

ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SUDU TURBIN KAPLAN TERHADAP PERFORMA PADA RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Alfian Kharisma Pradana Putra¹⁾, Abdul Ba'is²⁾, Gatut Priyo Utomo³⁾
Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

*Email : alfian.kharisma.2410@gmail.com¹⁾, abais401@gmail.com²⁾, gatut_pu@untag-sby.ac.id³⁾

ABSTRAK

Tenaga listrik menjadi kebutuhan penting, semua peralatan membutuhkan energi listrik. Meningkatnya jumlah penduduk kebutuhan energi listrik semakin meningkat, sehingga energi terbarukan sangat dibutuhkan. Pada Kawasan Wisata Surodadu Pacet terdapat aliran air terjun setinggi 4 meter yang berpotensi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Sehingga peneliti akan merancang alat mikrohidro dan menganalisa pengaruh jumlah sudu dan sudut sudu turbin kaplan terhadap performa dengan tujuan mendapatkan variasi terbaik. Metode dalam penelitian ini meliputi pembuatan alat, pengambilan data, dan analisa. Variabel terdiri dari jumlah sudu turbin 3 sudu, 4 sudu, 5 sudu serta sudut sudu turbin 40°, 50°, 60°. Hasil analisa didapat kesimpulan bahwa hasil performa alat mikrohidro dengan turbin variasi jumlah sudu 5 dan sudut sudu 60° menghasilkan daya generator terbesar yaitu 69,6 watt menghasilkan efisiensi turbin terbesar yaitu 22,4%, dan efisiensi PLTMH terbesar yaitu 31,6%. Hal ini dikarenakan air yang masuk dapat sempurna menghantam seluruh bagian sudu sehingga gaya air menumbuk sudu semakin meningkat sehingga menghasilkan kecepatan putaran yang tinggi. Meningkatnya putaran dari turbin maka daya dan efisiensi akan terjadi peningkatan.

Kata-kata kunci: PLTMH, Energi Alternatif, Air Terjun, Turbin Kaplan, Jumlah Sudu, Sudut Sudu.

ABSTRACT

Electric power is an important need, all equipment requires electrical energy. The increasing number of population needs electrical energy is increasing, so renewable energy is needed. In the Surodadu Pacet tourist area there is a 4-meter waterfall flow that has the potential for microhydro power plants. So the researchers will design a microhydro tool and analyze the effect of the number of blades and blade angle of the kaplan turbine on performance with the aim of getting the best variation. Methods in this study include the manufacture of tools, data collection, and analysis. Variables consist of the number of turbine blades 3 blades, 4 Blades, 5 blades and the angle of the turbine blades 40°, 50°, 60°. The results of the analysis concluded that the results of the performance of microhydro equipment with a turbine variation of the number of blades 5 and the angle of the blade 60° generating the largest generator power is 69.6 Watts generating the largest turbine efficiency is 22.4%, and the largest PLTMH efficiency is 31.6%. This is because the incoming water can perfectly hit all parts of the blade so that the force of water mashing the blade increases resulting in a high rotational speed. Increasing the rotation of the turbine power and efficiency will increase.

Keywords: PLTMH, Alternative Energy, Waterfall, Kaplan Turbine, Number of Blades, Angle of Blades.

Pendahuluan

Tenaga listrik merupakan kebutuhan penting dalam kehidupan, setiap peralatan yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari membutuhkan energi listrik. Meningkatnya jumlah penduduk dan pembangunan di Indonesia maka kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Jika peningkatan ini tidak sejalan dengan penyediaan pembangkit listrik, bisa terjadi krisis energi listrik.

Pembangkit listrik berbahan bakar fosil merupakan sumber utama listrik di Indonesia. Indonesia memiliki potensi tenaga air yang belum dimanfaatkan secara maksimal, dari potensi sebesar 75,67 gigawatt baru dimanfaatkan sebesar 4,2 gigawatt, dan dari potensi tenaga mikrohidro sebesar 450 megawatt baru dimanfaatkan sebesar 230 megawatt (Sunardi, 2018).

