

Uji Kinerja Turbin Turgo dengan Variasi Jumlah Sudu dan Sudut Kemiringan Nozzle

Laode Musa^{1*}, Jamal², Ridwan³, Intania Namira Luspa⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*laode_musa@poliupg.ac.id

Abstract: *Electrical energy is energy that has an important role for society. A number of ways have been done to meet electricity needs, one way is by using various alternative energy sources. These alternative energy sources include: Water, Wind, and Solar. But water is a cheap and relatively easy source of energy. So we need a tool that is used to convert the water energy into electrical energy, one of which is a turbine. This turbine will utilize the energy of fluid flow into mechanical energy, which will then be converted into electrical energy. In this study, we designed a turgo turbine model using a stainless steel spoon as the blade. By varying the number of blades and the angle of inclination of the nozzle. The methods used are literature studies, design methods, manufacturing methods, testing methods, and data analysis methods. Based on the test results, the 15 blade variation has an average efficiency of 3.65%. For the variation of the 20 blade has an average efficiency of 4.50%. And the 25 blade variation has an average efficiency of 4.90%. As for the variation of the 0° angle, the average efficiency is 2.84%. For the 15° angle variation the average efficiency is 4.80%. For the 25° angle variation the average efficiency is 5.45%. And for the variation of the angle of 35° the average efficiency is 4.33%.*

Keywords: *Turgo Turbine, Spoon, Stainless Steel, blades.*

Abstrak: Energi listrik merupakan energi yang mempunyai peranan penting bagi masyarakat. Sejumlah cara telah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan listrik, salah satu cara yaitu dengan menggunakan berbagai alternatif sumber energi. Sumber energi alternatif tersebut antara lain: Air, Angin, dan Surya. Tetapi air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat. Maka diperlukan suatu alat yang digunakan untuk mengkonversikan energi air tersebut menjadi energi listrik, salah satunya adalah turbin. Turbin ini akan memanfaatkan energi aliran fluida menjadi energi mekanik, yang kemudian akan dikonversikan menjadi energi listrik. Penelitian kali ini kami merancang suatu model turbin turgo dengan menggunakan sendok berbahan Stainless Steel sebagai sudunya. Dengan memvariasikan jumlah sudu serta sudut kemiringan nozzle. Metode yang digunakan adalah studi literatur, metode perancangan, metode pembuatan, metode pengujian, dan metode analisis data. Berdasarkan hasil pengujian, untuk variasi sudu 15 memiliki rata-rata efisiensi 3,65%. Untuk variasi sudu 20 memiliki rata-rata efisiensi 4,50%. Dan untuk variasi sudu 25 memiliki rata-rata efisiensi 4,90%. Sedangkan untuk variasi sudut 0° rata-rata efisiensi yaitu 2,84%. Untuk variasi sudut 15° rata-rata efisiensi yaitu 4,80%. Untuk variasi sudut 25° rata-rata efisiensi yaitu 5,45%. Dan untuk variasi sudut 35° rata-rata efisiensi yaitu 4,33%.

Kata kunci : Turbin Turgo, Sendok, Stainless Steel, sudu.

I. PENDAHULUAN

Penyediaan energi merupakan permasalahan yang senantiasa menjadi perhatian karena bagaimanapun juga kesejahteraan manusia dalam kehidupan modern sangat terkait dengan jumlah dan mutu energi yang dimanfaatkan. Bagi Indonesia yang merupakan salah satu negara sedang berkembang, penyediaan energi merupakan salah satu faktor yang sangat penting. Energi listrik merupakan energi yang mempunyai peranan penting bagi masyarakat. Keadaan kelistrikan di Indonesia sekarang ini sangat memprihatinkan apalagi sumber migas yang terdapat di bumi sangat terbatas, dan pada suatu saat akan habis. Sejumlah cara telah dilakukan untuk memenuhi kebutuhan listrik, salah satu cara yaitu dengan menggunakan berbagai alternatif sumber energi. Sumber energi alternatif tersebut antara lain: Air, Angin, dan Surya. Tetapi air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Dan PLTA adalah pembangkit listrik yang sangat ramah lingkungan karena PLTA bersifat bersih karena tidak menghasilkan polusi lingkungan dibanding pembangkit

listrik jenis lain. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan menggunakan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun atau aliran air di sungai [1]. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya head dan debit air. Ketinggian dan kapasitas aliran merupakan faktor utama didalam menentukan jenis turbin air yang akan dipergunakan [2]. Selama ini pembangkit listrik skala mikro menggunakan turbin air jenis Pelton, Crossflow, dan Turgo [3], [4]. Tetapi turbin Turgo sendiri masih jarang dijumpai di Indonesia. Turbin Turgo merupakan salah satu jenis turbin yang dapat digunakan pada Sistem Pembangkit Listrik dengan skala mikro (PLTMH). Turbin Turgo mulai dikembangkan pada tahun 1919 oleh Gilkes sebagai modifikasi dari turbin Pelton [5]. Perbedaan utama antara turbin Pelton dan turbin Turgo terletak pada bentuk sudunya, bentuk sudu turbin Turgo adalah setengah dari bentuk sudu turbin Pelton. Turbin Turgo jarang dijumpai di Indonesia dikarenakan pembuatan turbin Turgo yang mendekati bentuk ideal relatif susah dan membutuhkan alat serta biaya yang cukup besar. Sehingga dibutuhkan pembuatan turbin Turgo yang mendekati performa ideal dengan bentuk yang lebih sederhana. Telah dilakukan beberapa penelitian terdahulu tentang turbin Turgo ini. Diantaranya yaitu, Yasa dkk [6] yang memvariasikan sudut pada nozzle. Serta penelitian oleh Bono dan Suwarti [7] dimana telah mengembangkan penelitiannya dengan memvariasikan jumlah sudu serta bentuk nozzle. Namun kali ini akan dikembangkan kembali dari penelitian yang telah ada yaitu menggunakan bahan yang sederhana dan mudah didapatkan. Pengujian lakukan dengan skala lab.

