

ANALISIS VARIASI BENTUK NOZZLE PIPIH DAN BULAT TERHADAP PUTARAN TURBIN DAN GENERATOR PADA *PROTOTYPE* PLTSa

Muhammad Kalimullah¹, Cok Gede Indra Partha², I Wayan Sukerayasa³

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: muhammadkalimullah123@gmail.com¹, cokindra@unud.ac.id²,
sukerayasa@unud.ac.id³

ABSTRAK

Sampah merupakan masalah yang masih sulit untuk diatasi. Pada tahun 2023 di Provinsi Bali jumlah sampah yang dihasilkan mencapai 1.027.433,75 ton pertahunnya. Kabupaten Badung merupakan salah satu pemasok sampah yang cukup besar di Provinsi Bali, di Kabupaten Badung, sampah yang dihasilkan mencapai 195.222,46 ton per tahun. TPST 3R Legian Kaja adalah salah satu fasilitas pengelolaan sampah yang berlokasi di Kabupaten Badung. TPST ini mampu melakukan pengelolaan sampah sebesar 16 ton per hari, salah satu metode yang digunakan adalah insinerasi atau pembakaran sampah. Selama proses pembakaran, energi panas yang dihasilkan sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Namun sebagian besar energi panas yang dihasilkan tidak dimanfaatkan, sehingga terdapat potensi pemborosan energi panas. Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat *prototype* pembangkit listrik tenaga sampah sebagai solusi energi dan pengelolaan sampah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif deskriptif. Pada penelitian ini menggunakan variasi bentuk *nozzle* pipih dan bulat untuk mendapatkan putaran turbin yang optimal. Pengujian ini diperoleh putaran turbin tertinggi terjadi pada bentuk *nozzle* pipih, yang mendapatkan hasil putaran turbin 1179 RPM sebelum dikopel generator dan 922 RPM setelah dikopel generator.

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

ABSTRACT

Waste is a problem that is still difficult to overcome. In 2023 in Bali Province the amount of waste produced will reach 1,027,433.75 tons per year. Badung Regency is one of the largest waste suppliers in Bali Province. In Badung Regency, the waste produced reaches 195,222.46 tons per year. TPST 3R Legian Kaja is a waste management facility located in Badung Regency. This TPST is capable of managing 16 tons of waste per day, one of the methods used is incineration or burning of waste. During the combustion process, the heat energy produced can actually be used to produce electrical energy. However, most of the heat energy produced is not utilized, so there is the potential for wasting heat energy. This research aims to design and create a prototype waste-powered power plant as an energy and waste management solution. The method used in this research is descriptive quantitative. This research uses a variety of flat and round nozzle shapes to obtain optimal turbine rotation. This test showed that the highest turbine rotation occurred in the flat nozzle shape, which resulted in a turbine rotation of 1179 RPM before being coupled to the generator and 922 RPM after being coupled to the generator.

Key Words : PLTSa, waste, *nozzle*, turbine.

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan masalah yang masih sangat sulit untuk diatasi. Hampir di semua daerah di Indonesia, sampah merupakan salah satu permasalahan yang

terus dicari solusinya. Pada tahun 2023 di Provinsi Bali jumlah sampah yang dihasilkan mencapai 2.814,89 ton per-hari dan 1.027.433,75 ton per tahunnya. Kabupaten Badung merupakan salah satu pemasok

sampah yang cukup besar di Provinsi Bali, di Kabupaten Badung, sampah yang dihasilkan mencapai 534,86 ton per hari dan 195.222,46 ton per tahun [1].

TPST (Tempat Pengolahan Sampah Terpadu) 3R Legian Kaja adalah salah satu fasilitas pengelolaan sampah yang berlokasi di Kabupaten Badung. TPST 3R Legian Kaja mampu melakukan pengelolaan sampah sebesar 16 ton per hari. Data ini diperoleh dari hasil survei terhadap empat truk yang secara rutin keluar masuk setiap harinya, dengan setiap truk mengangkut sekitar 4 ton sampah. Sehingga, total sampah yang masuk ke TPST 3R Legian Kaja setiap hari mencapai 16 ton.