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro memiliki keunggulan dari segi efisiensi, perawatan, biaya pengoperasian rendah, dan menghasilkan energi cukup besar. Mikrohidro hanya memanfaatkan debit dan tinggi jatuh aliran. Dengan bertambahnya ketinggian jatuh air, air yang mengalir memiliki lebih banyak energi potensial yang dapat diubah menjadi energi listrik (Wisnaningsih, 2021). Energi potensial air diubah oleh putaran turbin menjadi energi mekanik, yang kemudian diubah oleh generator menjadi energi listrik (Dwiyanto, 2016).

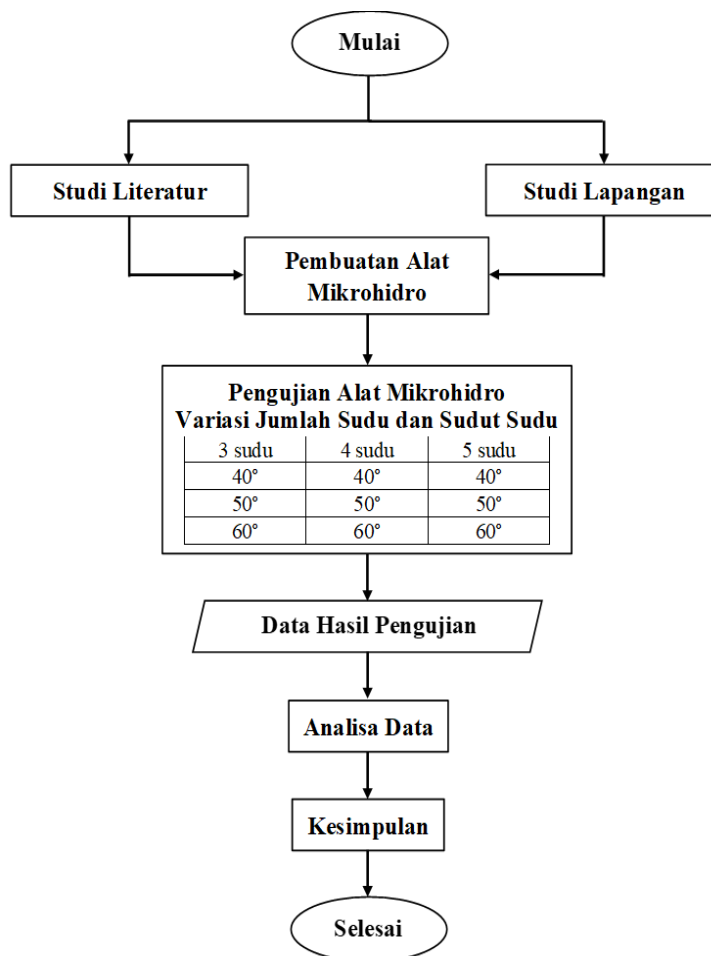
Teknologi mikrohidro harus terus dikembangkan dari segi peralatan dan efisiensi. Dalam memaksimalkan daya dan putaran turbin diperlukan jumlah dan bentuk sudu yang sesuai agar dapat menerima energi kinetik dari pancaran air saat menabrak permukaan sudu.

Pengaruh jumlah sudu terhadap daya adalah semakin banyak sudu, maka meningkatkan besar daya yang dikeluarkan. Peningkatan tersebut disebabkan dengan banyaknya sudu, maka lebih banyak air yang terkena sudu dan akan memberikan momentum yang lebih besar kepada rotor. Jumlah sudu terlalu banyak menyebabkan penurunan efisiensi turbin karena adanya resistensi yang lebih besar pada aliran air. Sedangkan pengaruh sudut sudu turbin terhadap daya adalah semakin besar sudut sudu, maka terjadi penurunan daya yang dihasilkan. Penurunan daya disebabkan air akan terpental keluar dari sudu sebelum sepenuhnya menyentuh sudu, sehingga tidak ada momentum yang cukup untuk memutar rotor. Jika sudut sudu terlalu kecil, maka air akan menyentuh sudu terlalu lama sehingga momentum yang diteruskan ke rotor juga terlalu kecil.