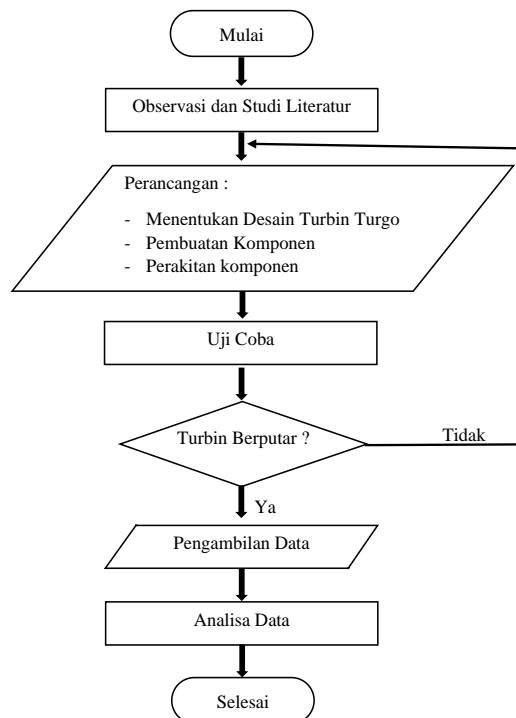
II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Waktu pengerjaan penelitian dimulai pada bulan April sampai dengan bulan Agustus 2022, adapun lokasi pengerjaan dilakukan di Laboratorium Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

B. Prosedur Penelitian

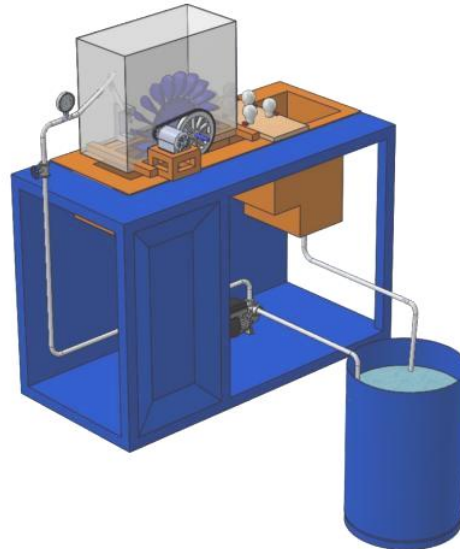
Prosedur penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

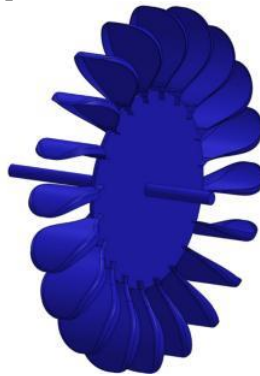
1. Tahap Perancangan

Tahapan perancangan merupakan langkah awal sebelum alat pengujian dibuat yang digunakan sebagai acuan nantinya. Tahapan ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum dari sistem alat uji dan mempertimbangkan beberapa rancangan agar alat uji ini dapat beroperasi dengan optimal. Proses perancangan ini juga telah dilakukan untuk membuat rancangan alat bending [8]–[14], ejektor [15], shot peening [16], straw rice [17], dan screw conveyor [18].



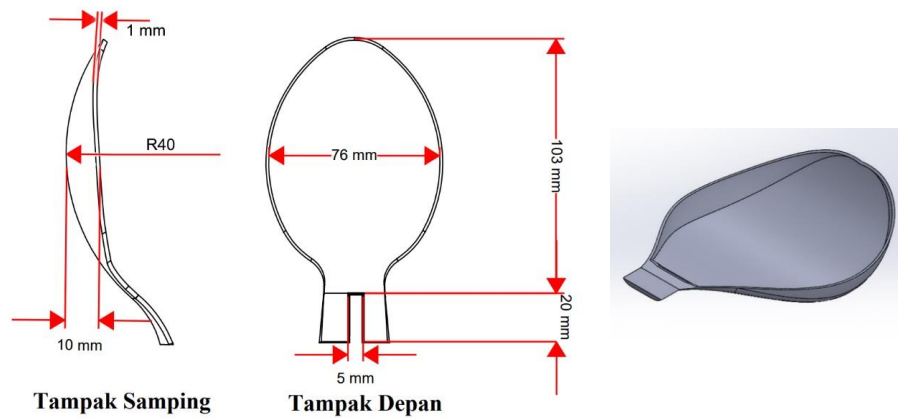
Gambar 2. Rancangan Alat Uji Turbin Turgo

- Rancangan bentuk turbin turgo dapat dilihat dalam Gambar 3.



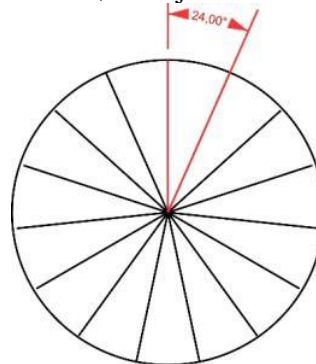
Gambar 3. Rancangan Turbin Turgo

- Sudu turbin memanfaatkan sendok nasi berbahan stainless steel dengan dimensi; ketebalan 1 mm, panjang 103 mm dan lebar 76 mm.

