

Rancang Bangun Prototipe Turbin Tesla Sebagai Turbin Air

Suryanto^{1*}, Abdul Rahman², Harrie Anugerah Rante³, Zulkifli⁴

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

Abstract: Water turbines are an important component that plays a role in converting water energy into mechanical energy. Water turbines have several types, one of type is the Tesla Turbine which can utilize various types of fluids as driving fluids. This study aims to make a prototype of a Tesla Turbine that utilizes water fluid as driving energy and knows the efficiency value of the design made. The method used is an experimental study by making a prototype of a Tesla Turbine and calculate several parameters in advance such as the flow speed produced by the pump, boundary layer, and the diameter of the turbine outlet. After planning the turbine design, the assembly of the turbine testing system and the data retrieval needed to analyze the performance of the turbine prototype created. The test results showed that in Tesla Turbine experiments obtained the highest turbine power value of 11,01 Watts with a torque value of 0,784 Nm and a rotation of 134 rpm. The highest rotation value occurs at a 100% valve opening with a water discharge of $0,71 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ producing 313 rpm and the highest torque value of 1.917 Nm. Turbine efficiency with variations in mass load and valve openings reaches 30,99%. In the test experiment with a no-load generator coupling, a voltage value ranging from 20,1-24 V at a valve opening of 50%-100% was obtained. As for the turbine experiment, which was coupled with a generator with a load of three LED lamps of 5 Watts and one 3 W Fan, power ranged from 0,798-1,6684 Watts. The higher the load given, the lower the generator power generated due to the decrease in generator rotation due to the load.

Keywords: Tesla Turbine, Experimental, Efficiency

Abstrak: Turbin air merupakan komponen penting yang berperan dalam mengkonversi energi air menjadi energi mekanik. Turbin air memiliki beberapa jenis, salah satunya yaitu Turbin Tesla yang dapat memanfaatkan berbagai jenis fluida sebagai fluida penggerak. Penelitian ini bertujuan yaitu membuat prototipe dari Turbin Tesla yang memanfaatkan fluida air sebagai energi penggerak dan mengetahui nilai efisiensi dari rancangan yang dibuat. Metode yang digunakan yaitu studi eksperimen dengan membuat prototipe Turbin Tesla dengan memperhitungkan beberapa parameter terlebih dahulu seperti kecepatan aliran yang dihasilkan pompa, *boundary layer*, dan diameter *outlet* turbin. Setelah merencanakan desain turbin, dilakukan perakitan sistem pengujian turbin dan pengambilan data yang diperlukan untuk menganalisis performa dari prototipe turbin yang dibuat. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa pada percobaan Turbin Tesla didapatkan nilai daya turbin tertinggi yaitu 11,01 Watt dengan nilai torsi 0,784 Nm dan putaran 134 rpm. Nilai putaran tertinggi terjadi pada bukaan katup 100% dengan debit air $0,71 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan 313 rpm dan nilai torsi tertinggi yaitu 1,917 Nm. Efisiensi turbin dengan variasi pembebanan dan bukaan katup mencapai 30,99%. Pada percobaan pengujian dengan dikopel generator tanpa beban, didapatkan nilai tegangan berkisar 20,1-24 V pada bukaan katup 50%-100%. Adapun pada percobaan turbin yang dikopel generator dengan beban tiga buah lampu LED 5 Watt dan satu Buah Kipas 3 W didapatkan daya berkisar 0,798-1,6684 Watt. Semakin tinggi beban yang diberikan maka semakin rendah daya generator yang dihasilkan dikarenakan turunnya putaran generator akibat beban.

Kata kunci : Turbin Tesla, eksperimen, efisiensi

I. PENDAHULUAN

Energi listrik saat ini sangatlah berperan penting bagi masyarakat di segala aspek kehidupan baik itu teknologi, industri, pendidikan, dan aspek berbagai lainnya. Seiring berkembangnya zaman, kebutuhan akan energi listrik terus meningkat sedangkan jumlah ketersediaan bahan bakar fosil seperti batu bara, gas alam, dan minyak bumi yang merupakan bahan bakar pembangkit listrik terus mengalami penurunan. Oleh karena itu, dipandang perlu untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan beralih ke energi terbarukan seperti energi air, energi surya, energi angin, energi panas bumi, energi biomassa, dan pasang surut air laut.

Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang sangat berpotensi dalam memenuhi kebutuhan energi di Indonesia. Total keseluruhan potensi tenaga air yang dimiliki bangsa Indonesia sebesar 75.000 MW dan yang dimanfaatkan saat ini hanya 10.1% atau sebesar 7,572 MW [1]. Salah

satu cara pemanfaatan energi air yaitu dengan mengkonversi energi aliran fluida menjadi energi mekanik menggunakan media turbin yang nantinya akan dikonversi menjadi energi listrik. Salah satu jenis turbin yang dapat dimanfaatkan untuk mengkonversi energi aliran fluida menjadi energi mekanik yaitu Turbin Tesla.

Turbin Tesla merupakan turbin yang mengubah energi fluida dengan menggunakan disk yang disusun berlapis pada poros dengan jarak tertentu. Turbin Tesla dipatenkan pada tahun 1913 oleh Nikola Tesla. Nikola Tesla berusaha untuk merancang turbin yang memiliki efisiensi yang tinggi, mengurangi biaya, dan kerumitan dalam perangkat. Pada umumnya, Turbin Tesla memanfaatkan energi uap atau udara bertekanan sebagai media penggerak akan tetapi beberapa penelitian menggunakan energi air sebagai media penggerak Turbin Tesla.

Rizaldi [2] telah melakukan penelitian tentang Rancang Bangun Turbin Tesla Sebagai Turbin Air Dan Analisa Perbandingan Variasi Jumlah Disk Dan Jarak Antar Disk. Hasil perhitungan secara teoritis didapatkan bahwa untuk Turbin Tesla dengan tebal dan jarak disk yang berbeda menghasilkan putaran 400 rpm dan daya sebesar 7,519 W serta efisiensi 27,89 %. Sedangkan untuk Turbin Tesla dengan tebal dan jarak disk yang sama menghasilkan putaran 420 rpm dan daya sebesar 9,418 W serta efisiensi 30,74 %.

Bryan P. dan Ho-Yan [3] telah melakukan penelitian tentang Tesla Turbine for Pico Hydro Applications. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan analisis menggunakan Program Matlab mengenai penelitian Rice terhadap Turbin Tesla, didapatkan hasil yaitu 300W dalam kondisi head 20 m dan laju aliran 2,5 L/s dengan desain turbin yang terdiri dari 31 disk dengan diameter 0,5 m. Adapun Efisiensi desain turbin awal mendekati 80% tetapi belum memperhitungkan mengenai rugi-rugi yang terjadi pada turbin tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi dari Turbin Tesla yang dirancang sebagai bahan referensi dalam pengaplikasian Turbin Tesla sebagai salah satu alternatif turbin dalam pembangkit listrik. Tujuan dilakukannya rancang bangun ini maka dapat memberikan gambaran mengenai efisiensi yang dihasilkan Turbin Tesla dan juga beberapa perhitungan awal dalam merencanakan konstruksi turbin. Berdasarkan latar belakang tersebut maka penulis mengambil judul “Rancang Bangun Prototipe Turbin Tesla sebagai Turbin Air”.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian eksperimen dilakukan di Laboratorium Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Februari 2022 hingga September 2022. Alat yang digunakan yaitu seperangkat tools, multimeter digital, tachometer, timbangan digital, dan pressure gauge.

A. Tahap Perancangan

Tahap perancangan merupakan langkah awal sebelum prototipe dari Turbin Tesla ini dibuat. Tahap ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum dari sistem yang akan berjalan dan mempertimbangkan beberapa rancangan agar pembangkit ini dapat beroperasi dengan optimal. Adapun beberapa perhitungan awal mengenai konstruksi Turbin Tesla yaitu kecepatan aliran air yang masuk pada turbin, boundary layer, dan diameter outlet turbin, Berikut perhitungan yang dilakukan dalam perencanaan Turbin Tesla.

1. Kecepatan aliran air teoritis

Kecepatan air yang masuk pada turbin sangat mempengaruhi ketebalan boundary layer itu sendiri. Adapun luas penampang *nozzle* yaitu 2 x 77 mm dengan permukaan berbentuk persegi Panjang. Untuk mengetahui kecepatan teoritis air dengan menggunakan luas penampang nosel juga dibutuhkan data debit air. Berdasarkan data spesifikasi pompa, maka dapat diperkirakan kecepatan air yang masuk pada turbin yaitu sebagai berikut.

