

PERANCANGAN TURBIN KAPLAN PADA PINTU AIR GUNUNGSARI SUNGAI KALIMAS SURABAYA

Tulus Setiawan¹⁾, Teng Sutrisno²⁾

Program Studi Teknik Mesin Universitas Kristen Petra ^{1,2)}

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia ^{1,2)}

Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}

E-mail : tulussetiawan92@gmail.com¹⁾, tengsutrisno@petra.ac.id²⁾

ABSTRAK

Turbin air dikembangkan pada abad ke 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin kaplan merupakan salah satu jenis turbin reaksi yang prinsip kerjanya memanfaatkan energi kinetik air sebagai energi listrik tenaga air. Permasalahan pada saat ini adalah adanya potensi sungai Kalimas Surabaya yang memiliki energi kinetik tinggi (debit) namun head rendah, memungkinkan untuk diaplikasikan turbin kaplan sebagai salah satu pembangkit listrik Micro-Hydro (PLMH). Menurut sumber data Tahun 2014 dari Perum .Jasa Tirta, sungai ini memiliki debit terendah pada nilai 5,21 m³/s dan head 4,8 m. Dari data tersebut potensi yang ada pada sungai tersebut sebesar 183,99 Kw.

Pada penelitian ini turbin yang digunakan jenis kaplan dengan bentuk sudu menggunakan profile naca no 624, 387, dan 490. Jumlah sudu yang digunakan adalah 3 buah. Setelah mendapatkan koordinat sudu secara teoritis kemudian di lakukan analisa melalui simulasi dengan perangkat Computational Fluid Dynamic (CFD). Dari hasil simulasi kemudian didapatkan karakteristik turbin dengan tambahan tip dan tanpa tip

Hasil penelitian ini didapatkan bahwa turbin yang digunakan adalah jenis turbin kaplan dapat menghasilkan daya sebesar 83,87 watt. Untuk turbin prototype dapat menghasilkan daya sebesar 0,268 watt, sedangkan hasil simulasi prototype menghasilkan daya 0,31 watt.

Kata kunci : Turbin Air, Mekanika Fluida, Teknik Mesin.

1. Pendahuluan

Pada saat ini dunia sedang mengalami krisis energi dan khususnya Indonesia mengalami krisis energi listrik secara nasional. Listrik merupakan salah satu kebutuhan hidup manusia yang utama, sehingga diperlukan suatu instalasi pembangkit tenaga listrik yang *renewable*. Berbagai macam jenis pembangkit listrik telah banyak dibuat mulai dari turbin gas, turbin uap, turbin air, kincir air dan solar cell dengan berbagai karakteristik dan keuntungan masing-masing.

Turbin air dikembangkan pada abad ke 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanis. Energi mekanis diubah dengan generator listrik menjadi tenaga listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi kinetik menjadi energi mekanis poros. Turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada head, debit putaran turbin yang berbeda, bentuk sudu dari turbin akan mempengaruhi bentuk profile sudu.[1]

Air sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui dan persediaanya yang banyak di Indonesia mendorong lahirnya pusat pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Untuk itu dibuat berbagai jenis turbin air untuk mengatasi masalah kekurangan energi yang terjadi tersebut. Sungai Kalimas Surabaya berpotensi menghasilkan sumber *renewable energy* melalui karakteristik *head* dan debit.

