

ANALISIS PUTARAN TURBIN DAN DAYA GENERATOR PADA PROTOTYPE PLTSa DENGAN VARIASI JUMLAH SUDU PADA TURBIN IMPULS SATU TINGKAT

I Kt Arya Mahendra¹, 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

³Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

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

Email : hendraarya581@gmail.com¹, cokindra@unud.ac.id², sukerayasa@unud.ac.id³

ABSTRAK

Masalah sampah memerlukan solusi jangka panjang. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) merupakan salah satu teknologi yang membantu pengelolaan sampah dengan mengubah energi termal dari pembakaran sampah menjadi listrik yang dapat digunakan. Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) 3R Legian Kaja di Kabupaten Badung, Bali, memiliki potensi pemanfaatan energi panas dari insinerasi sampah, namun belum dioptimalkan secara maksimal. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dengan merencanakan dan membuat sistem turbin impuls satu tingkat dengan variasi jumlah sudu turbin sebanyak 65, 75, dan 85 sudu serta dua jenis *nozzle*, yaitu pipih dan bulat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa putaran turbin tertinggi terjadi pada *nozzle* pipih dengan jumlah sudu 75, yaitu sebesar 1179 RPM sebelum dikopel dengan generator dan 922 RPM setelah dikopel. Pengukuran torsi pada pengujian dengan resistor 5 Ω menunjukkan nilai 0,47 Nm, dengan daya yang dihasilkan sebesar 41,16 Watt serta efisiensi sistem sebesar 10,16%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi jumlah sudu turbin berpengaruh terhadap performa sistem, di mana sudu 75 memberikan hasil putaran lebih tinggi dibandingkan sudu 65 dan 85 hal ini disebabkan oleh jarak antar sudu yang lebih ideal, sehingga aliran fluida memanfaatkan energi lebih maksimal. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi PLTSa yang lebih efisien dan berkelanjutan.

Kata kunci : PLTSa, sampah, turbin *impuls*

ABSTRACT

A long-term answer is needed for the waste issue. The Waste Power Plant (PLTSa) is one technology that helps with waste management by transforming the thermal energy of trash combustion into usable electricity. The 3R Legian Kaja Integrated Waste Processing Site (TPST) in Badung Regency, Bali, has the potential to utilize heat energy from waste incineration, but has not been optimized optimally. The research method used is quantitative descriptive by planning and creating a single-stage impulse turbine system with variations in the number of turbine blades of 65, 75, and 85 blades and two types of nozzles, namely flat and round. The test results showed that the highest turbine rotation occurred in the flat nozzle with 75 blades, which was 1179 RPM before being coupled to the generator and 922 RPM after being coupled. Torque measurements in testing with a 5 Ω resistor showed a value of 0.47 Nm, with a power output of 41.16 Watts and a system efficiency of 10.16%. The results of this study indicate that variations in the number of turbine blades affect system performance, where 75 blades provide higher rotation results compared to 65 and 85 blades. This is due to the more ideal distance between the blades, so that

the fluid flow utilizes energy more optimally. This study is expected to be a reference in the development of more efficient and sustainable PLTSa technology.

Key Words : *Waste-to-energy, waste, impulse turbine*

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan masalah lingkungan yang kompleks dan terus meningkat, terutama di daerah wisata seperti Bali. Pada tahun 2023, Provinsi Bali menghasilkan 2.814,89 ton sampah per hari, dengan Kabupaten Badung sebagai salah satu kontributor terbesar, mencapai 534,86 ton per hari [1]. Pemerintah telah mengupayakan berbagai solusi, termasuk edukasi, pengelolaan terpadu melalui TPST 3R, serta penerapan teknologi *Waste-to-Energy* (PLTSa) untuk mengurangi volume sampah sekaligus menghasilkan energi listrik.

mengelola 16 ton sampah per hari, menerapkan metode insinerasi sebagai salah satu teknik pengolahannya. Namun, pemanfaatan energi panas dari pembakaran masih belum digunakan untuk kepentingan lain, sehingga berpotensi terjadi pemborosan energi. PLTSa menjadi alternatif solusi yang dapat mengkonversi energi panas ini menjadi listrik melalui sistem turbin uap.

Penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh variasi jumlah sudu turbin terhadap efisiensi sistem PLTSa. Variasi jumlah sudu turbin yang diuji adalah 65, 75, dan 85 dengan dua jenis *nozzle*, yaitu pipih dan bulat. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa jumlah sudu turbin berpengaruh terhadap efisiensi dan daya yang dihasilkan [2]. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menentukan konfigurasi optimal dalam pemanfaatan energi panas dari pembakaran sampah untuk pembangkitan listrik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan teknologi PLTSa yang lebih efisien dan berkelanjutan.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) mengubah sampah menjadi listrik yang dapat digunakan. Proses produksi uap bertekanan dengan membakar sampah

untuk memanaskan air dalam boiler. Langkah selanjutnya dalam mengubah uap bertekanan tinggi ini menjadi listrik adalah menghubungkannya ke generator dan menjalankan turbin uap.

2.2 Turbin Uap

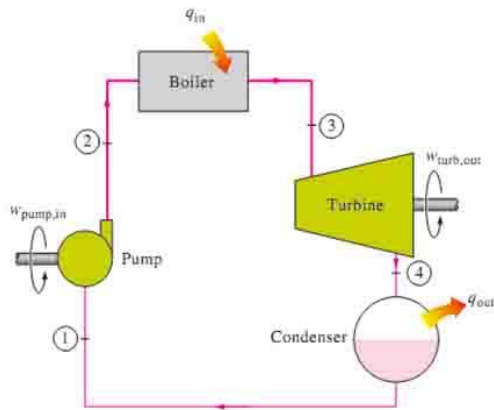
Penggerak utama yang dikenal sebagai turbin uap mengambil energi potensial uap dan mengubahnya menjadi energi kinetik, yang kemudian digunakan untuk memutar poros turbin dan menghasilkan energi mekanik. Secara langsung atau melalui roda gigi reduksi, poros turbin dihubungkan dengan mekanisme yang disesuaikan dengan jenis penggeraknya, turbin uap ini biasa digunakan untuk menggerakkan generator listrik.

Turbin uap pada dasarnya menggunakan siklus Rankine, yang terdiri dari dua jenis siklus yaitu : [4]

1. Dalam siklus terbuka, proses menggunakan uap sisa langsung dari turbin.
2. Uap yang keluar dari turbin didaur ulang dalam siklus tertutup dengan melewatkannya melalui kondensor untuk pendinginan sebelum kembali ke pompa.

Menurut keadaannya uap ada tiga jenis :

1. Uap yang basah, memiliki kandungan uap berkisar antara nol hingga satu
2. Uap yang dipanaskan hingga mencapai tekanan $X = 1$.
3. Uap kering yang menguap



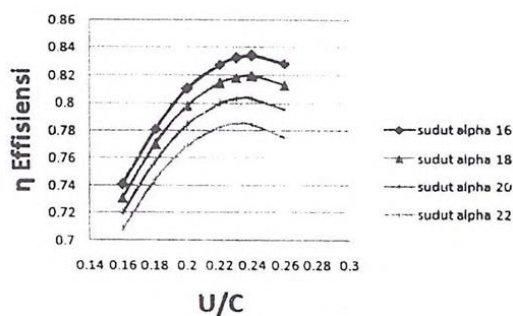
Gambar 1. Siklus Rankine Ideal

Sumber : Hakim, (2016)

Dalam perancangan turbin *impuls* satu tingkat ada beberapa perhitungan yang harus dilakukan menggunakan persamaan sebagai berikut [3] [4] [5]:

1. Penentuan tingkat kecepatan turbin uap pada $(U/C1)_{optimum}$ dan sudut α .

Nilai sudut α_1 , yang merupakan arah kecepatan absolut uap yang meninggalkan nosel dan memasuki bilah bergerak, dan rasio kecepatan periferil uap terhadap kecepatan absolut uap yang meninggalkan turbin $(U/C1)$ harus ditentukan. Perancangan turbin agar mendapatkan efisiensi terbaik disarankan nilai $U/C1$ sebesar 0.16 - 0.26 dan sudut α disarankan adalah 16° - 22° [3].