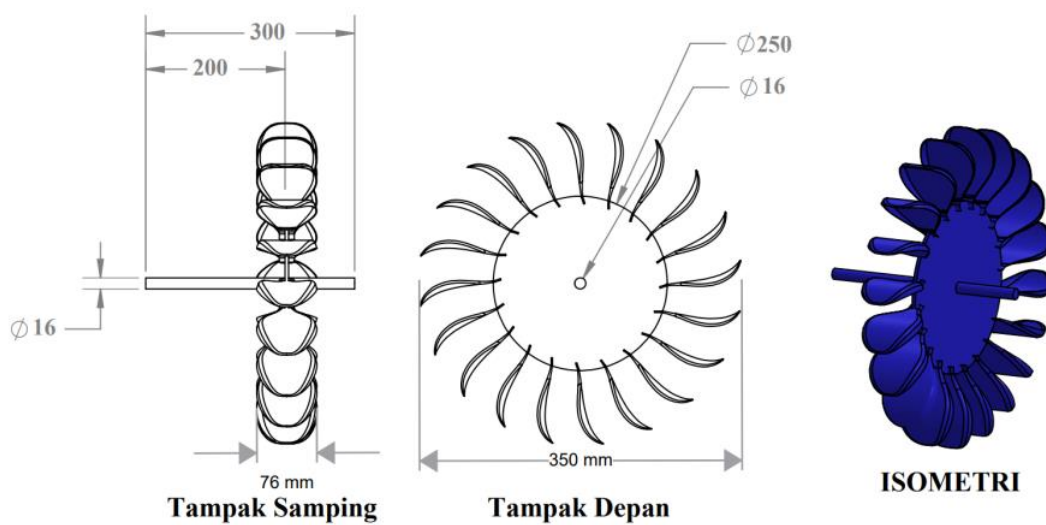


Gambar 4. Rancangan Sudu Turbin Turgo

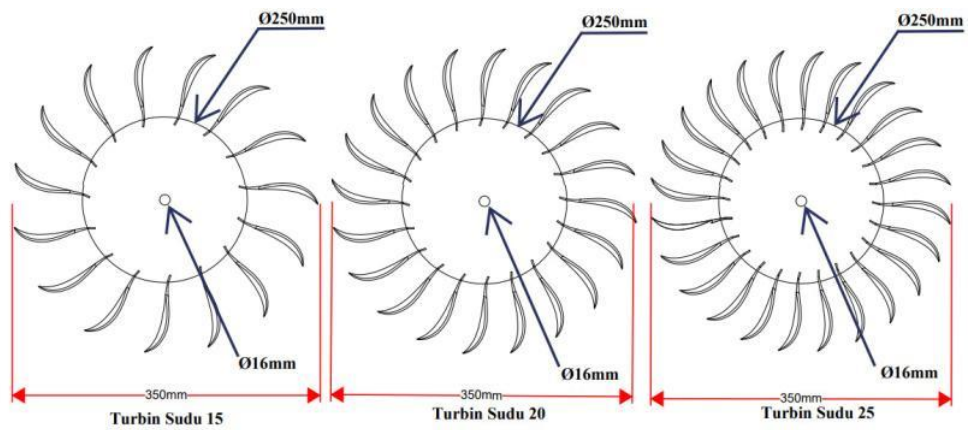
- Plat dudukan sudu turbin (*runner*) ini kami buat menggunakan plat baja dengan ketebalan berukuran 5 mm. Plat baja dipotong berbentuk lingkaran dengan jari-jari 250 mm.
- jarak tiap sudu dapat ditentukan berdasarkan jumlah sudu sebagai berikut:
 - Untuk jumlah sudu 15 buah, $360^\circ/\text{jumlah sudu} = 360/15 \text{ buah} = 24^\circ$
 - Untuk jumlah sudu 20 buah, $360^\circ/\text{jumlah sudu} = 360/20 \text{ buah} = 18^\circ$.
 - Untuk jumlah sudu 25 buah, $360^\circ/\text{jumlah sudu} = 360/25 \text{ buah} = 14,4^\circ$.