Permasalahan pada saat ini adalah adanya potensi

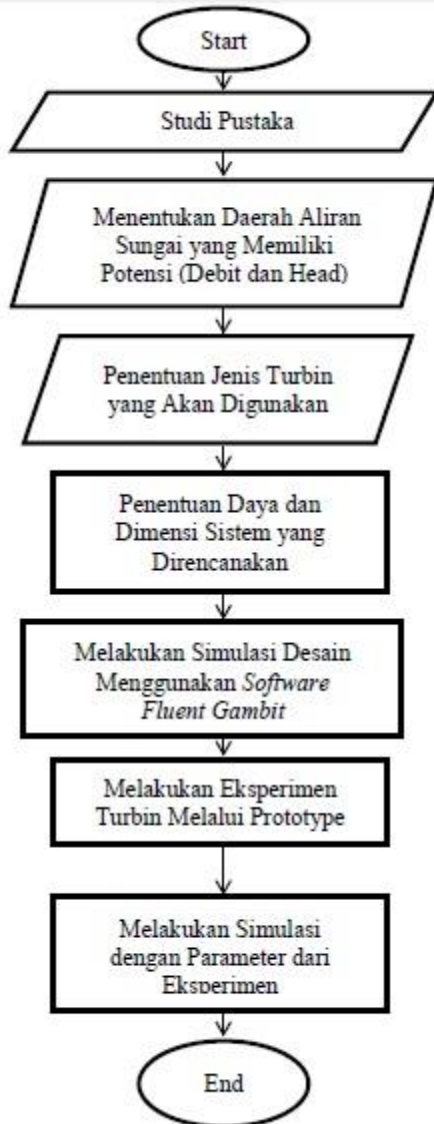
sungai Kalimas yang memiliki energi kinetik tinggi (debit) namun head rendah, memungkinkan untuk diaplikasikan turbin air sebagai salah satu pembangkit listrik micro-hydro (PLMH). Setelah mendapatkan hasil titik koordinat *blade* didapatkan bentuk yang kurang maksimal, karena itu dilakukan penambahan *tip-blade* untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan tersebut.

2. Metode Penelitian

Studi literatur dan lapangan merupakan hal yang wajib sebelum mendesain sebuah turbin air. Hal-hal yang perlu ditinjau antara lain : tempat dipasangnya turbin air, karakteristik sungai, debit dan head pada sungai, jenis turbin air yang sesuai dengan sungai Kalimas Surabaya.

Pemodelan sudu telah dilakukan kemudian dilakukan simulasi menggunakan Fluent dan Gambit. Untuk *meshing* dilakukan dengan menggunakan Gambit dengan bentuk *meshingnya* adalah *quadpave*. Sedangkan simulasi menggunakan Fluent. Simulasi *FLUENT* dengan *viscous model RNG K-ε* serta *Moving Frame Reference* guna mengkondisikan turbin air ini berputar saat adanya inputan *massflow* sebesar 5,1 kg/s.

Berikut adalah alur diagram penelitian :



Gambar 1. Alur Penelitian

3. Pembahasan

3.1 Jenis Turbin

Jenis turbin yang akan digunakan pada suatu daerah harus memperhitungkan faktor-faktor keadaan alam tersebut. Karena hal ini akan mempunyai pengaruh besar terhadap efisiensi dari jenis turbin yang akan digunakan. Jenis turbin yang sesuai dengan debit 5 kg/s dan head 4,8m adalah turbin kaplan.

3.2 Dimensi Utama Sudu Jalan

Setelah mendapatkan nilai daya dan putaran turbin, maka dapat menentukan diameter utama sudu. Perhitungan diameter:

$$D = \frac{n' \cdot \sqrt{H}}{n}$$

$$D = \frac{180 \cdot \sqrt{4,8}}{785,6}$$

$$D = 0,501 \text{ meter}$$

(untuk kaplan dengan $N_s = 1500$, maka

n' yang digunakan adalah 180)

3.3 Diameter Hub (d)

Diameter hub (d) dapat diketahui dengan menggunakan rumus perbandingan antara diameter hub dengan diameter sudu jalan (D).

$$d = 0,35 D$$

$$d = 0,35 \times 0,501 \text{ m}$$

$$d = 0,175 \text{ m}$$

3.4 Pembagian Penampang Sudu Jalan

Pembagian penampang sudu jalan dimaksudkan agar analisa hasil perhitungan dan penggambaran bentuk sudu jalan lebih akurat. Untuk itu sudu jalan dibagi menjadi 4 bagian silindris dengan diameter masing-masing mempunyai selisih satu dengan lainnya (s) adalah sama dengan :

$$s = \frac{D-d}{4}$$

$$s = \frac{0,501 - 0,175}{4}$$

$$s = 0,0815 \text{ m}$$

$$s = 81,5 \text{ mm}$$

3.5 Torsi dan Daya Teoritis

Perhitungan torsi ini ditinjau dengan jari-jari rata-rata dari turbin yaitu pada penampang C dengan $r = 0,169 \text{ m}$.