Gambar 2. Efisiensi fungsi $U/C1$ dengan variasi Sudut α

Sumber : Hakim, (2016)

Desain turbin uap akan didasarkan pada nilai optimal $(U/C1)$ sebesar 0,20, yang dicapai pada sudut $\alpha = 16^\circ$ dan nilai U sebesar 34,304, seperti yang ditunjukkan

pada Gambar 1. Nilai $C1$ yang ditemukan adalah 171,52.

2. Dimensi Sudu Turbin

Dimensi bilah turbin *impuls* adalah angka yang diperlukan untuk menentukan bentuk bilah, yang dapat ditentukan menggunakan persamaan di bawah ini [3] :

$$R = \frac{r}{\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2} \quad (1)$$

Keterangan :

 R = jari – jari runner (cm) α_1 = sudut masuk sudu (Derajat $^\circ$) α_2 = sudut keluar turbin (Derajat $^\circ$)

3. Analisa Putaran Turbin

Persamaan berikut dapat digunakan untuk mencari besarnya kecepatan putaran turbin impuls [3] :

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

Keterangan :

 n = putaran turbin (RPM) d = diameter cakram (cm) u = kecepatan keliling uap (m/s)

4. Perhitungan jarak antar sudu [4]:

$$t_1 = \frac{R}{\sin \beta_1 + \sin \beta_2} \quad (3)$$

Keterangan :

 t_1 = jarak antar sudu (mm) R = jari – jari kelengkungan sudu (mm) $\sin \beta_1$ = sudut masuk sudu (derajat) $\sin \beta_2$ = sudut keluar sudu (derajat)

5. Analisa jumlah sudu optimal [4] :

$$z = \frac{\pi \times d}{t_1} \quad (4)$$

Keterangan :

 z = jumlah sudu optimal π = konstanta (cm) t_1 = jarak antar sudu (mm) d = diameter runner (cm)

6. Perhitungan Torsi

Menghitung suatu torsi dapat menggunakan rumus sebagai berikut [5] :

$$T = \frac{p}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

p = Daya (W)

n = Kecepatan ((n Putaran (RPM))

π = konstanta (cm)

2.3 Generator

Suatu alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dikenal sebagai generator listrik. Generator listrik beroperasi berdasarkan konsep induksi elektromagnetik. Generator berdasarkan arus listriknya dibagi menjadi 2 jenis yaitu:[4]

1. Generator Arus Searah

Generator DC hanya akan menggunakan komutator cincin tunggal yang terbagi menjadi dua. Cara kerja dasar generator DC adalah terjadinya peristiwa induksi elektromagnetik. Cincin terminal dalam bentuk ini juga disebut cincin split atau komutator.

2. Generator Arus Bolak – balik

Generator arus bolak - balik ini terdiri dari suatu kumparan serta lilitan kawat yang diputar di dalam medan magnet. Bagian dalam generator arus bolak - balik ini disebut juga sebagai armature. Isi armature adalah silinder besi yang digunakan sebagai tempat bagi kumparan kawat untuk dililitkan.

2.4 Perhitungan Efisiensi

Perhitungan efisiensi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana energi input dapat dikonversi menjadi energi output yang berguna, persentase yang membandingkan jumlah energi yang digunakan dan jumlah energi yang dihasilkan dari output generator digunakan untuk menunjukkan efisiensi. Tidak ada jaminan bahwa energi yang masuk sama dengan energi yang keluar.