Penelitian ini dilakukan di TPST 3R dikarenakan salah satu metode yang digunakan pada TPST ini adalah insinerasi atau pembakaran sampah. Metode ini melibatkan pembakaran sampah pada suhu tinggi untuk mengurangi volume dan massa sampah secara signifikan. Selama proses pembakaran, energi panas yang dihasilkan sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Namun demikian, dalam praktiknya, sebagian besar energi panas yang dihasilkan tidak dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga terdapat potensi pemborosan energi panas.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang *prototype* pembangkit listrik yang memanfaatkan limbah sebagai sumber energi, sekaligus menawarkan solusi dalam pengelolaan sampah. *Prototype* ini dirancang untuk mengoptimalkan putaran turbin dengan mengeksplorasi variasi bentuk *nozzle*, yakni pipih dan bulat, sehingga dapat memberikan solusi efektif dalam pemanfaatan energi dan pengelolaan sampah.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Nozzle

Nozzle adalah suatu komponen yang berfungsi untuk mengubah tekanan uap menjadi energi kinetik pada turbin, dengan mengarahkan pancaran uap ke sudu runner, dan mengatur kapasitas uap yang akan masuk ke turbin [2].



Gambar 1 Nozzle

2.2 Perhitungan Nozzle

Tekanan pada keluaran *boiler* diasumsikan sebesar 3 bar, sehingga perhitungan *boiler* menggunakan persamaan berikut:

1. Menentukan diameter pipa uap berdasarkan panjang saluran yang tersedia [2].

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

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* [2].

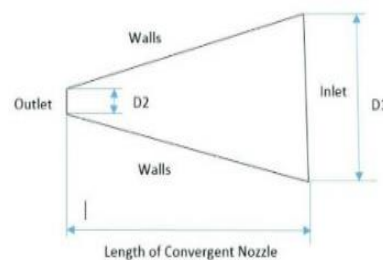
$$M = \frac{Q_{\text{laju panas}}}{h_2 - h_1} \quad (2)$$

Keterangan :

- M = Laju aliran uap keluar dari *boiler* (kg/jam)
- Q_{laju panas} = Laju panas yang keluar dari incinerator (kJ/jam)
- h₁ = Enthalpy air masuk *boiler* (kJ/kg)
- h₂ = Enthalpy air keluar *boiler* (kJ/kg)

2.3 Nozzle Konvergen

Nozzle konvergen memiliki saluran dengan luas penampang yang berkurang secara bertahap, di mana bagian keluarannya memiliki luas terkecil yang ditentukan oleh kondisi aliran. Proses ekspansi uap dari tekanan P₀ ke P₁ terjadi di sepanjang area dalam *nozzle* [3].



Gambar 2 Nozzle Kovergen

2.4 Nozzle Pipih

Nozzle pipih adalah sebuah perangkat mekanis yang dirancang untuk mengarahkan aliran fluida, seperti udara atau air, melalui celah sempit dengan profil datar [4].



Gambar 3 *Nozzle* Pipih

1. Untuk mengetahui luas penampang *nozzle* bulat digunakan persamaan sebagai berikut :

$$A_{\text{bulat}} = \pi \times r^2 \quad (3)$$

Keterangan :

A= luas penampang *nozzle* bulat (mm²)

r = jari-jari turbin (mm)

π = phi (3,14)

2. Untuk menghitung luas penampang *nozzle* pipih digunakan persamaan sebagai berikut :

$$A_{\text{pipih}} = \text{Lebar} \times \text{Tinggi} \quad (4)$$

3. METODE PENELITIAN

Tempat Observasi pengambilan data dilakukan pada TPST 3R Legian Kaja yang berlokasi di Jl. Dewi Ratih, Legian, Kec. Kuta, Kabupaten Badung, Bali. Pengerjaan Capstone Project ini dilakukan di Jl. Sulatri Gg. III, Kesiman, Denpasar, pengujian generator dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana, Kampus Bukit, Jimbaran, dan pengujian pengukuran kadar air sampah organik dilakukan di Laboratorium Biologi Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Udayana, Gedung Agrokomplek Lantai 2, Jln. P.B. Sudirman, Dauh Puri Klod, Kota Denpasar.