Gambar 5. Jarak tiap sudu untuk jumlah 15 buah



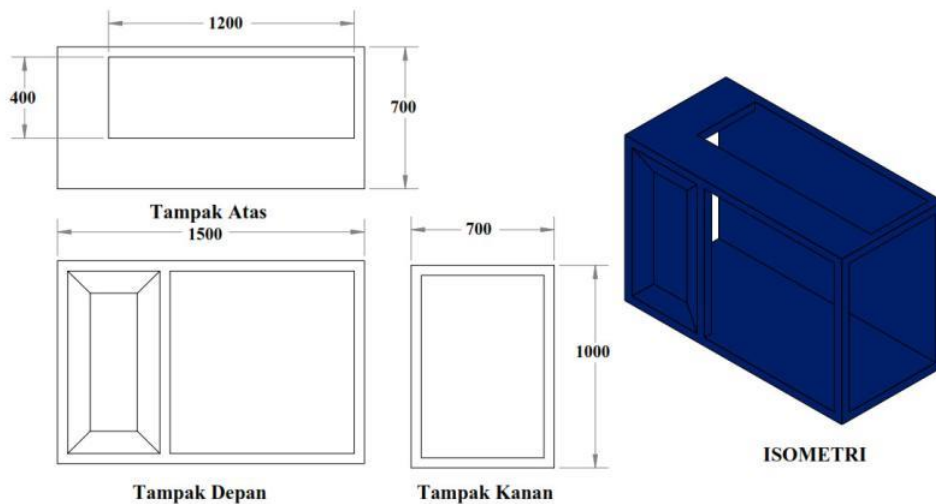
Gambar 6. Dimensi Turbin Turgo



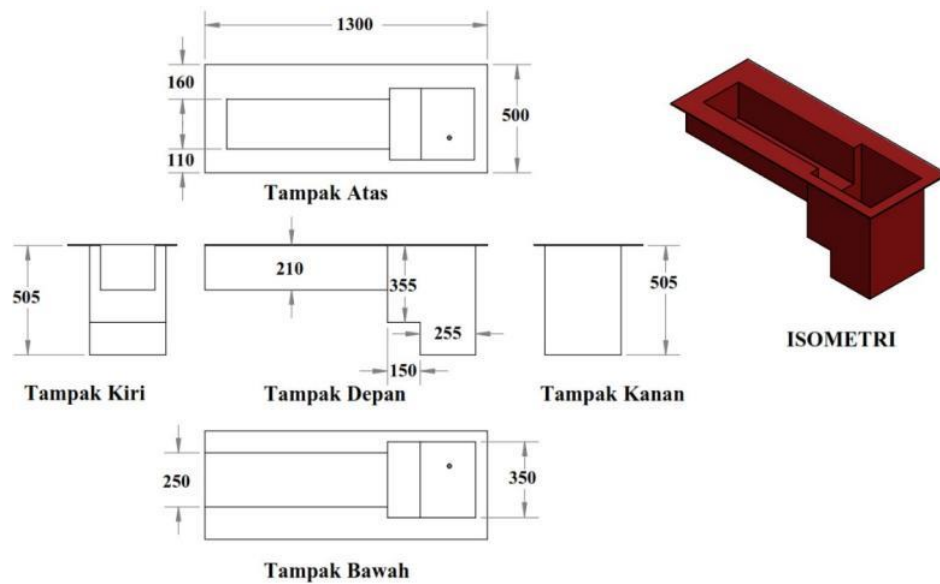
Gambar 7. Diameter Turbin

b. Perancangan Rangka dan Bak Air Alat Uji

Rangka alat uji adalah tempat dimana turbin, dan perangkat lainnya ditempatkan sesuai dengan skema yang telah dibuat. Rangka alat uji ini terbuat dari besi holo ukuran 5cm.



Gambar 8. Rancangan Rangka Alat Uji



Gambar 9. Rancangan Bak Air Alat Uji

2. Pengujian

Setelah rancang bangun selesai, maka dilanjutkan dengan pengujian alat dan pengambilan data. Pengujian dan pengambilan data dilakukan untuk mengetahui bagaimana kinerja turbin turgo dengan variasi jumlah sudu serta variasi kemiringan sudut pada nozzle.

3. Pengambilan Data Hasil pengujian

Adapun pengumpulan data setelah proses pengujian kinerja turbin turgo ini, maka selanjutnya ada beberapa parameter yang perlu dicatat dan dilakukan analisa terhadap data yang telah didapat dari hasil pengujian. Berikut parameter yang perlu dicatat dalam pengujian :

Tabel 1. Parameter yang akan diukur dalam pengujian

| Parameter | Satuan | Alat Ukur |
|--------------------|-------------------|---------------------------------|
| Debit (Q) | m ³ /s | Gelas ukur dan <i>stopwatch</i> |
| Luas Penampang (A) | m ² | Mistar |
| Tegangan (V) | Volt | Voltmeter |
| Arus (I) | Ampere | Amperemeter |
| Tekanan Air (P) | Bar | Barometer |

Dasar perhitungan dalam menganalisis Data dapat digunakan persamaan berikut:

1. Debit (Q)

Pengambilan data debit dilakukan dengan cara menampung air di volume wadah tertentu dan kemudian dibagi dengan waktu yang diperlukan untuk wadah terisi penuh.

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

Dimana : Q = Debit [m³/s], Vol = Volume wadah [m³/s], t = Waktu [s]

2. Tinggi Jatuh Air (H)

$$H = P \times 10,1974 \text{ mH}_2\text{O}$$

Dimana : H = Tinggi Jatuh Air [m], dan P = Tekanan [Bar]

3. Daya Input (P_{in})

Daya input atau daya hidrolik adalah daya yang dimiliki oleh aliran suatu fluida yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_{in} = \rho_{air} QgH$$

Dimana : P_{in} = Daya hidrolik [Watt], g = Kecepatan gravitasi [m/s^2], H = Tinggi jatuh air [m], ρ_{air} = Massa jenis air [kg/m^3], dan Q = Debit [m^3/s]

4. Daya Generator (P_g)

Daya generator atau daya listrik adalah daya yang dibangkitkan oleh generator akibat dari putaran poros yang terhubung dengan rotor generator. Daya generator dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_g = V \times I$$

Dimana : P_g = Daya Generator (Watt), V = Tegangan (Volt), I = Arus (Ampere)

5. Efisiensi Sistem (η_s)

Efisiensi sistem adalah perbandingan antara daya generator dengan daya air. Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_s = \frac{P_g}{P_h} \times 100\%$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian

Setelah dilakukan pengujian pada turbin turgo, maka dapat diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 2 Pengujian turbin turgo dengan jumlah sudu 15 buah untuk sudut nozzle 0°.

| Jumlah Bohlam Lampu | Q (m^3/s) | N (rpm) | P (Bar) | V (Volt) | I (mA) | Vol (Ltr) | t (s) | t rata-rata (s) |
|---------------------|---------------|---------|---------|----------|--------|-----------|-------|-----------------|
| 1 | 0,000150 | 109,0 | 1,8 | 9,0 | 28,0 | 5 | 32,7 | 33,3 |
| 2 | 0,000150 | 104,8 | 1,8 | 8,5 | 30,0 | 5 | 33,5 | |
| 3 | 0,000150 | 99,0 | 1,8 | 8,3 | 35,0 | 5 | 34,0 | |
| 4 | 0,000150 | 96,0 | 1,8 | 8,1 | 35,0 | 5 | 34,4 | |
| 5 | 0,000150 | 94,5 | 1,8 | 7,9 | 36,0 | 5 | 33,1 | |
| 6 | 0,000150 | 93,2 | 1,8 | 7,8 | 36,0 | 5 | 32,1 | |

Tabel 3 Pengujian turbin turgo dengan jumlah sudu 15 buah untuk sudut nozzle 15°.