Sehingga perhitungan efisiensi dapat dihitung dengan rumus berikut [6] :

$$\eta = \frac{p_{out}}{p_{in}} \times 100\% \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

η = efisiensi pembangkit (%)

p_{out} = daya maksimum keluaran

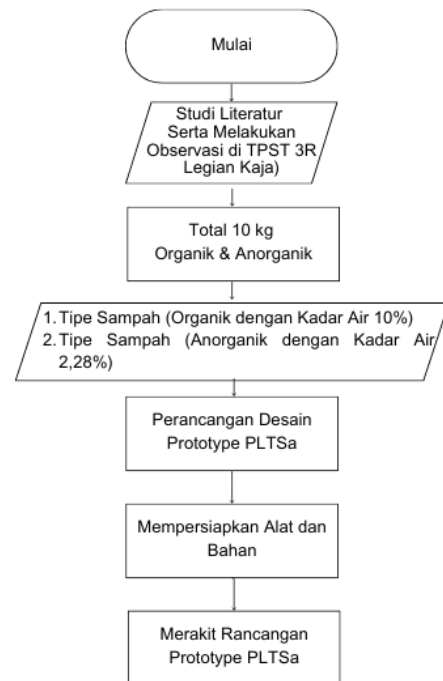
generator (W)

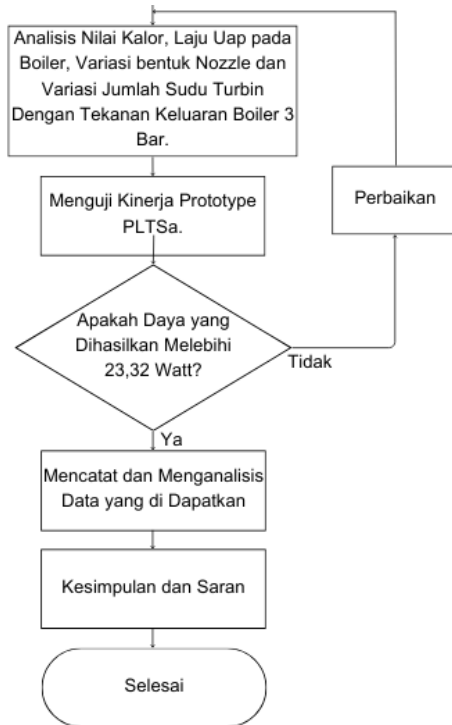
p_{in} = daya yang dihasilkan sampah organik dan anorganik (W)

3. METODE PENELITIAN

Tempat observasi pengambilan data dilakukan di TPST 3R Legian Kaja, yang terletak di Jl. Dewi Ratih, Legian, Kec. Kuta, Kabupaten Badung, Bali. Pengerjaan Capstone Project dilakukan di Jl. Sulatri Gg. III, Kesiman, Denpasar, sedangkan pengukuran kadar air sampah organik berlangsung di Laboratorium Biologi Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana, Gedung Agrokomplek Lantai 2, Jln. P.B. Sudirman, Dauh Puri Klod, Kota Denpasar.

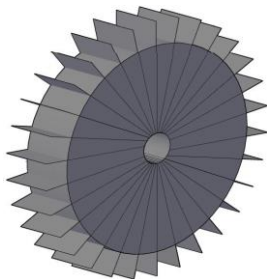
Tahap penelitian secara sistematis ini dilakukan dengan tiga tahapan meliputi mengukur hasil kalor yang di hasilkan pada insinerator, mengukur tekanan uap pada boiler dan mengukur kecepatan putaran turbin *Impuls*. Di sini kita dapat melihat prototipe PLTSa dalam fase desainnya.





Gambar 3. Diagram Alur Perencanaan *Prototype* PLTSa

Berikut merupakan desain runner turbin *impuls* yang akan digunakan pada prototipe PLTSa ini adalah 65, 75, dan 85 sudu.