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{p \times l}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{50 \text{ l/min}}{(77 \times 2) \text{ mm}^2} \\
 &= \frac{0,000833 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000154 \text{ m}^2} \\
 &= 5,41 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

2. Boundary Layer

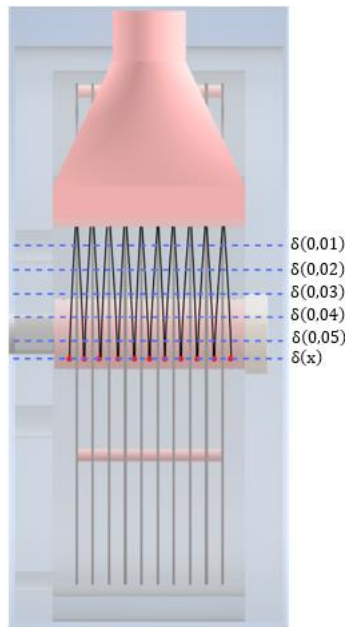
Boundary layer yang terbentuk secara teoritis dapat diasumsikan dengan memperhitungkan ketebalan *boundary layer* untuk masing-masing sisi plat datar. Untuk jarak antar disk 5,5 mm, *boundary layer* dikatakan maksimal ketika masing-masing disk memiliki ketebalan *boundary layer* 2,725 mm, sehingga pada kondisi ini dapat dikatakan tidak terdapat aliran bebas dan energi air dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk memutar disk. Berdasarkan data hasil pengukuran temperatur menggunakan Thermogun didapatkan temperatur air yaitu 29,7°C dengan nilai viskositas kinematic setelah diinterpolasi yaitu $\nu=0,805 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ [4]. selanjutnya menentukan bilangan Reynold untuk mengetahui jenis aliran yang masuk ke turbin.

$$\begin{aligned}
 Re &= \frac{v_s \cdot D_H}{\nu} \\
 &= \frac{v_s \cdot \left(\frac{2ab}{a+b}\right)}{\nu} \\
 &= \frac{5,41 \times \left(\frac{2 \times 77 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{-3}}{77 \times 10^{-3} + 2 \times 10^{-3}}\right)}{0,805 \times 10^{-6}} \\
 &= \frac{5,41 \times 0,004}{0,805 \times 10^{-6}} \\
 &= 26.881,99 \text{ (Aliran Turbulen)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan identifikasi jenis aliran dan nilai bilangan reynold, maka jarak agar *boundary layer* dapat mencapai titik maksimal yaitu sebagai berikut [5].

$$\begin{aligned}
 \delta(x) &\approx 0,37 \frac{x}{Re_x^{\frac{1}{5}}} \\
 x &= \frac{\delta(x) Re_x^{\frac{1}{5}}}{0,37} \\
 &= \frac{5,5 \times 10^{-3} \cdot 26.881,99^{\frac{1}{5}}}{0,37} \\
 &= 0,0572 \text{ m} = 5,72 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Fluida yang melewati celah *disk* turbin mengalami pembesaran luasan *boundary layer* sesuai dengan jarak tempuh dari fluida. Berdasarkan data diatas dapat dikatahui bahwa untuk kecepatan fluida 5,41 m/s didapatkan jarak 5,72 cm hingga membentuk aliran berkembang penuh pada *boundary layer*. Berikut merupakan ilustrasi mengenai perkembangan *boundary layer* hingga mencapai kondisi berkembang penuh.



Gambar 1. Ilustrasi perkembangan *boundary layer* pada aliran turbin hingga berkembang penuh

3. Diameter Outlet Turbin

Dalam menentukan diameter *outlet*, dilakukan analisis perhitungan agar diameter *outlet* lebih besar jika dibandingkan diameter pipa sebelum nosel agar air yang masuk ke turbin tidak menghambat aliran air lainnya. Adapun luas penampang pipa yang digunakan yaitu 1” dengan luas permukaan 506,7 mm². Adapun dalam menentukan diameter outlet turbin adalah sebagai berikut dengan membuat lubang keluaran yang lebih besar dibandingkan luas penampang pipa masukan turbin.

$$\begin{aligned} \text{Diameter Outlet Turbin} &= \sqrt{\frac{506,7}{4 \times \frac{\pi}{4}}} \\ &= 12,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dikarenakan diameter outlet dirancang lebih besar dibandingkan luas penampang pipa masukan turbin, maka dilakukan pembulatan ke atas yaitu 4 lubang berdiameter 13 mm. Berikut merupakan parameter desain prototipe Turbin Tesla yang dibuat.

Tabel 1. Parameter Desain

Variabel	Nilai	Satuan
Jarak <i>disk</i>	5,5	mm
Jumlah <i>disk</i>	10	-
Tebal <i>disk</i>	1	mm
Dimensi <i>nozzle</i>	77 x 2	mm
Dimensi <i>lubang keluaran</i>	4 x (∅ 13)	mm
Diameter disk inner	35	mm
Diameter disk Outer	200	mm

B. Tahap Perakitan

Perakitan adalah suatu proses penyusunan dalam satu bentuk yang saling mendukung sehingga bentuk mekanisme kerja yang diinginkan bisa terealisasi. Proses perakitan dibagi dalam beberapa

tahap:

1. Pembuatan Cetakan Casing Turbin

Pembuatan cetakan merupakan langkah awal dalam membuat Turbin Tesla. Pada tahap ini dibuat 3 buah cetakan yang terbuat dari plat aluminium yang terdiri atas 1 bagian melingkar dan 2 bagian casing samping yang selanjutnya dilakukan penuangan resin *art* pada cetakan tersebut untuk membuat casing turbin.