$$\tau = \rho \times Q \times r_m (w_E - w_A) \quad [2]$$

$$\tau = 1000 \times 5,21 \times 0,169 \times (2,1 - 0,75)$$

$$\tau = 1188 \text{ Nm}$$

Kemudian daya dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = \tau \cdot \omega$$

$$P = 1188 \text{ Nm} \times 82,205 \text{ rad/detik}$$

$$P = 97,65 \text{ kW}$$

3.6 Perhitungan Sudu

Hasil perhitungan dapat ditunjukkan pada tabel berikut

Tabel 1. Perhitungan Sudu

No	Besaran	Satuan	Penampang				
			A-A	B-B	C-C	D-D	E-E
1	Diameter	Meter	0.18	0.26	0.34	0.42	0.50
2	U	m/det	6.71	10.53	13.91	17.22	20.58
3	$C_2=C_m=C_s$	m/det	6.44	6.44	6.44	6.44	6.44
4	W_r	m/det	7.26	10.64	13.92	17.48	20.55
5	β_r	degree	60.1	36.37	26.93	21.49	17.86
6	θ , asumsi	degree	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7	$t = \pi \cdot d / z$	mm	183.26	268.08	353.95	438.78	524.65
8	(l/t) asumsi		1.00	0.85	0.70	0.55	0.40
9	$l = (l/t) \cdot t$		183	227.8	247.7	241.3	209.8
10	C_t		1.98	1.01	0.71	0.57	0.57
11	Type Airfoil		624	387	490	490	490
12	$(Y_{maks}/l)s$		0.16	0.15	0.10	0.10	0.10
13	F		1.00	0.80	1.00	1.00	1.00
14	(Y_{maks}/l)		0.16	0.12	0.10	0.10	0.10
15	Y_{maks}	mm	29.3	27.44	23.79	23.17	20.15
16	A	degree	14.5	5.21	3.13	1.63	1.59
17	$(\beta_r - \alpha)$	degree	45.6	31.16	23.80	19.86	16.27
18	θ	degree	1.24	1.09	1.01	1.01	1.01
19	C_D		0.04	0.02	0.01	0.01	0.01

3.7 Koordinat Titik Sudu Jalan

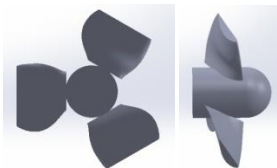
Untuk titik koordinat bentuk sudu dapat ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Koordinat titik sudu jalan