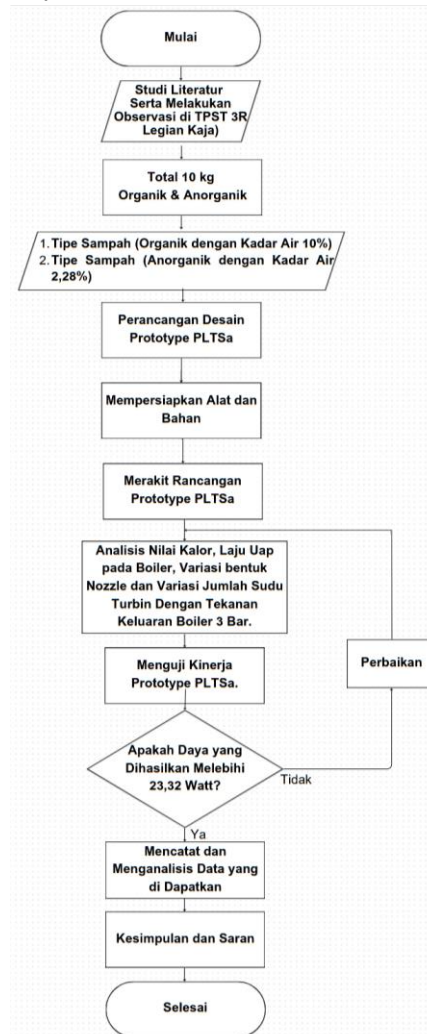
3.1 Perencanaan Sisitem Prototype PLTSa

Perencanaan sistem PLTSa dengan menetapkan variabel tetap dari nilai tekanan uap, diameter pipa, panjang pipa yang digunakan, kapasitas *boiler*, diameter runner, serta kapasitas sampah yang digunakan, data perencanaan sistem *prototype* PLTSa disajikan dalam Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1 Penetapan Variabel

No	Parameter	Nilai
1	Sampah	10 kg
2	Boiler	9 L
3	Diameter Pipa	12 mm
4	Panjang Pipa	1 m
5	Diameter Runner	54 cm
6	Tekanan Uap	3 bar

adapun tahap perancangan *prototype* dapat dilihat pada Gambar 4.



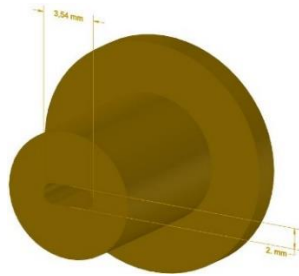
Gambar 4 Diagram Alur Perencanaan

3.2 Desain Diameter Nozzle

Desain diameter *nozzle* di tunjukan oleh Gambar 5 dan Gambar 6, variasi bentuk *nozzle* yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu bentuk bulat dengan ukuran 3 mm dan pada *nozzle* pipih dengan ukuran 2 mm x 3,54 mm.



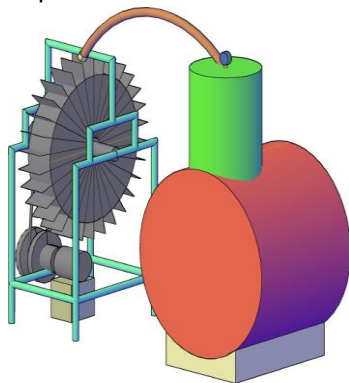
Gambar 5 Desain Nozzle Bulat



Gambar 6 Desain Nozzle Pipih

3.3 Desain Prototype PLTSa

Desain *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) dengan menggunakan bahan bakar sampah organik dan anorganik, sebagaimana digambarkan pada perangkat lunak Autodesk AutoCAD, ditunjukkan pada Gambar 7.