2. Menyatukan komponen turbin

Pada tahap ini, bagian-bagian turbin seperti poros, *spacer*, sistem pengunci, bearing, nosel, dan casing turbin yang telah dicetak disatukan membentuk Turbin Tesla dan direkatkan menggunakan lem yang dilapisi dengan resin untuk meminimalisir kebocoran yang terjadi pada casing turbin.

3. Penandaan dan pemotongan besi dudukan turbin

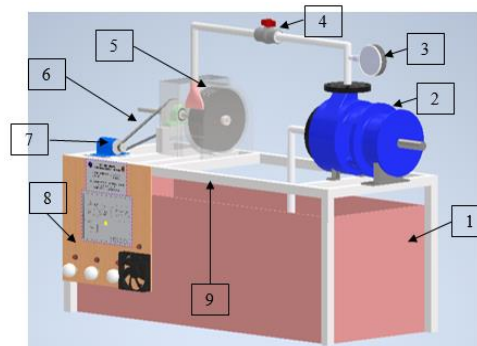
Dalam membuat dudukan turbin, terlebih dahulu membuat rancangan agar setiap komponen seperti pompa, turbin dan juga bak penampung dapat ditempatkan dengan baik. Pada tahap ini, sebelum memotong besi, terlebih dahulu menandai panjang besi yang ingin dipotong kemudian memotong besi tersebut menggunakan gurinda yang selanjutnya dilakukan pengelasan untuk menyatukan besi tersebut.

4. Pemasangan

Proses ini merupakan proses pemasangan turbin ke dudukan turbin dan komponen pemipaan untuk sirkulasi aliran air, kemudian memasang *pulley* diameter besar dan menyambungkannya ke *pulley* diameter kecil yang ada di generator dengan menggunakan *belt*.

C. Skema Pengujian Sistem

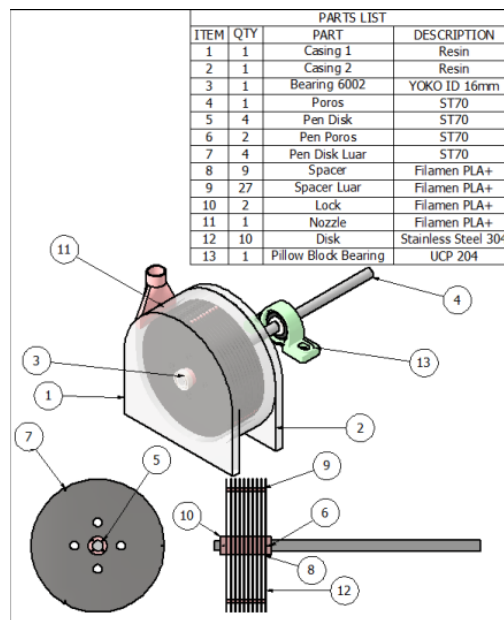
Pengujian Turbin Tesla dilakukan dengan memanfaatkan pompa untuk memompa air dari penampungan air yang selanjutnya masuk ke Turbin Tesla dan kembali ke penampungan air dan terus bersirkulasi. Berikut merupakan skema pengujian sistem dan konstruksi dari Turbin Tesla yang telah dibuat.



Gambar 2. Skema Pengujian Sistem Turbin Tesla

Berikut komponen sistem pengujian Turbin Tesla.

1. Penampungan Air
2. Pompa Moswell Jet-100
3. *Pressure Gauge*
4. *Ball Valve*
5. Turbin Tesla
6. Sistem Transmisi Turbin (*Pulley* dan *Belt*)
7. Generator DC
8. Beban Lampu (3 Lampu 5 Watt) dan Kipas DC (3 Watt)
9. Rangka Pengujian



Gambar 3. Konstruksi Turbin Tesla

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembahasan Data Hasil Analisis