A-A			B-B			C-C			D-D			E-E		
624.0			387.0			490.0			490.0			490.0		
183.3			227.9			247.8			241.3			209.9		
x'	y'	y0'	x'	y'	y0'	x'	y'	y0'	x'	y'	y0'	x'	y'	y0'
0.0	7.3	7.3	0.0	3.6	3.6	0.0	7.9	7.9	0.0	7.7	7.7	0.0	6.7	6.7
2.3	13.1	4.1	2.8	6.6	1.5	3.1	15.5	3.7	3.0	15.1	3.6	2.6	13.1	3.1
4.6	15.6	3.0	5.7	8.4	0.9	6.2	19.0	2.6	6.0	18.5	2.5	5.2	16.1	2.2
9.2	19.1	1.7	11.4	10.8	0.3	12.4	23.3	1.4	12.1	22.7	1.3	10.5	19.7	1.2
13.7	21.5	1.1	17.1	12.8	0.0	18.6	26.9	0.6	18.1	26.2	0.6	15.7	22.8	0.5
18.3	23.5	0.7	22.8	14.0	0.0	24.8	29.6	0.2	24.1	28.8	0.2	21.0	25.1	0.2
27.5	26.3	0.3	34.2	15.8	0.4	37.2	33.2	0.0	36.2	32.3	0.0	31.5	28.1	0.0
36.7	28.0	0.1	45.6	16.8	0.7	49.6	35.7	0.0	48.3	34.8	0.0	42.0	30.2	0.0
55.0	29.3	0.0	68.4	17.3	1.7	74.3	37.3	0.5	72.4	36.3	0.5	63.0	31.6	0.4
73.3	28.2	0.0	91.1	16.5	1.5	99.1	36.2	1.0	96.5	35.2	1.0	83.9	30.6	0.8
91.6	25.7	0.0	113.9	15.6	1.5	123.9	33.1	1.1	120.7	32.2	1.1	104.9	28.0	0.9
110.0	22.0	0.0	136.7	13.6	1.1	148.7	28.1	1.1	144.8	27.4	1.1	125.9	23.8	0.9
128.3	17.4	0.0	159.5	11.0	0.7	173.4	22.1	1.1	168.9	21.5	1.1	146.9	18.7	0.9
146.6	12.1	0.0	182.3	8.0	0.3	198.2	15.2	0.7	193.1	14.8	0.7	167.9	12.9	0.6
164.9	6.5	0.0	205.1	4.6	0.0	223.0	8.1	0.4	217.2	7.8	0.4	188.9	6.8	0.3
174.1	3.7	0.0	216.5	2.6	0.1	235.4	4.3	0.1	229.3	4.2	0.1	199.4	3.7	0.1
183.3	0.0	0.0	227.9	0.3	0.3	247.8	0.4	0.4	241.3	0.4	0.4	209.9	0.3	0.3

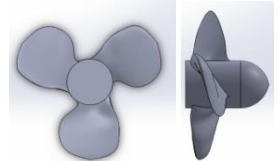
3.8 Bentuk Geometri Sudu

Dari data tabel 2 dilakukan penggambaran model sudu menjadi bentuk 3D menggunakan Solidworks. Bentuk dari sudu dapat ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Bentuk Sudu Berdasarkan perhitungan

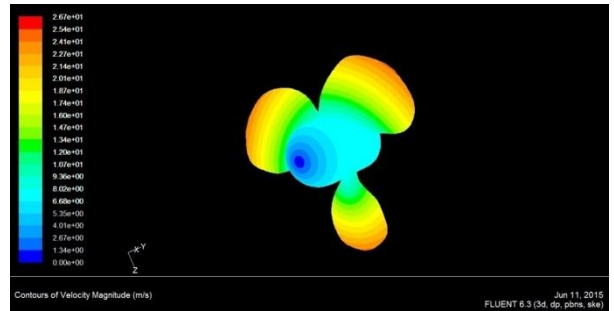
Bentuk sudu dari hasil perhitungan tersebut mendapatkan hasil yang kurang halus. Terlihat masih terdapat banyak celah pada sudu-sudu tersebut, maka dilakukan penambahan tip pada sudu. Hasil penambahan tip pada sudu ditunjukkan pada gambar 3



Gambar 3. Bentuk Sudu dengan Penambahan Tip.

3.9 Hasil Simulasi dengan Tip-Blade

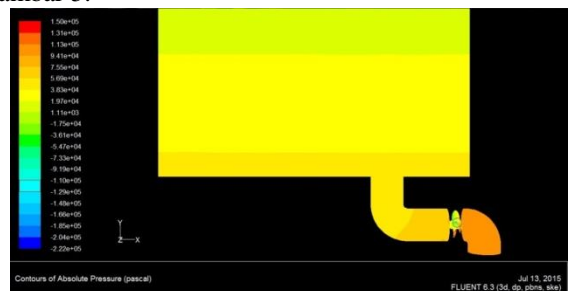
Hasil yang didapat dari simulasi adalah torsi pada blade dan kavitas yang terjadi pada blade. Perhitungan simulasi melalui Fluent dapat konvergen pada iterasi ke-776. Untuk hasil simulasi pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 4. Terlihat pada gambar tersebut, kecepatan paling besar berada pada ujung turbin.



