesuai persamaan (1) sebagai berikut :

$$d = 0,545 \sqrt{\frac{Q}{Z_0 \sqrt{H}}}$$

$$d = 0,545 \sqrt{\frac{0,00013647}{1 \sqrt{1}}} = 0,0063 \text{ m} \approx 6 \text{ mm}$$

Bahan saluran uap yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pipa air panas. Perhitungan diameter saluran uap didapat sebesar 6mm sedangkan untuk standar ukuran pipa air panas berdasarkan AWWA berukuran 1/2" atau 12mm [5], maka dari itu diperlukan *nozzle* untuk mendapatkan kecepatan uap yang

maksimal. Penelitian ini akan dilakukan perhitungan kecepatan aktual uap pada sisi penampang keluar *nozzle* dengan variasi diameter lebih besar atau lebih kecil sama dengan 6 mm. Realisasi pembuatan *nozzle* dilapangan yang dapat dilakukan adalah 3mm, 6mm dan 9mm. Variasi *nozzle* ini akan dilakukan pengujian pada penelitian PLTSa.

3.3 Analisa Perhitungan Nozzle

Prinsip kerja dari turbin impuls bekerja dengan prinsip hantaman, semua energi tinggi dan tekanan ketika masuk ke sudu turbin dirubah menjadi energi kinetik. Turbin ini disebut juga turbin tekanan sama, hal tersebut dikarenakan aliran uap keluaran *nozzle*, tekanannya adalah sama dengan tekanan atmosfer.

Berdasarkan perhitungan desain *nozzle* dengan *nozzle* yang digunakan ialah *nozzle* konvergen. Diasumsikan tekanan keluaran boiler 3 bar pada temperatur air 133,6°C dan tekanan keluaran turbin 1 bar , maka perhitungan kecepatan aktual uap pada penampang sisi keluar *nozzle* dengan memvariasikan diameter *nozzle* sebagai berikut:

1. Menghitung massa aliran uap melalui nozzle sesuai persamaan (2)

$$M = \frac{Q}{h_2 - h_1} = \frac{1457,6}{2748,7 - 125,79} = 0,5557 \text{ Kg/Jam} = 0,000154361 \text{ Kg/s}$$

2. Menghitung kecepatan aktual uap keluar *nozzle* sesuai persamaan (3) dan (4) sebagai berikut :

a. kecepatan uap keluar *nozzle* teoritis :

$$C_{1t} = 44,72 \cdot \sqrt{7,9061} - 8,0330$$

$$C_{1t} = 44,72 \cdot (0,36)$$

$$C_{1t} = 16 \text{ m/s}$$

b. kecepatan uap keluar *nozzle* aktual :

$$C_1 = 0,95 \cdot 16 \text{ m/s}$$

$$C_1 = 15,3 \text{ m/s}$$

3. Menghitung volume spesifik uap pada penampang sisi keluaran *nozzle* sesuai persamaan (5) sebagai berikut :

Setelah mengetahui massa aliran uap keluar boiler (*M*) dan kecepatan uap keluar *nozzle* aktual (*C*₁), maka dapat menghitung volume spesifik uap pada penampang sisi keluaran *nozzle* dengan diameter luasan sisi penampang keluaran *nozzle* 12mm/tanpa *nozzle*.

$$M \cdot V = A \cdot C$$

$$0,00013647 \cdot V = 0,00011304 \cdot 15,3$$

$$V = \frac{0,00011304 \cdot 15,3}{0,00013647}$$

$$V = 12,67 \text{ m}^3/\text{kg}$$

4. Menghitung kecepatan uap pada masing-masing penampang sisi keluaran *nozzle* sesuai persamaan (5) sebagai berikut :

Setelah mendapatkan volume spesifik uap pada penampang sisi keluaran *nozzle*, maka dapat menghitung kecepatan uap pada masing-masing penampang dengan persamaan (5) dengan menetapkan massa (*M*) dan volume (*V*) sebagai berikut :