| Jumlah Bohlam Lampu | Q (m^3/s) | N (rpm) | P (Bar) | V (Volt) | I (mA) | Vol (Ltr) | t (s) | t rata-rata (s) |
|---------------------|---------------|---------|---------|----------|--------|-----------|-------|-----------------|
| 1 | 0,000150 | 146,5 | 1,8 | 11,5 | 106,0 | 5 | 32,6 | 33,4 |
| 2 | 0,000150 | 135,1 | 1,8 | 10,3 | 115,0 | 5 | 32,0 | |
| 3 | 0,000150 | 131,2 | 1,8 | 9,8 | 135,0 | 5 | 33,5 | |
| 4 | 0,000150 | 126,4 | 1,8 | 9,3 | 127,0 | 5 | 32,9 | |
| 5 | 0,000150 | 123,4 | 1,8 | 9,0 | 129,0 | 5 | 34,6 | |
| 6 | 0,000150 | 122,0 | 1,8 | 8,9 | 131,0 | 5 | 34,6 | |

Tabel 4 Pengujian turbin turgo dengan jumlah sudu 15 buah untuk sudut nozzle 25°.

| Jumlah Bohlam | Q (m^3/s) | N (rpm) | P (Bar) | V (Volt) | I (mA) | Vol (Ltr) | t (s) | t rata-rata (s) |
|---------------|---------------|---------|---------|----------|--------|-----------|-------|-----------------|
|---------------|---------------|---------|---------|----------|--------|-----------|-------|-----------------|

| Lampu | | | | | | | | |
|-------|----------|-------|-----|------|-------|---|------|------|
| 1 | 0,000150 | 160,0 | 1,8 | 12,0 | 120,0 | 5 | 34,5 | 33,4 |
| 2 | 0,000150 | 143,7 | 1,8 | 11,0 | 140,0 | 5 | 32,6 | |
| 3 | 0,000150 | 136,0 | 1,8 | 10,0 | 144,0 | 5 | 34,2 | |
| 4 | 0,000150 | 133,0 | 1,8 | 9,5 | 147,0 | 5 | 32,3 | |
| 5 | 0,000150 | 130,0 | 1,8 | 9,2 | 150,0 | 5 | 33,5 | |
| 6 | 0,000150 | 123,5 | 1,8 | 8,8 | 153,0 | 5 | 33,2 | |

Tabel 5 Pengujian turbin turgo dengan jumlah sudu 15 buah untuk sudut nozzle 35°.

| Jumlah Bohlam Lampu | Q (m ³ /s) | N (rpm) | P (Bar) | V (Volt) | I (mA) | Vol (Ltr) | t (s) | t rata-rata (s) |
|---------------------|-----------------------|---------|---------|----------|--------|-----------|-------|-----------------|
| 1 | 0,000151 | 137,2 | 1,8 | 10,5 | 96,0 | 5 | 34,0 | 33,1 |
| 2 | 0,000151 | 130,2 | 1,8 | 10,0 | 99,8 | 5 | 32,8 | |
| 3 | 0,000151 | 120,0 | 1,8 | 9,5 | 108,1 | 5 | 33,2 | |
| 4 | 0,000151 | 117,2 | 1,8 | 9,2 | 111,0 | 5 | 32,4 | |
| 5 | 0,000151 | 117,0 | 1,8 | 9,0 | 117,0 | 5 | 33,2 | |
| 6 | 0,000151 | 115,2 | 1,8 | 8,8 | 120,0 | 5 | 32,9 | |

Untuk analisis data diambil data ke-1 yang merujuk pada tabel 2 pengujian turbin turgo dengan jumlah sudu 15 buah untuk sudut nozzle 0° dengan 1 bohlam lampu sebagai contoh dimana data yang lain akan dihitung dengan cara yang sama seperti berikut :

Diketahui :

- Tekanan Air (P) = 1,8 Bar
- Temperatur Air = 29,44 °C
- Tegangan (V) = 9 Volt
- Arus (I) = 28 mA ≈ 0,028 A
- Volume Tangki (Vol) = 5 Liter ≈ 0,005 m³
- Waktu (t) = 33,3 detik

Penyelesaian :

1. Perhitungan Daya Input (P_{in})

$$P_{in} = \rho_{air} Q g H$$

a. Debit (Q)

$$Q = \frac{Vol}{t} = \frac{0,005 \text{ m}^3}{33,30 \text{ s}} = 0,000150 \text{ m}^3/\text{s}$$

b. Massa Jenis Air (ρ_{air})

Berdasarkan tabel air pada temperature 29,44°C diperoleh :

$$\rho_{air} = 995,82 \text{ kg/m}^3$$

c. Tinggi Jatuh Air (H)

$$H = P \times 10,1974 \text{ mH}_2\text{O}$$

$$= 1,8 \times 10,1974 \text{ mH}_2\text{O} = 18,36 \text{ mH}_2\text{O}$$

Sehingga daya input,

$$P_{in} = \rho_{air} Q g H$$

$$= 995,82 \frac{kg}{m^3} \times 0,000150 \frac{m^3}{s} \times 9,8 \frac{m}{s^2} \times 18,36 m = 26,90 W$$

2. Perhitungan Daya Output (P_{out})

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \times I \\ &= 9 \text{ Volt} \times 0,028 \text{ Ampere} \\ &= 0,25 W \end{aligned}$$

3. Perhitungan Efisiensi Sistem (η_s)

$$\begin{aligned} \eta_s &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \\ &= \frac{0,25 W}{26,90 W} \\ &= 0,94 \% \end{aligned}$$

Tabel 6 Hasil analisis pengujian turbin turgo dengan jumlah sudu 15 buah.