Gambar 4. Hasil Display Plot Velocity

Kavitas

Dari hasil simulasi dapat terlihat bagian sudu turbin yang mengalami kavitas. Untuk menganalisa bagian turbin yang mengalami kavitas ditunjukkan pada gambar 5.

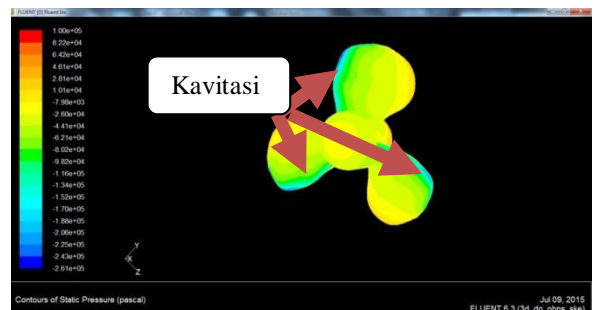


Gambar 5. Absolute pressure

Kavitas dapat terjadi akibat adanya pressure drop yang melewati batasnya. Saat air masuk kedalam turbin, dari simulasi didapat nilai pressure tersebut adalah 120,4 KPa. Sedangkan pada bagian turbin mengalami pressure sebesar 96,12 Kpa. Nilai P_{sat} pada suhu 25°C adalah 3,169 Kpa [2]. Maka dari data yang ada dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\begin{aligned} \Delta P &= [P_{\text{Sebelum masuk turbin}} - P_{\text{turbin}}] \\ \Delta P &= [120,4 \text{ KPa} - 96,12 \text{ KPa}] \\ \Delta P &= 24,28 \text{ KPa} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa P_{turbin} lebih besar dari P_{sat} , maka pada bagian turbin tersebut mengalami kavitas. Bagian yang mengalami kavitas ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil Display Plot Dynamic Pressure

3.10 Validasi Melalui Eksperimen

Untuk keperluan eksperimen maka turbin harus diskala. Pada persamaan tersebut dibutuhkan nilai ω_2 yaitu senilai 200 rpm untuk memutar generator eksperimen. Hasil perhitungan tersebut dapat ditunjukkan sebagai berikut :

$$\frac{5,21}{785,6 \times 0,501^3} = \frac{0,0035}{200 D^3}$$

$$\text{maka, } D_2 = \sqrt[3]{\frac{0,0035 \times 785,6 \times 0,501^3}{5,21 \times 200}}$$

$$D_2 = 0,073 \text{ meter.}$$

Diameter yang digunakan dalam eksperimen adalah 0,073 meter.

Dari eksperimen didapatkan :

- a. Putaran Turbin:
Hasil pengukuran putaran turbin menggunakan tachometer sebagai berikut:

Tabel 3. Putaran Turbin

Percobaan ke-	Putaran turbin (Rpm)
1	486
2	548
3	600
4	535
Rata-rata	542,25

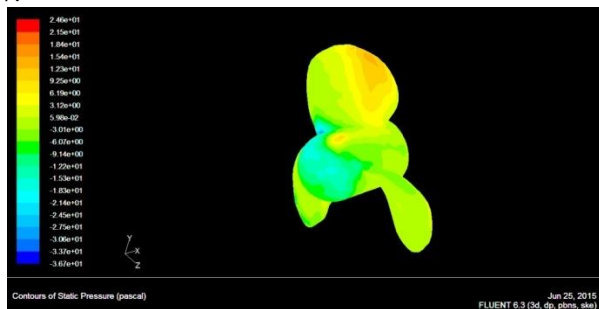
- b. Arus listrik
Hasil pengukuran arus listrik dari putaran turbin ke dinamo adalah :

Tabel 4. Daya yang dihasilkan

Percobaan ke-	Daya (watt)
1	0,253
2	0,273
3	0,283
4	0,264
Rata-rata	0,268

3.11 Hasil CFD Melalui Data Eksperimen

Dari data eksperimen, maka dilakukan validasi melalui CFD. Data yang digunakan adalah diameter turbin, debit yang digunakan, dan putaran turbin. Hasil dari simulasi dapat ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Simulasi Dengan Parameter Percobaan