Gambar 4. Desain Cakram Turbin *Impuls* Satu Tingkat

Model kerja PLTSa ini memanfaatkan panas buangan untuk menggerakkan boiler, yang kemudian menghasilkan uap yang dikirim ke nosel dan, pada tekanan ideal 3 bar, disemprotkan ke bawah ke bilah turbin impuls. Uap mendorong sudu turbin, memutar runner, dan menggerakkan pulley yang terhubung ke generator melalui belt. Generator memiliki takometer untuk mengukur putaran turbin dan generator, manometer untuk mengukur tekanan uap dalam boiler, serta amperemeter dan

voltmeter untuk mengukur arus dan tegangan.

Tabel 1 berikut menampilkan data perencanaan untuk sistem Prototipe PLTSa, yang menetapkan variabel tetap nilai tekanan uap, diameter pipa, dan panjang :

Tabel 1. Data Perencanaan Sistem

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

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Prototipe PLTSa

Berikut merupakan realisasi Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) dalam skala kecil dengan kapasitas terbatas yang menggunakan campuran dari variasi sampah organik dan anorganik sebagai bahan bakar, boiler kapasitas 9 liter air, variasi bentuk *nozzle* berupa bentuk bulat dan pipih serta variasi jumlah sudu turbin. Memanfaatkan tenaga uap sebagai penggerak, serta bekerja dengan turbin *impuls* satu tingkat untuk menghasilkan energi listrik. Berikut dibawah ini merupakan gambar realisasi dari *prototype* PLTSa.



Gambar 5. Realisasi *Prototype* PLTSa
Keterangan :

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

4.2 Perhitungan Turbin

Turbin yang akan digunakan adalah turbin *impuls* satu tingkat, di mana perencanaannya dan penentuan dimensinya terdapat pada persamaan, berikut:

1. Analisa putaran turbin *impuls* dengan ukuran diameter turbin (d) yang digunakan berdiameter 54 cm, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$n = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot d}$$

Analisis Kecepatan Putaran Turbin (n)

Diketahui : $d = 54 \text{ cm} = 0,54 \text{ m}$

$u = 34,304 \text{ m/s}$

Menurut sumber penelitian Hakim, 2016 nilai efisiensi tertinggi dihasilkan pada nilai sudut $\alpha = 16^\circ$ dan nilai u bernilai 34,304 dan untuk nilai C_1 bernilai 171,52 nilai $(u/C_1)_{\text{optimum}} = 0.20$ maka nilai tersebut yang akan digunakan sebagai dasar perhitungan putaran turbin.[3]

$$n = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot d} = \frac{60 \times 34,304}{3,14 \times 0,54} = 1213,65 \text{ RPM} \\ \approx 1200 \text{ RPM}$$

2. Analisis ukuran sudu (*bucket*)

- Sudut masuk sudu,

$$\beta_1 = \arccos \left(\frac{171,52 \cdot \cos 16^\circ - 34,304}{138,867} \right) = 19,9^\circ$$

- Sudut keluar sudu, $\beta_2 = 19,9^\circ - 3^\circ = 16,9^\circ$
- Jari – jari kelengkungan sudu

$$R = \frac{27}{\cos 19,9^\circ + \cos 16,9^\circ} = 14,21 \text{ mm}$$

3. Jarak antara sudu,

$$t_1 = \frac{14,21}{\sin 19,9^\circ + \sin 16,9^\circ} = 22,47 \text{ mm}$$

4. Analisa jumlah sudu optimal

$$z = \frac{3,14 \times 54}{22,47} = 75 \text{ sudu}$$

4.3 Pengukuran Variasi Jumlah Sudu Terhadap Putaran Turbin

Pengukuran variasi jumlah sudu terhadap putaran turbin bertujuan untuk mengetahui putaran maksimal turbin sebelum dan sesudah dikopel dengan generator. Alat yang digunakan untuk pengukuran putaran turbin adalah tachometer. Pengukuran putaran turbin dengan tekanan uap awal yang digunakan yaitu 3 bar dengan variasi jumlah sudu turbin, 65, 75 dan 85.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Putaran Turbin