Pada Kawasan Wisata Surodadu Pacet terdapat aliran air yang berasal dari terjunan air setinggi 4 meter yang berpotensi digunakan untuk tenaga mikrohidro, namun saat ini masih belum dimanfaatkan untuk dijadikan sebagai tenaga pembangkit listrik. Berdasarkan potensi tersebut, peneliti merancang sebuah alat pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan turbin jenis Kaplan dan dilakukan analisa pengaruh jumlah dan sudut sudu terhadap performa agar dapat menentukan variasi turbin manakah yang menghasilkan daya *output* terbesar.

Turbin air tipe Kaplan dipilih karena dianggap memiliki efisiensi terbaik daripada jenis turbin lainnya karena mempunyai runner yang dapat menutup dan membuka tergantung debit aliran muatan yang masuk ke turbin (Kharisma, D. I., 2022)

Metode



Gambar 1. Diagram Alir

Awal dimulai penelitian yaitu dengan ditemukannya ide untuk melakukan sebuah penelitian, berdasarkan uraian pada latar belakang didapatkan permasalahan mengenai kurangnya pemanfaatan potensi yang ada pada aliran sungai sehingga dapat diciptakan pembangkit listrik tenaga mikrohidro.

Metode dalam penelitian terdiri dari studi literatur serta studi lapangan. Informasi dikumpulkan untuk studi literatur didapatkan dari jurnal, internet, dan buku-buku sebagai referensi untuk menunjang pekerjaan. Pada studi lapangan dilakukan kegiatan survey di aliran air terjun di Kawasan Wisata Surodadu Pacet yang bertujuan mengetahui sistem kerja dari mikrohidro dilapangan, survey alat-alat apa saja yang digunakan dan potensi apa yang dapat mendukung untuk dijadikan acuan untuk melakukan penelitian.

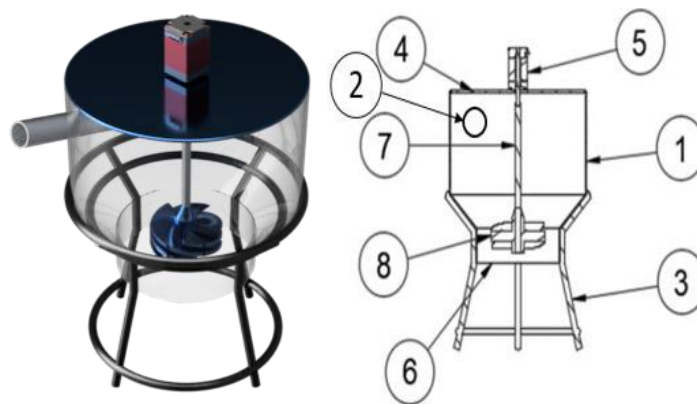
A. Pembuatan Alat Mikrohidro

Pada tahap pembuatan alat akan dilakukan perencanaan mengenai desain rancangan dan perhitungan lengkap yang dibutuhkan dalam perancangan alat mikrohidro ini yang kemudian dilanjutkan pembuatan alat mikrohidro sesuai dengan rencana yang disusun. Instalasi alat mikrohidro yang telah dirancang untuk digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SUDU TURBIN...



Gambar 2. Hasil Jadi Alat



Gambar 3. Instalasi Alat

Keterangan komponen dari alat mikrohidro :

1. Wadah Penampung Air
2. Saluran Inlet
3. Penyangga Wadah
4. Penutup Wadah
5. Generator AC
6. Saluran Outlet
7. Poros
8. Turbin

Spesifikasi komponen yang terpasang dalam instalasi alat mikrohidro diantaranya yaitu:

- a. Generator AC Permanen Magnet 200V 500W 1500 Rpm



Gambar 4. Generator

- b. Selang spiral sepanjang 5 meter dengan diameter 2 inch.