a. Kecepatan uap pada penampang berdiameter 9mm

$$0,00013647 \cdot 12,67 = 0,00006358 \cdot C$$

$$C = \frac{0,00013647 \cdot 12,67}{0,00006358}$$

$$C = 27,2 \text{ m/s}$$

b. Kecepatan uap pada penampang berdiameter 6mm

$$0,00013647 \cdot 12,67 = 0,00002826 \cdot C$$

$$C = \frac{0,00013647 \cdot 12,67}{0,00002826}$$

$$C = 61,1 \text{ m/s}$$

c. Kecepatan uap pada penampang berdiameter 3mm

$$0,00013647 \cdot 12,67 = 0,00000706 \cdot C$$

$$C = \frac{0,00013647 \cdot 12,67}{0,00000706}$$

$$C = 244,9 \text{ m/s}$$

d. Kecepatan uap pada penampang berdiameter 1mm

$$0,00013647 \cdot 12,67 = 0,00000078 \cdot C$$

$$C = \frac{0,00013647 \cdot 12,67}{0,00000078}$$

$$C = 2216,7 \text{ m/s}$$

Tabel 3 Hasil Perhitungan Variasi Diameter Nozzle

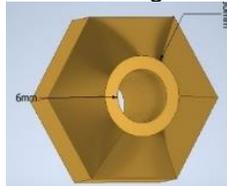
Diameter nozzle (mm)	M (Kg/s)	V (m ³ /Kg)	A (m ²)	C (m/s)
12	0,00013647	12,67	0,00011304	15,3
9	0,00013647	12,67	0,00006358	27,2
6	0,00013647	12,67	0,00002826	61,1
3	0,00013647	12,67	0,00000706	244,9
1	0,00013647	12,67	0,00000078	2216,7

Tabel 3 menunjukkan semakin kecil diameter nozzle maka laju kecepatan uap semakin tinggi, dengan mengabaikan hambatan yang terjadi pada masing-masing diameter ujung *Nozzle* didapatkan laju uap tertinggi terdapat pada diameter *nozzle* 1mm sebesar 2216,7 m/s, namun pada realisasinya resiko penyumbatan laju uap

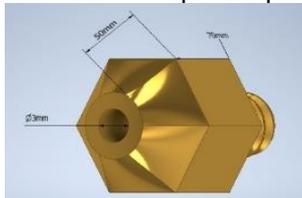
sangat mempengaruhi laju uap keluaran *Nozzle*.

3.4 Desain Diameter nozzle

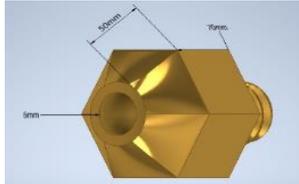
Desain diameter nozzle tampak depan di tunjukan pada gambar 4, variasi diameter *nozzle* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu 3mm, 6mm, dan 9mm yang dapat ditunjukkan pada gambar dibawah 5, 6 dan 7 sebagai berikut :



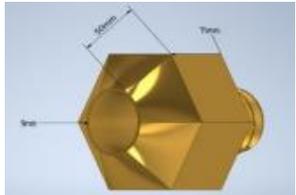
Gambar 4 Desain Tampak Depan Nozzel.



Gambar 5 Desain Diameter Nozzel 3mm.



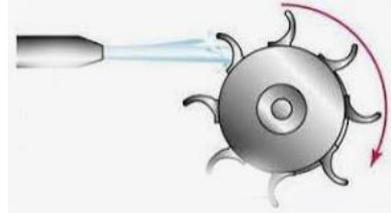
Gambar 6 Desain Diameter Nozzel 6mm.



Gambar 7 Desain Diameter Nozzel 9mm.