| Posisi Nozzle | Beban Listrik | N (rpm) | Q (m ³ /s) | Head (m) | Pin (W) | Pout (W) | η_s (%) |
|---------------|---------------|---------|-----------------------|----------|---------|----------|--------------|
| 0° | Tanpa Beban | 115,40 | 0,000151 | 18,36 | 27,01 | - | - |
| 15° | | 213,50 | 0,000151 | 18,36 | 27,01 | - | - |
| 25° | | 210,80 | 0,000151 | 18,36 | 27,01 | - | - |
| 35° | | 184,50 | 0,000151 | 18,36 | 27,01 | - | - |
| 0° | 5 W | 109,00 | 0,000150 | 18,36 | 26,90 | 0,25 | 0,94 |
| | 10 W | 104,80 | 0,000150 | 18,36 | 26,90 | 0,26 | 0,95 |
| | 15 W | 99,00 | 0,000150 | 18,36 | 26,90 | 0,29 | 1,08 |
| | 20 W | 96,00 | 0,000150 | 18,36 | 26,90 | 0,28 | 1,05 |
| | 25 W | 94,50 | 0,000150 | 18,36 | 26,90 | 0,28 | 1,06 |
| | 30 W | 93,20 | 0,000150 | 18,36 | 26,90 | 0,28 | 1,04 |
| 15° | 5 W | 146,50 | 0,000150 | 18,36 | 26,85 | 1,22 | 4,54 |
| | 10 W | 135,10 | 0,000150 | 18,36 | 26,85 | 1,18 | 4,41 |
| | 15 W | 131,20 | 0,000150 | 18,36 | 26,85 | 1,32 | 4,93 |
| | 20 W | 126,40 | 0,000150 | 18,36 | 26,85 | 1,18 | 4,40 |
| | 25 W | 123,40 | 0,000150 | 18,36 | 26,85 | 1,16 | 4,32 |
| | 30 W | 122,00 | 0,000150 | 18,36 | 26,85 | 1,17 | 4,34 |
| 25° | 5 W | 160,00 | 0,000150 | 18,36 | 26,82 | 1,44 | 5,37 |
| | 10 W | 143,70 | 0,000150 | 18,36 | 26,82 | 1,54 | 5,74 |
| | 15 W | 136,00 | 0,000150 | 18,36 | 26,82 | 1,44 | 5,37 |
| | 20 W | 133,00 | 0,000150 | 18,36 | 26,82 | 1,40 | 5,21 |
| | 25 W | 130,00 | 0,000150 | 18,36 | 26,82 | 1,38 | 5,15 |
| | 30 W | 123,50 | 0,000150 | 18,36 | 26,82 | 1,35 | 5,02 |
| 35° | 5 W | 137,20 | 0,000151 | 18,36 | 27,07 | 1,01 | 3,72 |
| | 10 W | 130,20 | 0,000151 | 18,36 | 27,07 | 1,00 | 3,69 |
| | 15 W | 120,00 | 0,000151 | 18,36 | 27,07 | 1,03 | 3,79 |

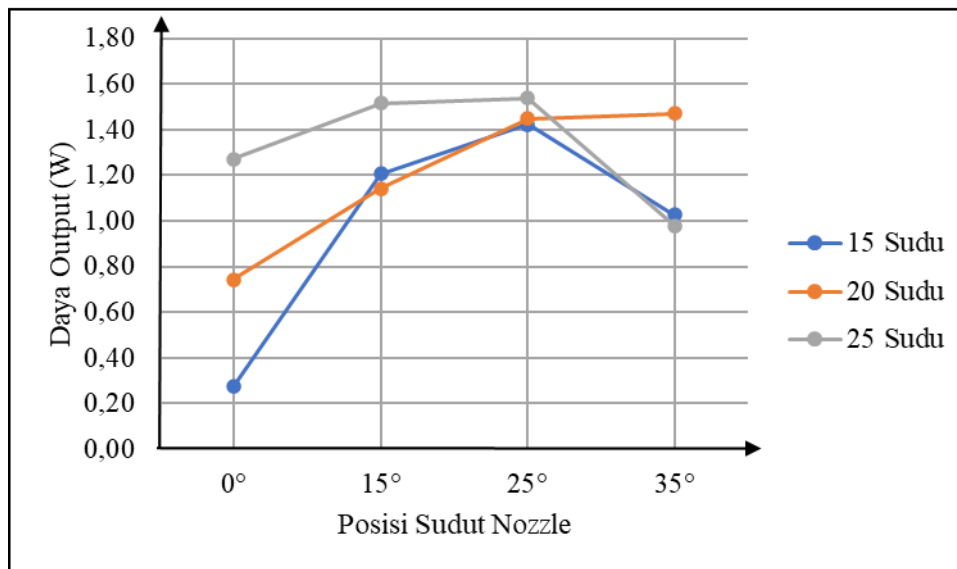
| Posisi Nozzle | Beban Listrik | N (rpm) | Q (m ³ /s) | Head (m) | Pin (W) | Pout (W) | η_s (%) |
|---------------|---------------|---------|-----------------------|----------|---------|----------|--------------|
| | 20 W | 117,20 | 0,000151 | 18,36 | 27,07 | 1,02 | 3,77 |
| | 25 W | 117,00 | 0,000151 | 18,36 | 27,07 | 1,05 | 3,89 |
| | 30 W | 115,20 | 0,000151 | 18,36 | 27,07 | 1,06 | 3,90 |

B. Pembahasan

Grafik dibuat untuk mempermudah analisa data hasil pengujian. Pada Tugas Akhir ini dilakukan uji kinerja turbin Turgo sudu dengan jumlah sudu 15, 20 dan 25 serta posisi sudut *nozzle* 0°, 15°, 25°, 35°. Kemudian diperoleh hasil berupa grafik sebagai berikut :

1. Karakteristik Daya Output (P_{out}) terhadap Posisi Sudut Nozzle

Berdasarkan gambar 10 terlihat bahwa grafik hubungan daya output terhadap posisi sudut nozzle pada ketiga kurva sudu turbin 15, 20, dan 25 menunjukkan daya output akan mengalami kenaikan dari 0° hingga 25°, kemudian daya output akan mengalami penurunan diposisi sudut *nozzle* 35°. Namun untuk turbin sudu 20, daya output akan terus mengalami kenaikan hingga posisi sudut *nozzle* 35°.



