

STUDI NUMERIK KARAKTERISTIK *AXIAL TURBINE* AKIBAT PENAMBAHAN *TIP BLADE*

Tulus Setiawan¹⁾, Teng Sutrisno²⁾

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

Jalan. 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 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.

Kata kunci : Turbin Air, Mekanika Fluida, Renewable Energy, 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. Darmin [1].

Turbin air dikembangkan pada abad ke 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik. Turbin air mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanis. Fritiz Dietzel [2]. 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. Yunus A. Cengel and Michael Boles[3]. Pada head, debit putaran turbin yang berbeda, bentuk sudu dari turbin akan mempengaruhi bentuk profile sudu.

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. Hall Dixon [4]. 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.

Selanjutnya melakukan perhitungan diameter utama turbin yang sesuai dengan karakter sungai Kalimas Surabaya. Dari diameter tersebut dapat dilakukan perhitungan titik-titik koordinat bentuk *blade*. Hasil perhitungan tersebut kemudian dibuat bentuk geometri dengan bantuan *software Solidworks*.

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 pada Gambar 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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. Dari data



head dan debit, jenis turbin yang sesuai dengan karakteristik dari sungai Kalimas Surabaya adalah Turbin Kaplan.



Gambar 1. Alur Penelitian

Dimensi Utama Sudu Jalan

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

$$D = \frac{n' \cdot \sqrt{H}}{180 \cdot \sqrt{4,8}}$$

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

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

(untuk Kaplan dengan $N_s = 1500$, maka n' yang digunakan adalah 180)

Diameter Hub (d)

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

$$d = 0,35 D$$

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

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

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.

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

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

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

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

Torsi dan Daya Teoritis

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

$$\tau = \rho \times Q \times r_m (w_E - w_A)$$

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

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

Kemudian daya dapat dihitung dengan persamaan:

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

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

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

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	α	degree	14.5	5.21	3.13	1.63	1.59
17	$(\beta - \alpha)$	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

Koordinat Titik Sudu Jalan

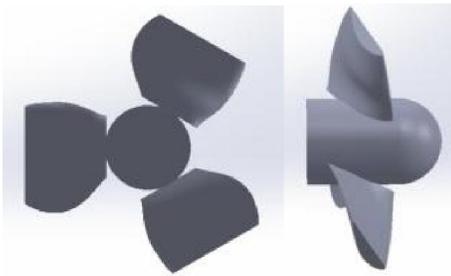
Untuk titik koordinat bentuk sudu dapat ditunjukkan pada tabel berikut.

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'												
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	17.5	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

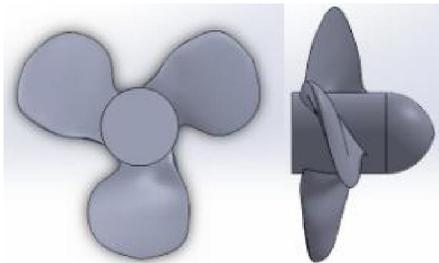
Bentuk Geometri Sudu

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

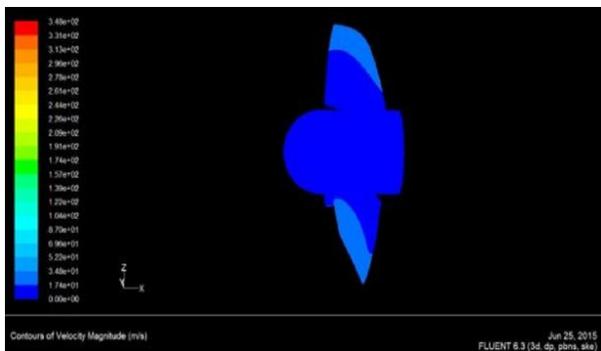
Bentuk sudu dari hasil perhitungan tersebut mendapatkan hasil yang kurang halus. Terlihat masih terdapat banyak celah pada sudu-sudu tersebut, maka dilakukan penambahan tip pada sudu. Hasil penambahan tip pada sudu ditunjukkan pada Gambar 3



Gambar 3. Bentuk Sudu dengan Penambahan Tip.

Hasil Simulasi Turbin Tanpa Tip

Penelitian selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan turbin tanpa adanya penambahan tip.