Tabel 2. Data Hasil Analisis Percobaan Turbin Tesla tanpa Generator

Bukaan Katup	Debit x 10 ⁻³ (m ³ /s)	Pembebanan (kg)	Torsi (N.m)	Putaran Turbin (rpm)	Kecepatan aliran inlet (m/s)	Daya Hidrolis (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Efisiensi Turbin (%)
50%	0,57	0	0	267	3,70	28,5	0	0
		0,3	0,261	183			5,01	17,57
		0,6	0,523	124			6,79	23,82
		0,9	0,784	86			7,06	24,78
		1,2	1,045	49			5,36	18,82
		1,5	1,307	24			3,28	11,52
		1,8	1,568	14			2,30	8,07
		1,9	1,655	0			0	0
75%	0,65	0	0,00	301	4,22	32,5	0	0
		0,3	0,261	210			5,75	17,69
		0,6	0,523	177			9,69	29,81
		0,9	0,784	120			9,85	30,32
		1,2	1,045	75			8,21	25,26
		1,5	1,307	38			5,20	16,00
		1,8	1,568	27			4,43	13,64
		2,0	1,742	0			0	0
100%	0,71	0	0	313	4,61	35,5	0	0
		0,3	0,261	235			6,05	18,12
		0,6	0,523	195			10,13	30,07
		0,9	0,784	134			11,00	30,99
		1,2	1,045	89			9,74	27,45
		1,5	1,307	45			6,16	17,35
		1,8	1,568	30			4,93	13,88
		2,2	1,917	0			0	0

Berdasarkan data hasil analisis pada tabel 2 dapat dilihat pengaruh pembebanan terhadap daya turbin dan juga efisiensi turbin. nilai massa pembebanan ini berhubungan erat terhadap nilai dari torsi maksimal yang mampu dihasilkan turbin, Pada bukaan katup 50% didapatkan nilai torsi maksimal yaitu 1,655 Nm pada pembebanan 1900 gram, pada bukaan katup 75% didapatkan nilai torsi maksimal yaitu 1,742 Nm pada pembebanan 2000 gram, dan pada bukaan katup 100% didapatkan nilai torsi maksimal yaitu 1,917 Nm pada pembebanan 2200 gram. Semakin tinggi massa pembebanan yang diberikan ke turbin maka akan menyebabkan turunnya putaran turbin yang membuktikan bahwa torsi berbanding terbalik dengan putaran turbin. Nilai daya turbin tertinggi didapatkan pada saat pembebanan 900 gram pada masing-masing bukaan katup dengan nilai torsi 0,784 Nm dan daya turbin berturut-turut untuk bukaan katup 50%,75%, dan 100% yaitu sebesar 7,07 Watt, 9,86 Watt, dan 11,01 Watt. Hal tersebut juga berlaku terhadap nilai efisiensi turbin yang juga menunjukkan tingkat efisiensi tertinggi pada pembebanan 900 gram dengan efisiensi turbin berturut-turut yaitu 21,73%, 30,32%, dan 30,99%.

Tabel 3. Data Percobaan Turbin Tesla dengan Generator tanpa Beban

Bukaan Katup	Debit x 10 ⁻³ (m ³ /s)	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan (V)
50%	0,57	190	835	20,1
75%	0,65	222	987	23,6
100%	0,71	229	1004	24,0

Berdasarkan data percobaan Turbin Tesla dengan generator pada tabel 3 diatas, didapatkan hasil bahwa semakin tinggi putaran generator maka semakin tinggi nilai tegangan *open circuit* yang didapatkan. Adapun putaran generator tertinggi yang mampu dihasilkan dari hasil transmisi putaran turbin ke generator yaitu sebesar 1004 rpm dengan nilai tegangan *open circuit* yang dihasilkan yaitu 24 Volt DC.

Tabel 4. Data Hasil Analisis Percobaan Turbin Tesla dengan Generator Berbeban

Bukaan Katup	Putaran Turbin (rpm)	Putaran Generator (rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Beban	Daya Listrik (Watt)	Efisiensi Generator (%)	Efisiensi Sistem (%)
50%	143	444	9,3	0,161	1 Lampu (5 Watt)	1,4973	21,18	5,25
	140	415	8,8	0,144	2 Lampu (10 Watt)	1,2672	17,93	4,44
	137	411	8,1	0,120	3 Lampu (15 Watt)	0,972	13,75	3,41
	130	203	4,2	0,190	1 Kipas (3 Watt)	0,798	11,29	2,80
75%	178	456	9,5	0,164	1 Lampu (5 Watt)	1,558	15,80	4,79
	176	421	8,8	0,147	2 Lampu (10 Watt)	1,2936	13,12	3,98
	172	413	8,3	0,130	3 Lampu (15 Watt)	1,079	10,94	3,32
	160	220	4,3	0,191	1 Kipas (3 Watt)	0,8213	8,33	2,52
100%	182	479	9,7	0,172	1 Lampu (5 Watt)	1,6684	15,15	4,69
	177	423	8,9	0,148	2 Lampu (10 Watt)	1,3172	11,96	3,71
	174	417	8,4	0,135	3 Lampu (15 Watt)	1,134	10,30	3,19
	162	227	4,2	0,206	1 Kipas (3 Watt)	0,8652	7,86	2,43