Gambar 10. Grafik hubungan daya output (P_{out}) dan posisi sudut *nozzle* untuk setiap jumlah sudu turbin.

Turbin sudu 15, daya output rata-rata tertinggi terdapat diposisi sudut *nozzle* 25° yaitu 1,42 Watt. Turbin sudu 20, daya output rata-rata tertinggi terdapat diposisi sudut *nozzle* 35° yaitu 1,47 Watt. Turbin sudu 25, daya output rata-rata tertinggi terdapat diposisi sudut *nozzle* 25° yaitu 1,54 Watt. Berdasarkan ketiga turbin, untuk daya output rata-rata tertinggi terdapat pada turbin sudu 25 yaitu 1,54 Watt diposisi sudut *nozzle* 25°. Untuk nilai lebih lengkapnya dapat dilihat di tabel 7.

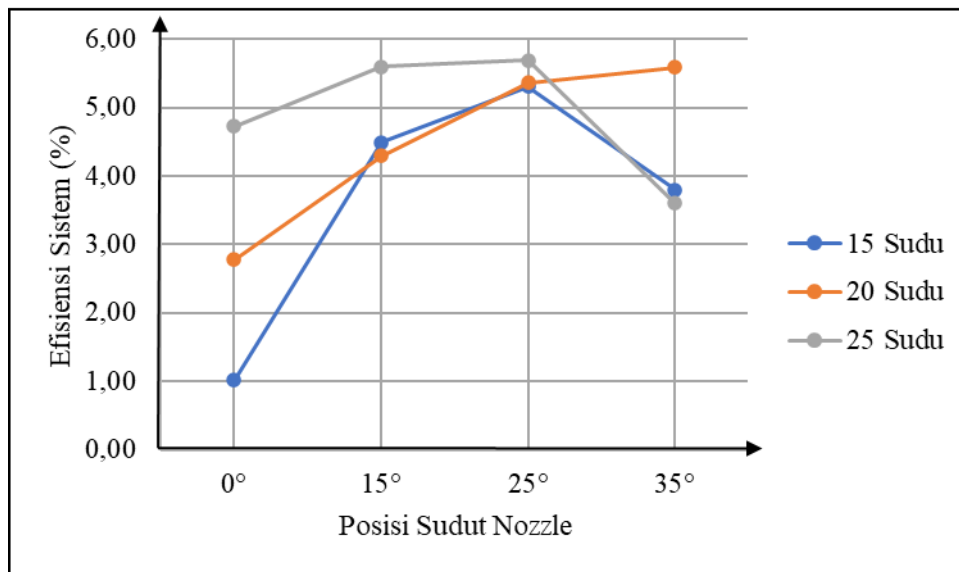
Tabel 7. Daya output rata-rata turbin turgo.

| Posisi Sudut Nozzle | Rata-rata Daya Output (W) | | |
|---------------------|---------------------------|---------|---------|
| | 15 sudu | 20 sudu | 25 sudu |
| 0° | 0,27 | 0,74 | 1,27 |

| | | | |
|-----|------|------|------|
| 15° | 1,21 | 1,14 | 1,52 |
| 25° | 1,42 | 1,45 | 1,54 |
| 35° | 1,03 | 1,47 | 0,98 |

2. Karakteristik Efisiensi Sistem (η_s) terhadap Posisi Sudut Nozzle

Berdasarkan gambar 11 terlihat bahwa grafik hubungan efisiensi sistem terhadap posisi sudut nozzle pada ketiga kurva sudu turbin 15, 20, dan 25 menunjukkan efisiensi sistem akan mengalami kenaikan dari 0° hingga 25°, kemudian efisiensi sistem akan mengalami penurunan diposisi sudut nozzle 35°. Namun untuk turbin sudu 20, efisiensi sistem akan terus mengalami kenaikan hingga posisi sudut nozzle 35°.



Gambar 11. Grafik hubungan efisiensi sistem (η_s) dan posisi sudut nozzle untuk setiap jumlah sudu turbin.

Turbin sudu 15, efisiensi sistem rata-rata tertinggi terdapat diposisi sudut nozzle 25° yaitu 5,31%. Turbin sudu 20, efisiensi sistem rata-rata tertinggi terdapat diposisi sudut nozzle 35° yaitu 5,58%. Turbin sudu 25, efisiensi sistem rata-rata tertinggi terdapat diposisi sudut nozzle 25° yaitu 5,69%.

Berdasarkan ketiga turbin, untuk efisiensi sistem rata-rata tertinggi terdapat pada turbin sudu 25 yaitu 5,69% diposisi sudut nozzle 25°. Untuk nilai lebih lengkapnya dapat dilihat di tabel 8.

Tabel 8. Efisiensi sistem rata-rata turbin turgo.

| Posisi Sudut Nozzle | Rata-rata Efisiensi Sistem (%) | | |
|---------------------|--------------------------------|---------|---------|
| | 15 sudu | 20 sudu | 25 sudu |
| 0° | 1,02 | 2,78 | 4,73 |
| 15° | 4,49 | 4,30 | 5,60 |
| 25° | 5,31 | 5,36 | 5,69 |
| 35° | 3,79 | 5,58 | 3,60 |

Tabel 9. Data rata-rata efisiensi Sistem Turbin Turgo.

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Rata-rata Efisiensi Sudu | Rata-rata Efisiensi Posisi Nozzle |
|--------------------------|-----------------------------------|

| 15 sudu | 20 sudu | 25 sudu | 0° | 15° | 25° | 35° |
|------------|------------|------------|------|------|------|------|
| 3,65 | 4,50 | 4,90 | 2,84 | 4,80 | 5,45 | 4,33 |

Efisiensi sistem rata-rata per turbin tertinggi terdapat pada turbin sudu 25 dengan nilai rata-rata keseluruhan efisiensi sistem yaitu 4,90%. Sedangkan untuk efisiensi sistem rata-rata perposisi sudut *nozzle* tertinggi terdapat pada posisi sudut *nozzle* 25° dengan nilai rata-rata keseluruhan efisiensi sistem yaitu 5,45%.