Gambar 5. Selang Spiral

Alat ukur yang dipakai untuk mendapatkan data dari pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Tachometer digunakan dalam pengukur putaran (RPM)



Gambar 6. Tachometer

- b. Multimeter untuk mengukur tegangan dan arus listrik



Gambar 7. Multimeter

B. Variabel Penelitian Alat Mikrohidro

Alat mikrohidro yang telah dirancang yang terdapat variabel yang digunakan dalam mendukung penelitian agar didapatkan data yang tepat. Berikut variabel yang digunakan pada turbin dari alat mikrohidro :

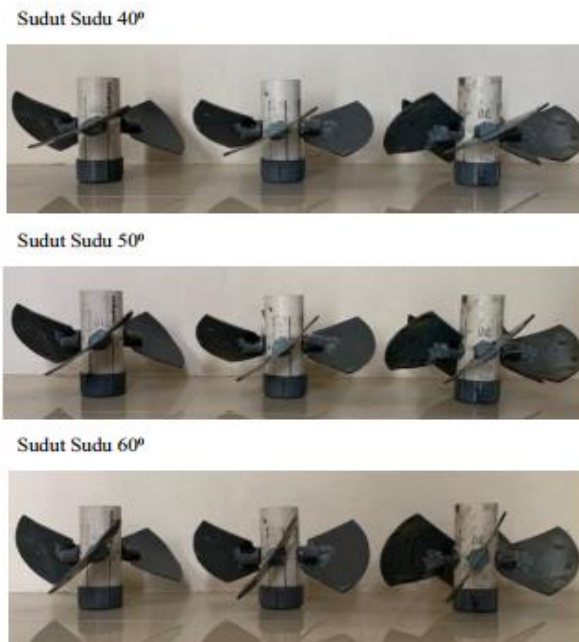
- a. Variabel jumlah dari sudu turbin meliputi : 3 sudu, 4 sudu, dan 5 sudu.



Gambar 8. Variasi Jumlah Sudu

ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SUDU TURBIN...

- b. Variabel dari sudut sudu meliputi : 40°, 50°, dan 60°



Gambar 9. Variasi Sudut Sudu

C. Mekanisme Kerja Alat Mikrohidro

Mekanisme kerja pada alat uji mikrohidro adalah sebagai berikut :

1. Diawali dengan pemasangan pipa pada aliran sungai yang bertujuan untuk mengalirkan aliran sungai tersebut menuju saluran inlet pada alat uji mikrohidro.
2. Selanjutnya pipa aliran tersebut disambungkan pada saluran inlet pada alat uji mikrohidro sehingga aliran air dari sungai dapat masuk menuju saluran inlet.
3. Aliran yang keluar dari inlet pada alat uji akan masuk kedalam tangki yang berbentuk silinder sehingga akan menghasilkan pusaran air ketika melewatinya.
4. Pusaran air dari tangki fluida tersebut akan mengalir menuju saluran outlet dibawah tangki yang telah dipasang turbin kaplan didalamnya, ketika aliran air keluar melewati saluran outlet maka aliran tersebut akan mendorong sudu turbin yang mengakibatkan turbin bergerak, selanjutnya aliran air keluar dari saluran outlet yang diarahkan kembali menuju sungai.
5. Putaran yang dihasilkan oleh sudu turbin akan di transfusikan melalui poros menuju generator.
6. Putaran yang ditransfusikan oleh poros menyebabkan generator dapat berputar sehingga dari energi kinetik tersebut akan diubah menjadi energi listrik oleh generator.
7. Sehingga Generator menghasilkan Energi listrik yang terdiri dari tegangan listrik dan arus listrik.
8. Tahapan proses diatas terjadi secara berulang-ulang.