Moment torsi yang didapat dari simulasi ini adalah 0,00057 N.m. Maka untuk daya yang dihasilkan adalah :

$$P = \tau \cdot \omega$$

$$P = 0,00057 \times 542,25$$

$$P = 0,31 \text{ watt}$$

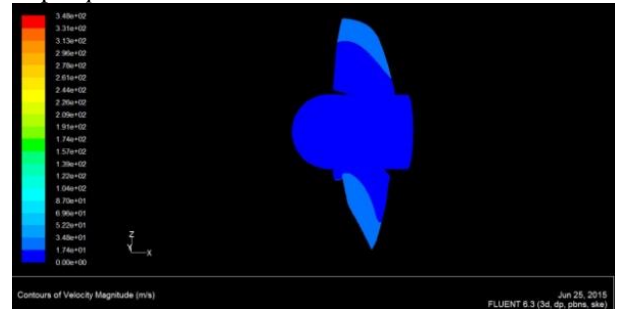
Perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen dapat ditunjukkan pada tabel 10. Dari hasil tabel tersebut menunjukkan bahwa nilai daya yang dihasilkan dari eksperimen dengan simulasi memiliki nilai yang hampir sama. Nilai eror yang terjadi adalah 16,12%.

Tabel 5. Perbandingan Daya dari Hasil Eksperimen dengan Simulasi

Hasil eksperimen (watt)	Hasil Simulasi (watt)	Nilai Error (%)
0,268	0,310	16,12

3.12 Hasil Simulasi Turbin Tanpa Tip

Penelitian selanjutnya adalah bagaimana pengaruh penambahan tip pada sudu turbin. Dari simulasi tersebut didapatkan bahwa penggunaan *tip blade* berpengaruh besar terhadap kinerja dari turbin. Gambar 8 dan tabel 6 menunjukkan hasil simulasi blade tanpa *tip blade*



Gambar 8. Hasil simulasi tanpa penambahan *tip blade*.

Tabel 6 Perbandingan pengaruh *tip-blade*

Hasil dengan <i>Tip-Blade (Moment -N.m)</i>	Hasil Tanpa <i>Tip-Blade (Moment -N.m)</i>
1020	701.5

3.13 Perbandingan *Tip-Blade* dengan Tanpa *Tip-Blade*

Pengaruh penambahan tip pada turbin yang diamati adalah torsi yang dihasilkan dari turbin tersebut. Perbandingan torsi tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 7 dimana nilai penambahan tip pada blade menghasilkan torsi yang lebih besar.

Tabel 7. Perbandingan pengaruh *tip-blade*

Hasil dengan <i>Tip-Blade (Moment -N.m)</i>	Hasil Tanpa <i>Tip-Blade (Moment -N.m)</i>
1020	701.5

3.11 Perbandingan Daya Hasil Simulasi Terhadap Daya Hasil Teoritis dan Daya Hasil Simulasi

Untuk mengetahui hasil dari penelitian ini diperlukan sebuah perbandingan. Perbandingan yang dapat dilakukan adalah membandingkan nilai hasil daya pada simulasi dengan daya terhadap hasil teoritis. Data

daya yang didapatkan secara teoritis ditampilkan pada tabel 8 sebagai perbandingan terhadap hasil simulasi.

Tabel 8. Daya dari Hasil Teoritis dengan Simulasi

Hasil Teoritis (watt)	Hasil Simulasi (watt)	Nilai Error (%)
83870	93506	10,05%

3.14 Simulasi dengan Memvariasikan Nilai Debit dan Putaran Turbin.

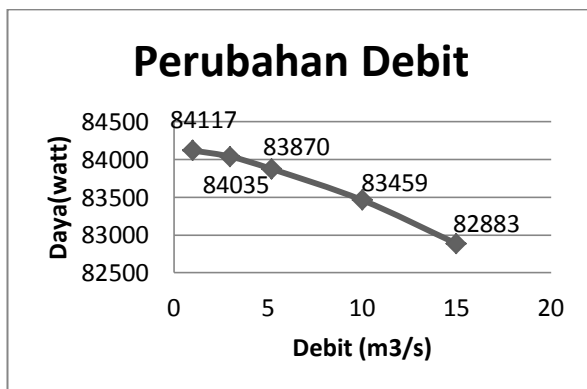
Penelitian yang kemudian dilakukan adalah melakukan variasi nilai debit dan putaran pada turbin.