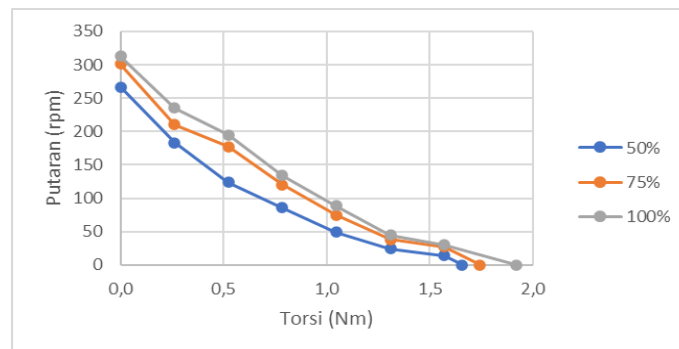
Berdasarkan data hasil analisis pada tabel 4 dapat dilihat pengaruh pembebanan yang dilakukan terhadap putaran generator, tegangan, dan daya yang dihasilkan generator. Adapun pembebanan yang dilakukan yaitu menggunakan lampu DC 5 Watt sebanyak 3 dan kipas DC 3 Watt sebanyak 1 buah. Pada percobaan berbeban dapat dilihat bahwa daya tertinggi dihasilkan pada data dengan beban 1 lampu dengan daya yang dihasilkan berturut-turut untuk bukaan katup 50%,75%, dan 100% yaitu 1,4973 Watt, 1,558 Watt, dan 1,6684 Watt. Pada percobaan dengan menambah beban lampu dapat dilihat bahwa nilai tegangan dan nilai arus yang dihasilkan mengalami penurunan dikarenakan penambahan beban mengakibatkan putaran generator menurun sehingga daya yang dihasilkan generator juga menurun. Sedangkan pada percobaan dengan menggunakan beban kipas DC 3 Watt mengakibatkan putaran generator turun drastis jika dibandingkan dengan pembebanan lampu, hal ini membuktikan bahwa penggunaan beban induktif sangat mempengaruhi putaran generator. Berdasarkan data yang telah diperoleh dari penelitian ini, berikut merupakan perbandingan performa Turbin Tesla berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 5. Perbandingan performa Turbin Tesla dari berbagai literatur

Penulis	r _o (mm)	r _i (mm)	Jumlah disk	Spacer (mm)	Fluida	Metode	Daya Input (Watt)	Putaran maks. (rpm)	Torsi maks. (Nm)	Daya Maks. (Watt)	Efisiensi maks. (%)
Jibsan F. Andres dan Michael E. Loretero (2019) [6]	na	na	na	na	Air (Pompa)	Eksperimen	12,8	±150	±0,45	3,50	27,30
	na	na	na	na	Air (Kanal)	Eksperimen	40,74	±650	±0,5	10,73	26,34
Azizul Hoque, dkk. (2021) [7]	150	12,5	51	3	Air	Simulasi (Solid Edge 2021)	±36.963	18.000	19,85	29.940	81
Dadi Rizaldi (2015)	125	30	25	1	Air (Pompa)	Eksperimen	96,661	400	0,644	7,541	27,96
			19	2				420	0,676	9,166	30,83
Bryan P. dan Ho-Yan (2011)	250	59,5	31	5	Air	Simulasi (Mathlab)	12,692 Per disk	500	0,242 (Per disk)	10,116 (Per disk)	79,7
M. Mirmanto, dkk (2018) [8]	60	25	3	2	Air (Pompa)	Eksperimen	±30,9	702	0,07	2,03	6,57
Peshlakai (2012) [9]	75	34,5	12	1,3	Udara	Eksperimen	±38	na	na	12	31
Rice (1963) [10]	88,9	33,5	9	1,6	Udara	Eksperimen	±7.745	11.800	Na	2,41 HP (1797 W)	23,2
Armstrong (1952) [11]	88,9	47,625	10	na	Uap	Eksperimen	±14.704	7000	0,630 lbs.ft (0,854 Nm)	0,84 HP (626,39 Watt)	4,26
Holland (2015) [12]	46	12,7	8	0,2	Udara	Eksperimen	±870	9100	0,21	74	8,5
Penulis (2022)	100	35	10	5,5	Air (Pompa)	Eksperimen	35,49	313	1,917	11,01	30,99