D. Pengujian Alat Mikrohidro

Pengujian yang dilakukan dalam penelitian menggunakan teknik sampel random berdasarkan setiap variabel dilakukan percobaan tiga kali, masing-masing

berlangsung selama lima menit. Tata cara yang dilakukan dalam pengujian antara lain :

1. Pasang turbin pada alat mikrohidro
2. Alirkan air dengan pipa menuju rumah turbin.
3. Dilakukan monitoring terhadap sudu gerak stabil dan tidak menyentuh draft tube
4. Apabila putaran turbin sudah konstan, maka dilakukan pengukuran tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh Generator
5. Mencatat data pengujian yang diambil untuk dimasukkan ke dalam tabel data pengujian.
6. Setelah pengambilan data selesai lepaskan pipa aliran air pada saluran inlet.
7. lakukan langkah sebelumnya untuk pengambilan data percobaan selanjutnya.

E. Pengaruh Variabel Penelitian

Performa PLTMH adalah unjuk kerja pembangkit listrik yang berhubungan erat dengan daya yang dihasilkan. Kinerja dari pembangkit listrik umumnya ditunjukkan dalam tiga besaran, yaitu tenaga yang dapat dihasilkan, torsi yang dihasilkan, dan efisiensi.

Pengaruh jumlah sudu terhadap daya adalah semakin banyak sudu, maka meningkatkan besar daya yang dikeluarkan. Peningkatan tersebut disebabkan dengan banyaknya sudu, maka lebih banyak air yang terkena sudu dan akan memberikan momentum yang lebih besar kepada rotor. Jumlah sudu terlalu banyak menyebabkan penurunan efisiensi turbin karena adanya resistensi yang lebih besar pada aliran air. Persamaan yang berkaitan dengan pengaruh jumlah sudu terhadap daya, yaitu :

$$y = a \cdot x^n \quad (1)$$

Dimana:

- y = Daya (Watt)
- a = konstanta
- x = Sudut sudu ($^{\circ}$)
- n = Jumlah sudu

Pengaruh sudut sudu turbin terhadap daya adalah semakin besar sudut sudu, maka terjadi penurunan daya yang dihasilkan. Penurunan daya disebabkan air akan terpental keluar dari sudu sebelum sepenuhnya menyentuh sudu, sehingga tidak ada momentum yang cukup untuk memutar rotor. Jika sudut sudu terlalu kecil, maka air akan menyentuh sudu terlalu lama sehingga momentum yang diteruskan ke rotor juga terlalu kecil. Persamaan yang berkaitan dengan pengaruh jumlah sudu terhadap daya, yaitu :

$$W_{u1} = \frac{C_{r1}}{\tan(\beta_1)} \quad (2)$$

Dimana:

- W_{u1} = Kecepatan relatif terhadap kecepatan keliling (m/s)
- C_{r1} = Kecepatan aliran sudu turbin (m/s)
- β_1 = Sudut sudu sisi masuk ($^{\circ}$)

ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SUDU TURBIN...

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengumpulan data pengujian dan pembahasan mengenai analisa pengaruh jumlah dan sudut sudu turbin kaplan terhadap kinerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro akan disajikan pada bagian ini. Data pengujian dengan teknik sampel random selanjutnya diurutkan sesuai variabelnya, setelah diurutkan kemudiana dilakukan perhitungan rata-rata dari setiap variabel. Berikut hasil data pengujian yang telah dilakukan :

Tabel 1. Hasil data yang didapatkan dari pengujian metode sampel random

Kode	Random	Jumlah Sudu	Sudut Sudu	Putaran (RPM)	Tegangan (V)	Arus (A)
18	F3	4	60	381	52.2	1.09
24	H3	5	50	376	50.8	0.77
25	I1	5	60	396	56.4	1.27
10	D1	4	40	325	35.1	0.34
12	D3	4	40	327	35.3	0.36
22	H1	5	50	373	50.5	0.72
14	E2	4	50	360	46.6	0.65
17	F2	4	60	382	52.3	1.1
20	G2	5	40	343	39.4	0.42
27	I3	5	60	406	57.2	1.33
8	C2	3	60	365	47.1	0.93
11	D2	4	40	330	35.5	0.38
4	B1	3	50	340	42.1	0.54
7	C1	3	60	364	47	0.93
21	G3	5	40	344	39.5	0.43
5	B2	3	50	337	41.8	0.51
6	B3	3	50	343	42.3	0.56
9	C3	3	60	367	47.3	0.95
13	E1	4	50	356	46.3	0.62
15	E3	4	50	355	46.2	0.63
2	A2	3	40	312	31.5	0.30
26	I2	5	60	398	56.5	1.28
3	A3	3	40	314	31.7	0.32
1	A1	3	40	311	31.4	0.29
19	G1	5	40	348	39.8	0.46
23	H2	5	50	375	50.6	0.73
16	F1	4	60	384	52.5	1.11