- Mengganti nilai debit

Simulasi ini dilakukan dengan mengganti nilai debit namun turbin rpm konstan. Hasil dari percobaan ini dapat ditampilkan pada tabel 9 dan grafik 1.

Tabel 9. Perubahan Debit

Debit (m ³ /det)	Daya (watt)
1	84117
3	84035
5.21	83870
10	83459
15	82883



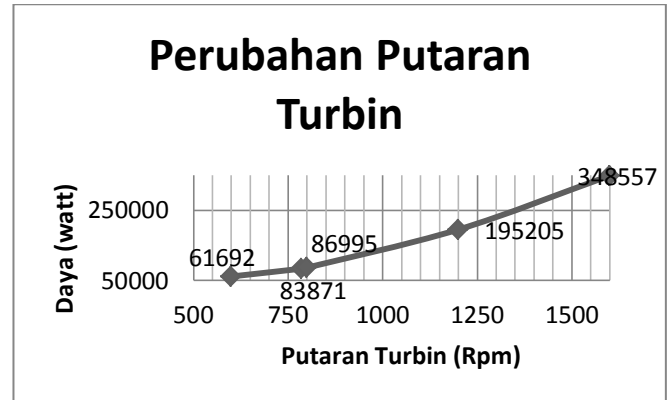
Grafik 1. Hasil Perubahan Debit.

- Mengganti nilai putaran turbin.

Percobaan ini dilakukan dengan mengganti nilai putaran turbin namun debit konstan. Hasil dari percobaan ini dapat ditampilkan pada tabel 7 dan grafik 2

Tabel 7. Perubahan Putaran Turbin

Putaran turbin (rpm)	Daya (watt)
600	81157.19
785	83870.66
800	86995.25
1200	195204.8
1600	348556.6



Grafik 2. Hasil Perubahan Putaran Turbin

Dari hasil percobaan ini, dapat diketahui hasil mengganti putaran turbin dapat meningkatkan daya pada turbin. Hal ini dikarenakan daya didapatkan dari persamaan $P = \tau \cdot \omega$ [4]

4. Kesimpulan

Sungai Kalimas berpotensi memiliki sumber daya listrik sebesar 183 kW. Dengan karakter sungai tersebut, jenis turbin yang sesuai adalah turbin kaplan. Ukuran diameter turbin yaitu sebesar 50,1 cm. Turbin kaplan tersebut secara teoritis dapat menghasilkan daya sebesar 83 kW. Setelah dilakukan simulasi turbin tersebut menghasilkan daya sebesar 93 kW. Nilai error yang terjadi sebesar 10,05 %.

Hasil penelitian ini didapatkan bahwa dengan penambahan tip blade berpengaruh besar terhadap kinerja turbin. Moment yang dihasilkan dengan penambahan tip-blade meningkat dari 700,38 N.m menjadi 1020 N.m.

5. Refrence

1. Darmin. (1993). *Perencanaan Turbin Air Kaplan Untuk Pembangkit Tenaga Listrik*. Laporan Tugas Akhir. Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristern Petra.
2. Frtiz Dietzel. (1980). *TURBINEN, PUMPEN UND VERDICHTER* Jerman : Vogel-Verlag, Wurzburg.
3. Yunus A.Cengel and Michael Boles. (1994) *Thermodynamics An Engineering Approach, Second Edition*, McGraw-Hill, Inc.
4. S.L, C.A. Hall Dixon. 2010. *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery, 6th ed.* Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, Elsevier.