No	Variasi Sudu Turbin	Bentuk Nozzel	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	446 RPM	214 RPM
		Pipih	779 RPM	537 RPM

Hasil pengukuran diperoleh kecepatan putaran turbin tertinggi dengan jumlah sudu 75 sebelum dikopel dengan generator pada tekanan 3 bar dengan bentuk *nozzle* pipih yaitu sebesar 1179 RPM, sedangkan pengukuran kecepatan putaran turbin tertinggi setelah di kopel dengan generator yaitu pada turbin dengan jumlah sudu 75 dengan putaran sebesar 952 RPM.

4.4 Pengukuran Putaran Generator

Pengukuran putaran generator bertujuan untuk mengetahui berapa putaran generator sebelum dan sesudah dibebani,

pengukuran ini menggunakan alat yang bernama tachometer.

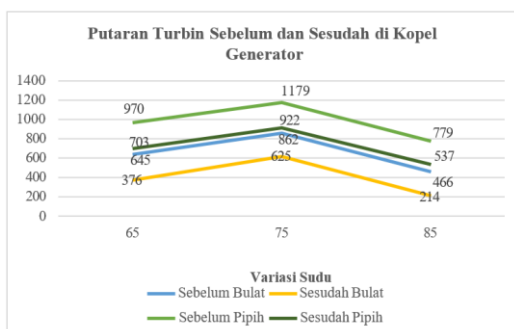
Tabel 3. Hasil Pengukuran Putaran Generator

No	Sudu Turbin	Bentuk Nozzel	Rata-Rata Hasil Pengukuran Putaran Generator (RPM)	
			Sebelum Dibebani	Sesudah Dibebani
1.	75	Bulat	1191 RPM	1028 RPM
		Pipih	1791 RPM	1650 RPM

Tabel 3 diatas merupakan hasil dari pengukuran putaran generator, pada turbin dengan jumlah sudu 75 dan nozzel berbentuk bulat serta pipih digunakan untuk mengetahui *nozzle* mana yang memberikan pengaruh semburan paling optimal untuk mendapatkan putaran generator yang lebih tinggi. Pengukuran diperoleh kecepatan rata-rata putaran generator tertinggi setelah di kopel dengan beban yaitu sebesar 1666 RPM, sedangkan kecepatan putaran generator terendah setelah dikopel dengan beban sebesar 992 RPM.

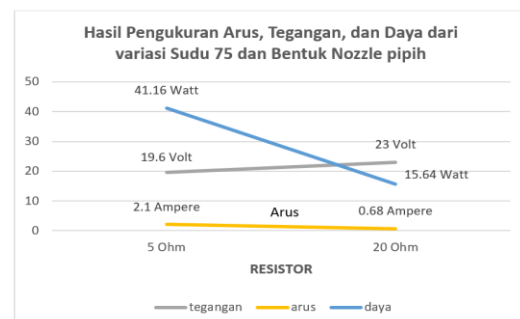
4.5 Hasil Pengukuran Prototype PLTSa Dengan Menggunakan Turbin Impuls Satu Tingkat

Berikut merupakan grafik hubung antara variasi jumlah sudu turbin dengan parameter - parameter yang telah di ukur diantaranya yaitu putaran turbin, tegangan, arus dan daya yang dibangkitkan oleh Generator :



Gambar 6. Grafik yang menunjukkan pengukuran putaran turbin sebelum dan sesudah penyambungan generator