Tabel 2. Data yang dirata-rata pada jumlah sudu 3 dan dan sudut sudu 40°, 50°, 60°.

Jumlah sudu	Sudut sudu	Waktu (5 Menit)	Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	
3 sudu	40	Pengujian 1	311	31.4	0.29	
	40	Pengujian 2	312	31.5	0.30	
	40	Pengujian 3	314	31.7	0.32	
	Rata-rata			312.3	31.5	0.30
	50	Pengujian 1	340	42.1	0.55	
	50	Pengujian 2	337	41.8	0.52	
	50	Pengujian 3	343	42.3	0.57	
	Rata-rata			340	42.1	0.55
	60	Pengujian 1	364	47	0.94	
	60	Pengujian 2	365	47.1	0.94	
	60	Pengujian 3	367	47.3	0.96	
	Rata-rata			365.3	47.1	0.95

Tabel 3. Data yang dirata-rata pada jumlah sudu 4 dan sudut sudu 40°, 50°, 60°.

Jumlah sudu	Sudut sudu	Waktu (5 Menit)	Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	
4 sudu	40	Pengujian 1	325	35.1	0.34	
	40	Pengujian 2	330	35.5	0.38	
	40	Pengujian 3	327	35.3	0.36	
	Rata-rata			327.3	35.3	0.36
	50	Pengujian 1	356	46.3	0.62	
	50	Pengujian 2	360	46.6	0.65	
	50	Pengujian 3	355	46.2	0.63	
	Rata-rata			357	46.4	0.63
	60	Pengujian 1	384	50.5	1.11	
	60	Pengujian 2	382	50.3	1.1	
	60	Pengujian 3	381	50.2	1.09	
	Rata-rata			382.3	50.3	1.10

Tabel 4. Data yang dirata-rata pada jumlah sudu 5 dan sudut sudu 40°, 50°, 60°.

Jumlah sudu	Sudut sudu	Waktu (5 Menit)	Putaran (RPM)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	
5 sudu	40	Pengujian 1	348	39.8	0.45	
	40	Pengujian 2	343	39.4	0.41	
	40	Pengujian 3	344	39.5	0.42	
	Rata-rata			345	39.57	0.43
	50	Pengujian 1	373	50.5	0.72	
	50	Pengujian 2	375	50.6	0.73	
	50	Pengujian 3	376	50.8	0.77	
	Rata-rata			374.7	50.63	0.74
	60	Pengujian 1	396	54.4	1.25	
	60	Pengujian 2	398	54.5	1.26	
	60	Pengujian 3	406	55.1	1.31	
	Rata-rata			400	54.7	1.27

Data hasil pengujian selanjutnya akan dilakukan analisa perhitungan agar didapatkan nilai performa terbaik.

A. Perhitungan Debit

Langkah pertama dilakukan pengukuran debit aliran air. debit air dapat ditentukan dengan mengetahui luas penampang dan kecepatan aliran. Perhitungan kecepatan aliran pada saat air melewati saluran :

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \tag{1}$$

Dimana:

v = Kecepatan air (m/s)

D = Diameter pipa (m)

H = Tinggi jatuh air (m)

Sehingga :

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4} = 8,86 \text{ m/s}$$

Perhitungan luas penampang pipa :

ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SUDU TURBIN...