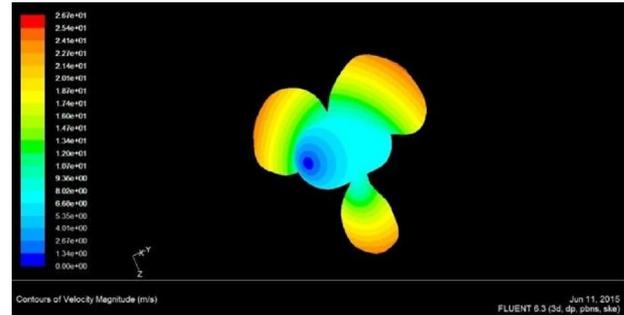


Gambar 4. Hasil simulasi tanpa penambahan tip blade.

Dari simulasi dengan fluent, didapatkan nilai torsi dari turbin tersebut. Nilai moment pada simulasi penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4. Data tersebut didapat besar *moment* yang didapat sebesar 701.5 Nm.

Hasil Simulasi dengan Tip-Blade

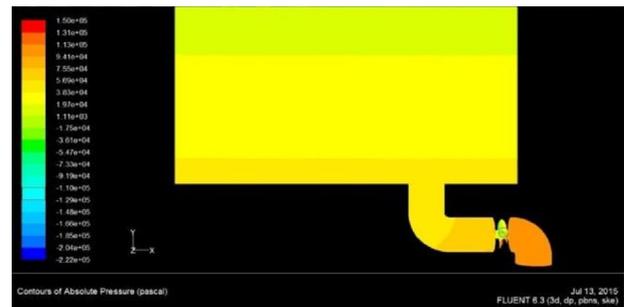
Hasil yang didapat dari simulasi adalah torsi pada blade dan kavitasi yang terjadi pada blade. Perhitungan simulasi melalui Fluent dapat konvergen pada iterasi ke-776. Untuk hasil simulasi pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 6. Terlihat pada gambar tersebut, kecepatan paling besar berada pada ujung turbin.



Gambar 6. Hasil *Display Plot Velocity*

Kavitasi

Dari hasil simulasi dapat terlihat bagian sudu turbin yang mengalami kavitasi. Untuk menganalisa bagian turbin yang mengalami kavitasi ditunjukkan pada Gambar 7.

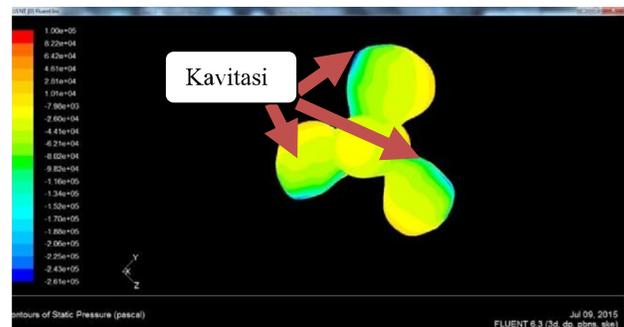


Gambar 7. *Absolute pressure*

Kavitasi 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. Maka dari data yang ada dapat dinyatakan dalam persamaan:

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

Dari perhitungan tersebut didapatkan bahwa P_{turbin} lebih besar dari P_{sats} maka pada bagian turbin tersebut mengalami kavitasi. Bagian yang mengalami kavitasi ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil *Display Plot Dynamic Pressure*

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 3 dimana nilai penambahan tip pada blade menghasilkan torsi yang lebih besar.

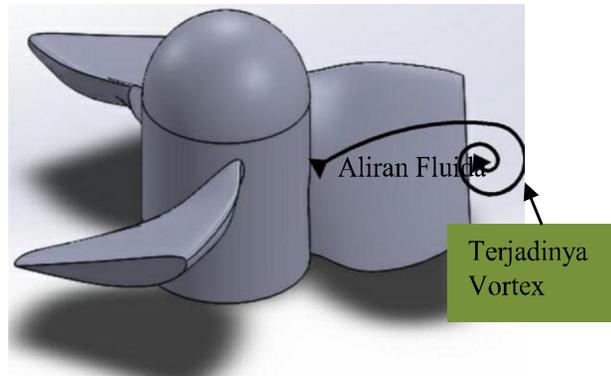


Tabel 3. Perbandingan pengaruh *tip-blade*

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

Analisa

Pengaruh penambahan tip disini dapat meningkatkan nilai torsi dari blade. Hal ini dikarenakan aliran pada turbin dapat berkontribusi dengan baik. Berbeda dengan aliran turbin tanpa adanya penambahan tip. Pada turbin tanpa tip, terjadi vortex pada bagian *upper blade*.



Gambar 9. Analisa Vortex

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.

DAFTAR PUSTAKA

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.