Dapat dilihat pada gambar 6, grafik putaran turbin sebelum dikopel generator dengan *nozzle* bulat untuk turbin dengan sudu 85 mendapatkan putaran turbin sebesar 466 RPM sebagai putaran terendah dan pada sudu 75 sebesar 645 RPM untuk putaran tertinggi, kemudian sesudah dikopel dengan generator putaran turbin mengalami penurunan dimana untuk sudu 85 mendapatkan putaran sebesar 214 RPM untuk putaran terendah dan pada sudu 75 sebesar 625 RPM untuk putaran tertinggi. Sehingga dari grafik tersebut disimpulkan bahwa kecepatan putar turbin tertinggi terdapat pada jumlah sudu 75 dengan *nozzle* berbentuk pipih sebesar 1179 RPM, 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 penangkapan energi menurun. Sebaliknya, turbin dengan 85 sudu memiliki jarak antar sudu yang terlalu rapat, menghambat aliran fluida dan mengurangi kecepatan putaran.



Gambar 7. Grafik Tegangan, Arus, dan Daya Terukur Setelah Dibebani dengan Resistansi atau Resistor.

Setelah diberikan resistor dengan nosel datar dan 75 variasi bilah yang berbeda, hasil pengujian tegangan, arus, dan daya generator ditunjukkan pada Gambar 7. Tegangan tertinggi pada generator tercatat sebesar 23 Volt pada resistor 20 Ω , sedangkan tegangan terendah sebesar 19,6 Volt terjadi pada resistor 5 Ω . Untuk arus, nilai tertinggi diperoleh pada resistor 5 Ω dengan besar arus 2,10 ampere, sementara arus terendah sebesar 0,68

ampere tercatat pada resistor 20 Ω . Maka diperoleh daya tertinggi yang dihasilkan generator adalah 41,16 Watt pada resistor 5 Ω , dan daya terendah sebesar 15,64 Watt yang tercatat pada resistor 20 Ω .

4.6 Perhitungan Torsi pada Prototype PLTSa Menggunakan Turbin Impuls Satu Tingkat

Torsi merupakan sebuah besaran yang menyatakan besarnya gaya yang bekerja pada sebuah benda sehingga mengakibatkan benda tersebut berotasi. Perhitungan torsi dengan mengacu pada rumus (5) sebagai berikut:

$$T = \frac{p}{2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60}}$$

Menghitung torsi pada tekanan 3 bar keluaran boiler dengan variasi jumlah sudu 75 dan bentuk *nozzle* pipih kecepatan putaran turbin yang dikopel dengan generator adalah 825 RPM dan tahanan yang dipasang 5 Ω dengan daya yang dihasilkan 41,16 Watt sehingga mendapatkan torsi sebagai berikut:

$$T = \frac{41,16}{2 \cdot \pi \cdot \frac{825}{60}} = 0,47 \text{ Nm}$$

5. KESIMPULAN

1. Dengan memvariasikan jumlah bilah pada turbin, konfigurasi yang paling efisien adalah yang memiliki 75 bilah, yang menghasilkan kecepatan putar maksimum 922 RPM setelah disambungkan ke generator dan 1179 RPM sebelum disambungkan. Di sisi lain, kecepatan putar terendah dicapai dengan 85 bilah, dengan 466 RPM sebelum disambungkan ke generator dan 214 RPM setelah disambungkan ke generator, kecepatan putar terendah..
2. Untuk pengukuran torsi yang dihasilkan pada pengujian prototype PLTSa dengan menggunakan tahanan/resistor 5 ohm didapatkan nilai torsi sebesar 0,47 Nm dan daya yang dibangkitkan oleh generator sebesar 41,16 Watt.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, "Data timbulan dan pengelolaan sampah nasional tahun 2023," SIPSN, 2023.
- [2] Niharman, Silaen A. F, Tonadi E, Coranda O. (2021). "Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Tekanan Konstan." Teknosia 1(1):36–42.
- [3] M. L. Hakim, 2016. "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,".
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] I. P. A. T. Pradana, C. G. I. Partha, dan I. G. N. Janardana, 2023. "Perancangan Prototype PLTSA dengan Turbin Impuls Satu Tingkat," Jurnal SPEKTRUM, vol. 10, no. 4, hal. 42–49.