Gambar 7 Desain *Prototype* PLTSa

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Peninjauan Lokasi Penelitian

Peninjauan lokasi penelitian dilakukan untuk mengumpulkan data umum mengenai kondisi di TPST 3R Legian Kaja, yang berlokasi di Jl. Dewi Ratih, Legian, Kec. Kuta, Kabupaten Badung, Bali. Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 8. Data yang dikumpulkan mencakup jumlah serta jenis sampah. Hasil dari peninjauan ini disajikan dalam Tabel 2.



Gambar 8 TPST 3R Legian Kaja, Jl. Dewi Ratih, Legian, Kec. Kuta, Kabupaten Badung, Bali.

Tabel 2 Data Hasil Survei

No.	Lokasi	Alamat	Suhu	Sampah
1.	TPST 3R Legian Kaja	Jl. Dewi Ratih, Legian, Kec. Kuta, Kabupaten Badung, Bali.	30° Pukul (13.30 p.m – 4.00 p.m.)	16 ton/hari

4.2 Realisasi Pengukuran Putaran Turbin dan generator pada Prototype PLTSa

Pengukuran putaran turbin dan generator pada *prototype* PLTSa dilakukan untuk menganalisis variasi bentuk *nozzle*, yaitu *nozzle* berbentuk bulat dan pipih, guna menentukan bentuk *nozzle* yang paling optimal. Turbin yang digunakan merupakan jenis turbin impuls satu tingkat dengan diameter runner sebesar 54 cm. Selain itu, turbin ini dilengkapi dengan sudu yang memiliki dimensi panjang 6 cm dan lebar 5 cm. Penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana perbedaan bentuk *nozzle* memengaruhi kinerja turbin dan generator dalam mengoptimalkan konversi energi dari aliran fluida ke energi mekanik, yang selanjutnya dapat dikonversi menjadi energi listrik.



Gambar 9 Realisasi Pengukuran Putaran Turbin dan Generator.

4.3 Realisasi Prototype PLTSa

Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) adalah instalasi pembangkit listrik berskala kecil dengan kapasitas terbatas yang memanfaatkan sampah organik dan anorganik sebagai sumber bahan bakar, serta memanfaatkan tenaga uap sebagai penggerakannya [6]. Sistem ini mengandalkan turbin impuls satu tingkat untuk menghasilkan energi listrik.



Gambar 10 Realisasi *Prototype* PLTSa
keterangan:

1. Ruang pembakaran
2. *Boiler* kapasitas 9 liter air
3. Manometer
4. Selang pipa air panas berdiameter 12mm
5. *Nozzle* 3mm (pipih dan bulat)
6. Sudu turbin (65, 75, 85 Sudu)
7. Poros turbin (Diameter 54 cm)
8. Rangka Turbin
9. Generator DC (350 Watt, 2750 RPM, 24 V)
10. Pulley (1:2)
11. Belt A-60

Prototype ini bekerja dengan memanfaatkan sampah organik dan anorganik sebagai bahan bakar. Sampah dibakar untuk memanaskan air di dalam *boiler*, hingga menghasilkan uap bertekanan 3 bar. Ketika tekanan uap mencapai 3 bar, uap tersebut dialirkan melalui selang air panas menuju *nozzle*, yang menyemburkan uap ke sudu turbin impuls dari arah atas.

Uap yang keluar dari *nozzle* menghantam bagian tengah sudu turbin, menciptakan tekanan yang mendorong sudu untuk memutar *runner*. Pada poros turbin bagian belakang, terdapat pulley yang dihubungkan ke pulley generator menggunakan *belt*, sehingga putaran turbin diteruskan untuk menggerakkan generator. Generator dilengkapi dengan amperemeter dan voltmeter untuk memantau arus serta tegangan yang dihasilkan. Manometer dipasang di bagian atas *boiler* untuk mengukur tekanan uap, sedangkan tachometer dipasang pada poros turbin dan generator untuk mengukur kecepatan putaran masing-masing.