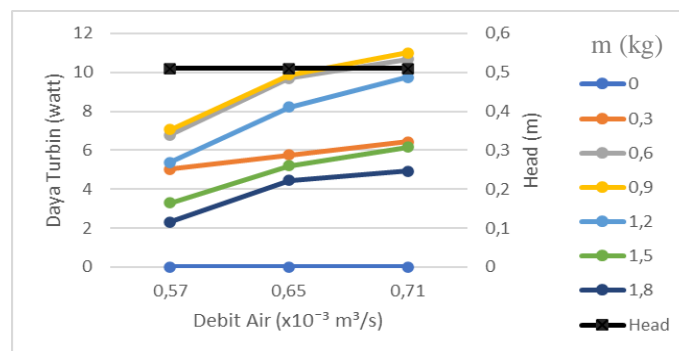
Berdasarkan hasil perbandingan performansi Turbin Tesla pada tabel 4.6 maka dapat dilihat bahwa efisiensi Turbin Tesla berdasarkan simulasi ataupun analisis persamaan dengan nilai yang diasumsikan didapatkan nilai yaitu ±80%. Adapun dalam implementasinya berdasarkan studi literatur dan eksperimen yang dilakukan didapatkan nilai efisiensi berkisar 4,26-31,01% yang dipengaruhi beberapa faktor seperti fluida yang digunakan, kecepatan aliran inlet, tekanan fluida, diameter disk, spacer, jumlah disk, dan faktor lainnya. Oleh karena itu, pengimplementasian Turbin Tesla masih perlu untuk melakukan studi eksperimental lebih lanjut terkait dengan faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi

dari turbin ini agar kedepannya dapat mendekati nilai efisiensi secara teoritis yang telah dilakukan dengan simulasi.



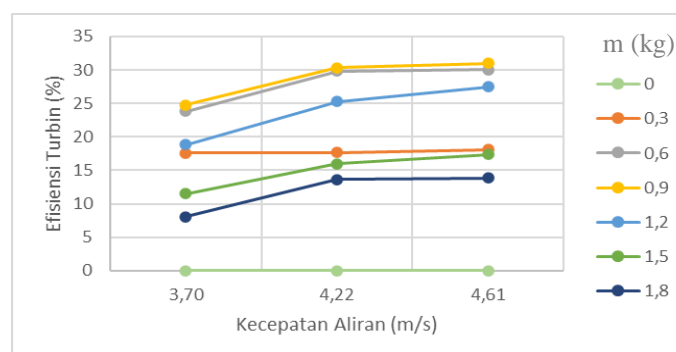
Gambar 4. Grafik Hubungan Putaran (n) terhadap Torsi Turbin (T) dengan Variasi Buka-an Katup

Gambar 4 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan putaran turbin terhadap torsi Turbin Tesla. Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan putaran turbin terhadap peningkatan torsi. Hal tersebut dikarenakan pembebanan massa dilakukan secara bertahap yang mengakibatkan peningkatan torsi sehingga menurunkan putaran turbin.



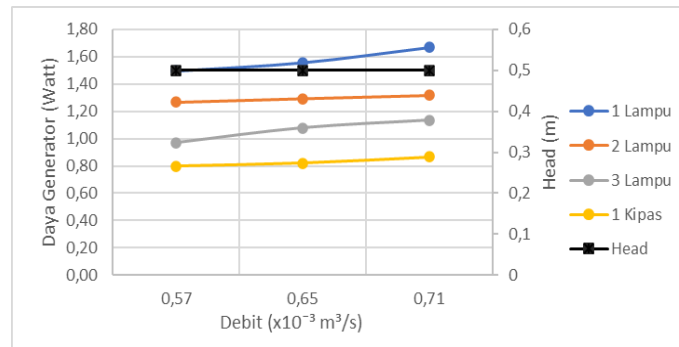
Gambar 5. Grafik Hubungan Daya Turbin (P_T) dan Head (h) terhadap Debit Air (Q) dengan Variasi Pembebanan

Gambar 5 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan daya turbin dan head terhadap debit air yang masuk pada Turbin Tesla. Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan daya turbin seiring dengan peningkatan debit air yang masuk pada turbin. Selain itu, nilai head cenderung konstan terhadap debit air masuk ke turbin. Adapun nilai daya turbin tertinggi terjadi pada kondisi pembebanan massa 0,9 kg yang mengindikasikan bahwa turbin tersebut dapat mencapai performa maksimalnya ketika dikopel dengan generator yang memiliki torsi sekitar 0,785 Nm (Pembebanan 0,9 kg).