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (2)$$

Dimana:

A = Luas penampang pipa (m^2)

D = Diameter pipa (m)

Sehingga :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot 0,06^2 = 0,0028 \text{ m}^2$$

Setelah didapatkan kecepatan aliran dan luas penampang dari pipa, maka dapat menentukan debit aliran air dengan rumus sebagai berikut :

$$Q = v \cdot A \quad (3)$$

Dimana:

Q = Luas penampang pipa (m^2)

v = Kecepatan aliran (m/s)

A = Diameter pipa (m)

Sehingga :

$$Q = 8,86 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,0028 \text{ m}^2 = 0,025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan menghasilkan debit sebesar $0,025 \text{ m}^3/\text{s}$

B. Perhitungan Profil Turbin

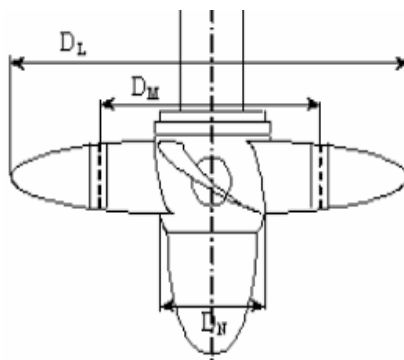
Profil turbin kaplan yang dirancang memiliki data-data sebagai berikut :

- Diameter leher poros (D_N) = 0,06 m
- Diameter luar (D_L) = 0,24 m
- Diameter tengah (D_M)

$$D_M = \frac{D_L + D_N}{2} \quad (4)$$

Sehingga :

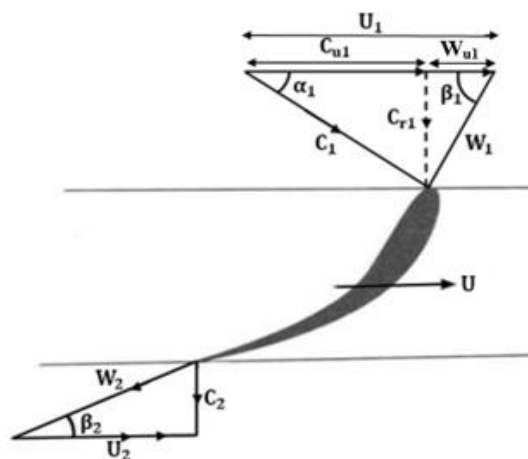
$$D = \frac{0,24 + 0,06}{2} = 0,15 \text{ m}$$



Gambar 10. Ukuran Turbin Kaplan
Sumber : (Sugiyanto, Didik, 2016)

C. Perhitungan Segitiga Kecepatan

Memfaatkan pendekatan segitiga kecepatan, profil bilah turbin Kaplan dapat dihitung dan dianalisis.



Gambar 11. Segitiga Kecepatan Turbin

Perhitungan segitiga kecepatan digunakan persamaan sebagai berikut :

1. Kecepatan aliran menuju sudu turbin

$$C_{r1} = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot (D_L^2 - D_N^2)} \quad (5)$$

Dimana:

C_{r1} = Kecepatan aliran sudu turbin (m/s)

Q = Debit (m³/s)

D_L = Diameter luar (m)

D_N = Diameter leher poros (m)

2. Kecepatan keliling

$$U = U_1 = U_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60} \quad (6)$$

Dimana:

U = Kecepatan keliling (m/s)

D = Diameter tengah (m)

n = Putaran (rpm)

3. Kecepatan relative

$$W_1 = W_2 = C_1 - U \quad (7)$$

Dimana:

W_1 = Kecepatan relative (m/s)

C_1 = Kecepatan aliran (m/s)

U = Kecepatan keliling (m/s)

4. Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling

$$W_{u1} = \frac{C_{r1}}{\tan \beta_1} \quad (8)$$

Dimana:

W_{u1} = Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling (m/s)

C_{r1} = Kecepatan air di sudu turbin (m/s)

β_1 = Sudut sudu (°)

ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SUDU TURBIN...