3.5 Desain Titik Pemasangan nozzle

Desain pada titik *nozzle* dapat ditentukan berdasarkan ukuran diameter runner dan ukuran rumah turbin. Ukuran diameter runner 44 cm dan ukuran rumah turbin 50cm dalam penentuan titik *nozzle* akan diasumsikan titik tersebut apabila aliran uap melewati *nozzle* uap akan mengenai tengah-tengah sudu turbin dan turbin dapat berputar. Berikut merupakan gambar desain titik pemasangan *nozzle* yang dilihat pada gambar 8 sebagai berikut :

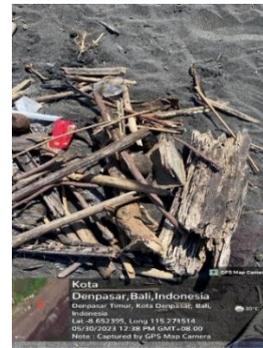


Gambar 8 Titik Pemasangan *Nozzle*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Survei Lokasi Penelitian

Survei lokasi penelitian dilakukan untuk mendapatkan data umum kondisi di Pantai Biaung seperti pada Gambar 9 yang meliputi jumlah sampah, dan jenis sampah. Survei dilakukan langsung di Pantai Biaung Denpasar Timur dan diperoleh data hasil survei lokasi di Pantai Biaung yang ditunjukkan oleh Tabel 4.



Gambar 9 Kondisi Sampah di Pantai Biaung

Tabel 4 Data Hasil Survei Lokasi di Pantai Biaung.

No	Lokasi	Alamat	Suhu	Sampah
1	Pantai Biaung	Jl. Gumitir Gg. Anggrek, Kesiman Kertalangu, Denpasar Timur, Denpasar	30° Pukul (13.00 pm- 14.00 pm)	- Organik : 23 Kg/Hari - Anorganik : 15 Kg/Hari

4.2 Prototype PLTSa dengan Menggunakan Turbin Impuls Satu Tingkat

Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) adalah suatu instalasi pembangkit listrik skala kecil dengan kapasitas pembangkitan rendah yang menggunakan sampah organik sebagai media pembakaran dan tenaga uap sebagai penggeraknya, jenis turbin yang di gunakan adalah turbin impuls satu tingkat.



Keterangan:

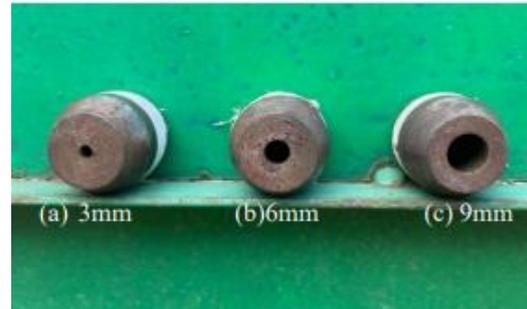
1. Ruang pembakaran
2. Boiler kapasitas 9 liter air
3. Manometer
4. Selang pipa air panas berdiameter 12mm
5. Cover turbin
6. Nozzle (3mm, 6mm dan 9mm)
7. Sudu turbin (75 Sudu)
8. Poros turbin (Diameter 44 cm)
9. Belt A-38
10. Rangka turbin
11. Generator DC (250 Watt, 2750 RPM dan 24V)
12. Pulley (1:2)

Gambar 10 Prototype PLTSa

Sistem kerja dari *prototype* ini yaitu menggunakan sampah organik sebagai media pembakaran, dimana sampah organik ini akan dibakar untuk memanaskan air yang ada di boiler hingga menjadi uap pada tekanan 3 bar. Setelah uap di dalam boiler mencapai tekanan 3 bar kemudian uap ini dialirkan ke pipa dan *nozzle* yang akan dialirkan menuju sudu turbin impuls dari atas. Uap keluaran ujung *nozzle* mengenai tengah sudu turbin dan membuat suatu gaya tekanan uap yang dapat menekan sudu turbin agar dapat memutar runner. Turbin dapat disambungkan ke generator agar generator memutar dengan menggunakan pulley yang diletakkan di poros turbin dan pulley pada generator menggunakan belt. Pada 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.