Gambar 6 Grafik Hubungan Efisiensi Turbin (η_T) terhadap kecepatan aliran (v) dengan Variasi Pembebanan

Gambar 6 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan efisiensi turbin terhadap kecepatan aliran yang masuk pada Turbin Tesla. Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai efisiensi terhadap peningkatan nilai kecepatan aliran untuk nilai pembebanan massa yang sama. Berdasarkan data tersebut, maka efisiensi turbin masih dapat mengalami peningkatan jika kecepatan aliran yang masuk ke turbin lebih tinggi.



Gambar 7. Grafik Hubungan Daya Generator (P_G) dan Head (h) terhadap Debit Air (Q) dengan Variasi Beban

Gambar 7 merupakan grafik yang menunjukkan nilai perbandingan antara daya generator terhadap dan head terhadap debit air dengan variasi beban. Berdasarkan grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin besar debit air maka semakin besar daya yang dibangkitkan walaupun kenaikannya tidak terlalu signifikan. Adapun pada grafik diatas dapat dilihat bahwa penambahan beban lampu dapat menyebabkan penurunan daya yang dihasilkan generator dikarenakan ketika beban ditambahkan menyebabkan putaran generator menjadi turun sehingga daya yang dihasilkan berkurang.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data yang telah diperoleh dari hasil pembuatan dan pengujian alat maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe turbin tesla telah berhasil dibuat menggunakan disk yang terbuat dari plat stainless steel berjumlah 10 dengan ketebalan 1 mm, spacer berjumlah 9 dengan ketebalan 5,5 mm, dan sistem pengunci berjumlah 2 dengan ketebalan 8,5 mm. berdasarkan hasil analisis perencanaan didapatkan bahwa pada jarak 5,72 cm dari titik masuknya air telah membentuk boundary layer secara maksimal dan diameter outlet yang digunakan pada desain turbin yaitu 13 mm.
2. Hasil penelitian terhadap prototipe Turbin Tesla yang dibuat didapatkan nilai efisiensi Turbin Tesla mencapai 30,99% dengan daya turbin yang dihasilkan pada kondisi tersebut yaitu 11,01 Watt, nilai torsi sebesar 0,784 Nm dan putaran turbin 134 rpm pada bukaan katup 100% dengan debit sebesar $0,71 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.
3. Hasil penelitian terhadap prototipe Turbin Tesla yang dibuat didapatkan daya generator yang dapat dibangkitkan oleh Turbin Tesla ketika di kopel dengan generator mencapai 1,6684 Watt pada kondisi bukaan katup turbin 100% dengan putaran generator mencapai 479 rpm dan melayani 1 beban lampu 5 Watt. Adapun untuk percobaan tanpa beban, generator dapat menghasilkan tegangan hingga 24 V DC.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. (2014). Kebijakan Pengembangan Tenaga Air (Ferial, Ed.). Ebtke.esdm.go.id. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2014/07/02/628/kebijakan.pengembangan.tenaga.air>
- [2] Rizaldi, Dadi. (2015). Rancang Bangun Turbin Tesla Sebagai Turbin Air Dan Analisa Perbandingan Variasi Jumlah Disk Dan Jarak Antar Disk. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan.

- [3] Ho-Yan, B. P. (2011). Tesla turbine for pico hydro applications. *Guelph Engineering Journal*, 4, 1-8.
- [4] Kestin, J., Sokolov, M., & Wakeham, W. A. (1978). Viscosity of liquid water in the range– 8 C to 150 C. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 7(3), 941-948.
- [5] Schlichting, Herman. (1979). *Boundary-Layer Theory* (Kestin, J. Terjemahan). United States of America.
- [6] Andres, J. F., & Loretero, M. E. (2019). Performance of tesla turbine using open flow water source. *Int J Eng Res Technol*, 12, 2191-9.
- [7] Hoque, Azizul, dkk. (2021) "Design and Development of a Small-Capacity Tesla Turbine for Rural Applications." 2nd International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2021). Atlantis Press.
- [8] Mirmanto, M., Mulyanto, A., & Anugerah, B. (2018). Turbin Air Tesla dengan Variasi Diameter Lubang Keluaran. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 19(2), 71-78.
- [9] Peshlakai, A. (2012). *Challenging the versatility of the Tesla turbine: working fluid variations and turbine performance*. Arizona State University.
- [10] Rice, W. (1965). *An analytical and experimental investigation of multiple-disk turbines*, Arizona State University.
- [11] Armstrong, J. H. (1952). *An investigation of the performance of a modified Tesla turbine* (Doctoral dissertation, Georgia Institute of Technology).
- [12] Holland, K. (2016). *Design, construction and testing of a Tesla Turbine* (Doctoral dissertation, Laurentian University of Sudbury).