4.4 Realisasi Bentuk Nozzle

Nozzle yang diterapkan dalam *prototype* PLTSa ini merupakan jenis konvergen dengan dua variasi desain, yaitu berbentuk bulat dan pipih. Pengujian dilakukan untuk menganalisis kinerja dari masing-masing variasi. Bentuk *nozzle* dipilih dengan tujuan agar tekanan uap yang dihasilkan dapat menciptakan semburan yang lebih optimal.



Gambar 11 Realisasi *Nozzle*

4.5 Perhitungan Nozzle

Dalam penelitian ini, kami menggunakan *nozzle* bulat dengan ukuran diameter 3 mm sebagai dasar perbandingan [2]. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *nozzle* bulat dengan ukuran tersebut menghasilkan efisiensi paling rendah dalam memutar turbin. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa *nozzle* dengan bentuk pipih yang memiliki luas penampang setara dengan *nozzle* bulat. Variasi bentuk *nozzle* ini diharapkan dapat mempengaruhi kecepatan uap yang

keluar, sehingga berpotensi meningkatkan putaran turbin dan efisiensi sistem secara keseluruhan.

Untuk menentukan luas penampang *nozzle* pipih dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus dari persamaan 3 berikut :

1. Luas penampang *nozzle* bulat

$$A_{\text{bulat}} = \pi \times r^2$$

Dimana :

A = luas penampang *nozzle* bulat

r = jari-jari turbin

π = phi (3,14)

Jari-jari r dari diameter 3 mm adalah :

$$r = \frac{\text{diameter}}{2} = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ mm}$$

Substitusi ke rumus :

$$A_{\text{bulat}} = \pi \times (r)^2$$

$$A_{\text{bulat}} = \pi \times (1.5)^2$$

$$A_{\text{bulat}} = 3,14 \times 2,25 = 7.07 \text{ mm}^2$$

Jadi luas penampang *nozzle* bulat adalah 7,07 mm²

2. Menghitung luas penampang *nozzle* pipih dengan menggunakan persamaan 4 berikut:

Rumus luas persegi panjang untuk *nozzle* pipih :

$$A_{\text{pipih}} = \text{Lebar} \times \text{Tinggi}$$

Diketahui :

- $A_{\text{pipih}} = 7.07 \text{ mm}^2$ (sama dengan *nozzle* bulat)

- Tinggi = 2 mm

$$\text{Lebar} = \frac{A_{\text{pipih}}}{\text{tinggi}}$$

$$\text{Lebar} = \frac{7.07}{2} = 3.54 \text{ mm}$$

Jadi ukuran *nozzle* pipih yang digunakan adalah tinggi 2 mm dan lebar 3,54 mm

4.6 Pengukuran Putaran Turbin dan Generator Berdasarkan Variasi Bentuk Nozzle

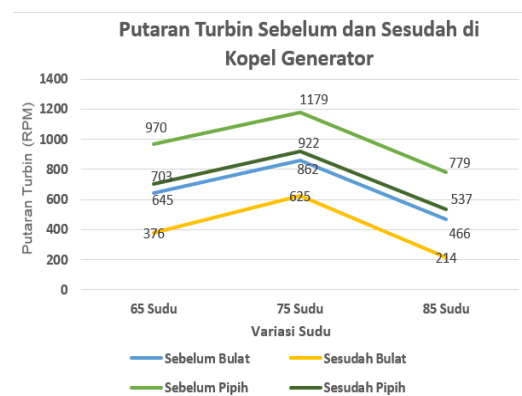
Pengukuran pengaruh variasi bentuk *nozzle* terhadap putaran turbin dilakukan

untuk mengetahui putaran maksimum turbin sebelum dan sesudah terhubung dengan generator. *Tachometer* digunakan sebagai alat ukur dengan menempelkannya pada poros turbin. Pengujian dilakukan pada tekanan uap awal sebesar 3 bar dengan dua jenis *nozzle*, yaitu berbentuk bulat dan pipih.