4.3 Realisasi Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Sampah dengan Variasi Diameter nozzle

Realisasi nozzle yang digunakan pada prototype PLTSa merupakan jenis nozzle konvergen dengan memvariasikan diameter nozzle. Variasi diameter nozzle yang digunakan ada tiga variasi mulai dari 3 mm, 6mm dan 9mm dengan sudut 30° sehingga Tiap nozzle memiliki masing masing dua kali percobaan. Pemilihan variasi diameter nozzle ini dirancang agar tekanan uap yang keluar dari nozzle dapat mencapai putaran 1500 rpm pada turbin impuls satu tingkat.



Gambar 11 Realisasi Ujung Diameter Nozzle (a) 3mm, (b) 6mm, (c) 9mm.

4.4 Pengukuran Prototype PLTSa dengan Menggunakan Turbin Impuls Satu Tingkat

Lokasi Pengukuran Prototype Pembangkit Listrik Tenaga sampah bertujuan untuk mengetahui pengaruh tekanan laju aliran uap yang dihasilkan oleh boiler dan variasi diameter nozzle dengan menggunakan turbin impuls satu tingkat. Turbin impuls yang digunakan memiliki diameter cakram 44 cm dan jumlah sudu sebanyak 75 sudu, untuk variasi diameter nozzle yang digunakan yaitu 3mm, 6mm dan 9mm. Tekanan uap yang digunakan pada prototype ini adalah 3 bar dengan pembakaran 10Kg sampah organik dan volume air pada boiler 9 liter, sehingga diketahui pengaruh variasi diameter nozzle yang di gunakan untuk memutar turbin impuls satu tingkat terhadap rpm turbin yang dihasilkan.



Gambar 12 Realisasi pengukuran turbin prototype PLTSa.

4.5 Pengukuran Variasi Diameter Nozzle Terhadap Putaran Turbin

Pengukuran variasi diameter nozzle terhadap putaran turbin dilakukan untuk mengetahui putaran maksimal turbin sebelum dan sesudah disambungkan dengan generator. Alat yang dipakai dalam pengukuran putaran turbin adalah tachometer yang di tempelkan pada rotor turbin. Perputaran turbin terjadi karena adanya gaya dorong aliran uap yang mengenai sudu turbin. Dalam pengukuran

putaran turbin tekanan uap awal yang digunakan yaitu 3 bar dengan variasi diameter nozzle 3mm, 6mm, dan 9mm

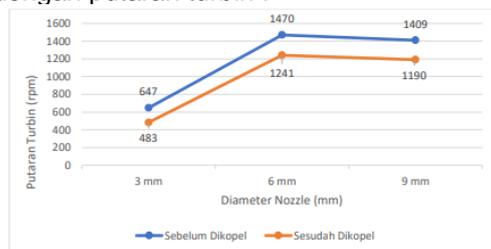
Tabel 5 Hasil Pengukuran Putaran Turbin

No	Ukuran Nozzel (mm)	Putaran Turbin (rpm)		Rata-Rata Hasil Pengukuran Putaran Turbin (rpm)	
		Sebelum Dikopel Dengan Generator	Sesudah Dikopel Dengan Generator	Sebelum Dikopel Generator	Sesudah Dikopel Generator
1	3	641	474	647	483
		654	491		
2	6	1446	1215	1470	1241
		1494	1268		
3	9	1397	1172	1409	1190
		1421	1208		

Berdasarkan tabel 5 yang berisikan hasil pengukuran putaran turbin yang dilaksanakan berulang sebanyak 2 kali pada masing - masing parameter agar mendapatkan hasil yang lebih akurat karena uji coba yang dilaksanakan menghasilkan data yang berubah – ubah sebab tekanan uap keluaran boiler tidak stabil.