Terkait dengan debit yang dihasilkan, penelitian ini memperoleh debit 0,000151 m³/s pada semua jumlah sudu. Hal yang sama juga dilakukan oleh Solihat dkk yang memvariasikan debit pada jumlah sudu 28, dimana diperoleh debit yang lebih baik diperoleh pada 0,000694 m³/s [19]. Variasi jumlah sudu juga telah diperoleh dari penelitian oleh dinata [20], dimana diperoleh bahwa turbin dengan jumlah sudu 18 memiliki efisiensi tertinggi dengan nilai 8,52%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Kinerja Turbin Turgo berdasarkan variasi jumlah sudu turbin diperoleh efisiensi sistem terbaik terdapat pada turbin sudu 25 buah.
- b. Kinerja Turbin Turgo berdasarkan variasi sudut kemiringan *nozzle* diperoleh efisiensi sistem terbaik terdapat pada posisi sudut *nozzle* 25°.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. R. A. Arismunandar, M. A. SC, and D. R. S. Kuwahara, "Pembangkitan tenaga air," *Jakarta PT. PRADNYA PARAMITA*, 1982.
- [2] T. D. Putra and A. Prasetyo, "Pengaruh Sudu Hydrofoil Naca 9407 Terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (Cross-Flow) Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," *Proton*, vol. 10, no. 2, pp. 12–19, 2019.
- [3] A. Subandono, "Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (pltmh)," *J. Rekayasa Elektr*, vol. 10, no. 4, pp. 1–13, 2013.
- [4] R. B. Astro, H. Doa, and H. Hendro, "Fisika Kontekstual Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro," *ORBITA J. Kajian, Inov. Dan Apl. Pendidik. Fis.*, vol. 6, no. 1, pp. 142–149, 2020.
- [5] D. S. Benzon, G. A. Aggidis, and J. S. Anagnostopoulos, "Development of the Turgo Impulse turbine: Past and present," *Appl. Energy*, vol. 166, pp. 1–18, 2016.
- [6] I. Yasa, I. W. A. Wijaya, and I. G. N. Janardana, "Pengaruh Variasi Sudut Nozzle terhadap Kecepatan Putar Turbin dan Daya Output pada Prototype PLTMH Menggunakan Turbin Turgo," *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 2, 2022.
- [7] B. Bono and S. Suwanti, "Variasi Jumlah Sudu Dan Modifikasi Bentuk Nosel Pada Turbin Turgo Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro," *Eksergi*, vol. 15, no. 2, pp. 81–92, 2019.
- [8] M. A. Suyuti, "Rancang Bangun Sempel Press Tool untuk Bending V Bottoming," *J. Tek. Mesin SINERGI*, vol. 13, no. 2, pp. 160–173, 2019.
- [9] M. A. Suyuti, R. Nur, and M. Iswar, "Rancang Bangun Press Tool Untuk Alat Bending Pelat Tipe Die-V Air Bending," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 39–45, 2020.
- [10] A. S. Muhammad, N. Rusdi, and I. Muhammad, "Rancang Bangun Press Tool Untuk Alat Bending Pelat Tipe Die-V Air Bending," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 39–45, 2020.
- [11] M. A. Suyuti, M. Iswar, R. Nur, and E. Erniyanti, "Desain Konstruksi Press Tool Sebagai Alat Bending Bentuk V Dengan Garis Bending Max. 300mm," *J. Sinergi Jur. Tek. Mesin*, 2019.
- [12] M. J. Dullah, M. A. Suyuti, M. Sudarman, M. Mariam, and M. A. Arham, "Desain dan analisis

- alat bending v sistem hidro pneumatik,” *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 17, no. 2, pp. 168–178, 2020.
- [13] N. Rusdi, A. S. Muhammad, and I. Muhammad, “Designing and manufacturing the press tool of air bending V brake,” *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol.*, vol. 19, no. 3, pp. 38–43, 2019.
- [14] R. Nur, M. A. Suyuti, and M. Iswar, “Designing and Manufacturing the Press Tool of Air Bending V Brake,” *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol.*, vol. 19, no. 3, pp. 38–43, 2019.
- [15] M. Saini, R. Nur, S. Sattar, and I. Ibrahim, “Rancang Bangun Alat Eliminasi Gas Buang Menggunakan Mekanisme Ejektor,” *INTEK J. Penelit.*, 2017.
- [16] H. P. Nari, M. Sirman, R. Nur, and M. I. Mukhsen, “Redesign and Remanufacturing the Shot Peening Machine: Model and Experiment,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 1858, no. 1, p. 12009.
- [17] D. Dermawan, R. Nur, B. Nasrullah, and S. Sahriana, “Design and study on a straw press for the utilization of straw waste in agriculture,” in *AIP Conference Proceedings*, 2023, vol. 2568, no. 1, p. 20001.
- [18] R. Nur, N. P. Parahdiba, I. Abdullah, D. F. Roji, S. Sahriana, and I. Mansur, “Rancang Bangun Mesin Ektrusi Pembuat Filamen dengan Sistem Screw Conveyor,” *J. Tek. Mesin Sinergi*, vol. 20, no. 1, pp. 67–76, 2022.
- [19] I. Solihat, E. T. Astuti, and H. Rudiati, “Analisa Pengujian Turbin Air Jenis Crossflow Terhadap Variasi Debit,” *J. Tek. Mesin CAKRAM*, vol. 2, no. 1, p. 25, 2019.
- [20] P. A. Dinata, I. A. Wijaya, and I. M. Suartika, “Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Output Pada Prototype Pembangkit Listrik tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Dengan menggunakan Turbin Crossflow,” *J. Spektrum*, 2020.