Tabel 3 Data Hasil Pengukuran

NO	Variasi Sudu Turbin	Bentuk Nozzle	Putaran Turbin (RPM)	
			Sebelum dikopel dengan generator	Sesudah dikopel dengan Generator
1.	65	Bulat	645 RPM	376 RPM
		Pipih	970 RPM	703 RPM
2.	75	Bulat	862 RPM	625 RPM
		Pipih	1179 RPM	922 RPM
3.	85	Bulat	466 RPM	214 RPM
		Pipih	779 RPM	537 RPM

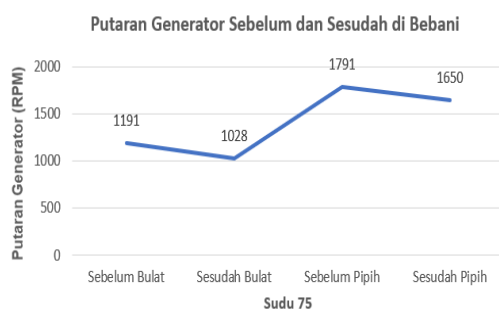
Tabel 3 merupakan hasil dari pengukuran *nozzle* terhadap putaran turbin, hasil pengukuran yang dilakukan dapat diketahui bahwa putaran turbin tertinggi diperoleh pada bentuk *nozzle* pipih dengan tekanan uap dari *boiler* 3 bar, hal ini terjadi karena pada diameter *nozzle* pipih menghasilkan hantaman aliran uap yang lebih lebar dari keluaran *boiler* dan hambatan yang tidak terlalu besar sehingga laju aliran uap yang keluar dari *nozzle* meningkat dan akan menghasilkan putaran turbin dan generator yang maksimal dibandingkan dengan bentuk *nozzle* bulat.



Gambar 12 Grafik Pengukuran Putaran Turbin Sebelum dan Sesudah di Kopel Generator

Pada Gambar 12 dapat diamati bahwa kecepatan putaran turbin tertinggi terjadi pada jumlah sudu 75 dengan *nozzle* berbentuk pipih, hal ini disebabkan oleh jarak antar sudu yang lebih ideal, memungkinkan aliran fluida memanfaatkan energi secara optimal. Pada turbin dengan 65 sudu, jarak antar sudu terlalu lebar, sehingga efisiensi aliran fluida menurun. Sebaliknya, turbin dengan 85 sudu memiliki jarak antar sudu yang terlalu rapat, menghambat aliran fluida dan mengurangi kecepatan putaran. Dan dapat dilihat pada grafik Pengujian menggunakan *nozzle* bulat dan pipih menunjukkan bahwa *nozzle* pipih memberikan kinerja yang lebih baik. *Nozzle* pipih mampu menghasilkan aliran fluida yang lebih menyebar, sehingga energi kinetik yang diteruskan ke turbin lebih optimal. Sebaliknya, *nozzle* bulat menghasilkan aliran yang lebih terfokus, sehingga efisiensi aliran fluida menjadi lebih rendah. Dengan aliran yang terkonsentrasi, *nozzle* pipih secara signifikan meningkatkan putaran dan efisiensi turbin.

Kecepatan putaran turbin tertinggi sebelum terhubung dengan generator terjadi pada jumlah sudu 75, yaitu 1179 RPM, sementara kecepatan terendah tercatat pada jumlah sudu 85, yakni 537 RPM. Kecepatan tertinggi putaran turbin setelah dikopel dengan generator terjadi pada jumlah sudu 75 yaitu sebesar 922 RPM, sedangkan kecepatan putaran turbin terendah setelah dikopel dengan generator terjadi pada jumlah sudu 85 yaitu sebesar 214 RPM.