Hasil rata-rata pengukuran diperoleh putaran turbin tercepat sebelum dihubungkan generator yaitu pada diameter nozzle 6mm yaitu 1470 rpm. Sedangkan putaran turbin terpelan sebelum disambungkan generator yaitu pada variasi diameter nozzle 3mm yaitu 647 rpm. Kecepatan putaran turbin tertinggi setelah disambungkan generator yaitu pada diameter nozzle 6mm yaitu 1241 rpm, Sedangkan putaran turbin terendah setelah disambungkan generator yaitu pada diameter nozzle 3mm yaitu 483 rpm.

Berdasarkan tabel 5 dapat diperoleh grafik hubung antara variasi diameter nozzle dengan putaran turbin :



Gambar 13 Grafik Pengukuran Putaran Turbin.

Berdasarkan Gambar 13 dapat dilihat bahwa kecepatan putar turbin tertinggi terdapat pada diameter nozzle 6mm, hal tersebut dikarena pada diameter nozzle 6mm uap yang keluar dari ujung nozzle memiliki volume uap yang lebih banyak dan tekanan yang lebih tinggi mengenai sisi tengah sudu (bucket). Uap yang mengenai sisi tengah sudu akan mempengaruhi gaya

dorong uap terhadap turbin dan akan menghasilkan putaran turbin dan generator yang maksimal.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian dan pembahasan yang telah dilaksanakan pada prototype PLTSa dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Berdasarkan hasil analisa dari variasi diameter nozzle 3mm, 6mm dan 9mm terhadap putaran turbin Imuls Satu Tingkat menunjukkan bahwa laju uap keluaran boiler meningkat pada diameter nozzle 6mm dan 9 mm, hal ini dikarenakan hambatan laju uap yang terjadi pada diameter nozzle 6mm dan 9mm tidak terlalu besar sehingga laju uap mengalami peningkatan. Sedangkan pada diameter nozzle 3mm mengalami penurunan laju uap, hal ini dikarenakan pada diameter nozzle 3mm memiliki hambatan yang besar sehingga laju uap pada diameter nozzle 3mm mengalami penurunan tekanan dan laju uap. Berdasarkan hasil penelitian prototype PLTSa menggunakan turbin impuls satu tingkat mendapatkan rata-rata laju uap tertinggi terjadi pada diameter nozzle 6mm mendapatkan hasil putaran turbin 1470 rpm sebelum dikopel generator dan 1241 rpm setelah dikopel generator, sedangkan laju uap terendah terjadi pada diameter nozzle 3mm mendapatkan hasil putaran turbin 647 rpm sebelum dikopel generator dan 483 rpm setelah dikopel generator. Variasi diameter nozzle dapat berpengaruh terhadap putaran yang dihasilkan oleh turbin dimana nantinya putaran turbin yang maksimal ini akan mempengaruhi output dari prototype PLTSa dengan menggunakan turbin impuls satu tingkat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Pengelolaan, S. D. Pesisir, L. Denpasar, D. Jenderal, dan P. Ruang, "Beranda (Http://Kkp.Go.Id/Djprl/Bpspldenpasar) Transparansi Kinerja Reformasi Birokrasi," vol. 2022, 2022.
- [2] A. S. Nugroho;, A. T. Rahayu;, dan N. A. Rubiandana, "Studi Eksperimental Diameter Nozle Terhadap Kualitas Api Kompor Berbahan Bakar Limbah Cair.pdf," *Justek J. Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, hal. 22–31, 2022.

- [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] M. Mustangin, S. H, F. M, dan R. S, "TURBIN UAP : Prinsip ,start-up,Perawatan ,Penunjangnya." hal. 1–222, 2018.
- [5] AWWA, "Crosslinked polyethylene (PEX) pressure pipe, 1/2 in (12 mm) through 3 in (76 mm), for water service", vol. 2, no. m, 2007.