Gambar 13 Grafik Pengukuran Putaran Generator Sebelum dan Sesudah Dibebani

Gambar 13 menunjukkan perbandingan kecepatan putaran generator sebelum dan sesudah diberikan beban berupa resistor 20 ohm. Dari hasil pengamatan, dapat dilihat bahwa rata-rata kecepatan putaran generator tertinggi terjadi ketika menggunakan *nozzle* berbentuk pipih. Hal ini disebabkan oleh karakteristik aliran fluida yang dihasilkan oleh *nozzle* pipih, di mana aliran yang lebih menyebar memungkinkan distribusi energi kinetik yang lebih merata ke seluruh sudu turbin. Dengan demikian, energi yang diteruskan ke turbin menjadi lebih optimal, menghasilkan putaran turbin yang lebih stabil dan efisien. Akibatnya, generator pun dapat beroperasi dengan putaran maksimal, yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan kinerja pembangkit listrik secara keseluruhan.

Kecepatan putaran generator sebelum dikopel dengan beban mencapai nilai tertinggi pada *nozzle* pipih, yaitu 1791 RPM, sementara nilai terendah terjadi pada *nozzle* bulat dengan 1191 RPM. Setelah generator dikopel dengan beban resistor 20 ohm, kecepatan tertinggi tetap diperoleh pada *nozzle* pipih sebesar 1650 RPM, sedangkan kecepatan terendah setelah dibebani terjadi pada *nozzle* bulat dengan 1028 RPM.

5. KESIMPULAN

- Hasil pengukuran dari variasi bentuk *nozzle* terhadap putaran turbin yang paling optimal dengan jumlah sudu 75. Pada *nozzle* berbentuk bulat, sebelum dikopel dengan generator, kecepatan putaran turbin mencapai 862 RPM, dan setelah dikopel dengan generator, kecepatan menurun menjadi 625 RPM. Sementara itu, pada *nozzle* berbentuk pipih, kecepatan putaran turbin sebelum dikopel mencapai 1179 RPM, dan setelah dikopel dengan generator, kecepatan turun menjadi 922 RPM.
- Kecepatan putaran generator tertinggi sebelum terhubung dengan beban tercatat pada *nozzle* berbentuk pipih, yaitu 1791 RPM, sedangkan kecepatan

terendah sebelum diberi beban terjadi pada *nozzle* berbentuk bulat dengan nilai 1191 RPM. Setelah generator dikopel dengan beban berupa resistor 20 ohm, kecepatan putaran tertinggi ditemukan pada *nozzle* pipih sebesar 1650 RPM, sementara kecepatan terendah setelah pembebanan terjadi pada *nozzle* bulat dengan nilai 1028 RPM.

- [7] Rahmawati, Kartika. (2018). "Perancangan Desain Boiler Pada Mini Plant Steam Engine Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap".

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Samsinar, Riza, and Khaerul Anwar. (2018). "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 Kw (Studi Kasus Kota Tegal)."
- [2] Musthofa, Bisri, M. Fathuddin Noor, and Indro Wicaksono. (2022). "Pengaruh Variasi Tekanan Kerja Fluida Dan Variasi Diameter Lubang Nozzle Terhadap Karakteristik Semprotan Pada Ujung Nozzle." Combustion.
- [3] Nyoman Daton Trisnadana, I., Cok Gede Indra Partha, I. Gusti Ngurah Janardana. (2023). Kampus Bukit, Jl Raya Kampus Unud Jimbaran, and Kuta Selatan. "Pengaruh Variasi Diameter Ujung Nozzle Terhadap Laju Uap Untuk Menggerakan Turbin PLTSa."
- [4] Syahputra. (2015). Analisis Pengaruh Diameter Nozzle terhadap Efisiensi Turbin Air, Universitas Medan Area.
- [5] Niharman, Silaen A. F, Tonadi E, Coranda O. (2021). "Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Tekanan Konstan."
- [6] Riyan Bhaskara Surya, Ib A., Cok Gede Indra Partha, I. G. N Janardana. (2023). Kampus Bukit, Jl Raya Kampus Unud Jimbaran, and Kuta Selatan. Analisis Laju Uap Oleh Boiler Dengan Kapasitas 9 Liter Air Dan 10 KG Sampah Organik Pada PLTSa.