5. Kecepatan tangensial

Sisi masuk

$$C_{u1} = U - W_{u1} \quad (9)$$

Dimana:

C_{u1} = Kecepatan tangensial masuk (m/s)

U = Kecepatan keliling (m/s)

W_{u1} = Kecepatan relative terhadap kecepatan keliling (m/s)

Sisi keluar

Pada kecepatan tangensial keluar sudu diasumsikan :

$$C_{u2} = 0 \quad (10)$$

Dikarenakan pada segitiga kecepatan, pengeluaran air terbentuk secara tegak lurus yang bertujuan untuk meningkatkan daya dan efisiensi dari turbin kaplan.

6. Gaya

$$F = \rho \cdot Q \cdot (C_{u1} - C_{u2}) \quad (11)$$

Dimana:

F = Gaya (N)

ρ = Densitas (1000 kg/m³)

Q = Debit aliran (m³/s)

C_{u1} = Kecepatan tangensial masuk (m/s)

C_{u2} = Kecepatan tangensial keluar (m/s)

Dari perhitungan memperoleh hasil yang ditunjukkan oleh tabel berikut:

Tabel 5. Segitiga Kecepatan

No	Perhitungan	Jumlah Sudu								
		3 sudu			4 sudu			5 sudu		
		Sudut Sudu			Sudut Sudu			Sudut Sudu		
		40°	50°	60°	40°	50°	60°	40°	50°	60°
1	Kecepatan Aliran turbin (C_{r1})	0,59 m/s	0,59 m/s	0,59 m/s	0,59 m/s	0,59 m/s	0,59 m/s	0,59 m/s	0,59 m/s	0,59 m/s
2	Kecepatan keliling (U)	2,24 m/s	2,67 m/s	2,87 m/s	2,57 m/s	2,80 m/s	3,00 m/s	2,71 m/s	2,94 m/s	3,14 m/s
3	Kecepatan relatif (W_1)	6,41 m/s	6,19 m/s	5,99 m/s	6,29 m/s	6,06 m/s	5,86 m/s	6,15 m/s	5,92 m/s	5,72 m/s
4	Kecepatan relatif terhadap kecepatan keliling (W_{u1})	0,7 m/s	0,5 m/s	0,3 m/s	0,7 m/s	0,5 m/s	0,3 m/s	0,7 m/s	0,5 m/s	0,3 m/s
5	Kecepatan tangensial masuk (C_{u1})	1,75 m/s	2,17 m/s	2,53 m/s	1,87 m/s	2,31 m/s	2,66 m/s	2,00 m/s	2,45 m/s	2,80 m/s
6	Gaya (F)	43,8 N	54,4 N	63,3 N	46,7 N	57,8 N	66,6 N	50,2 N	61,2 N	70,1 N

D. Perhitungan Kecepatan Turbin

Karakteristik turbin dapat diketahui berdasarkan dari nilai kecepatan putarannya. Berikut persamaan yang digunakan mencari karakteristik turbin :

1. Torsi

$$T = F \cdot r \quad (12)$$

Dimana:

T = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

r = Jari-jari runner (m)

2. Kecepatan Sudut

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_t}{60} \quad (13)$$

Dimana:

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

n_t = Putaran (rpm)

3. Rasio Kecepatan

$$\phi = \frac{n \cdot D}{84,6 \cdot \sqrt{H}} \quad (14)$$

Dimana:

ϕ = Rasio

D = Diameter tengah (m)

n = Putaran (rpm)

H = Tinggi jatuh air (m)

4. Kecepatan satuan

$$N_u = \frac{n \cdot D}{\sqrt{H}} \quad (15)$$

Dimana:

N_u = Kecepatan satuan (rpm)

n = Putaran (rpm)

D = Diameter tengah (m)

H = Tinggi jatuh air (m)

5. Kecepatan spesifik

$$N_s = \frac{n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (16)$$

Dimana:

N_s = Kecepatan spesifik (rpm)

n = Putaran (rpm)

Q = Debit (m^3/s)

H = Tinggi jatuh air (m)

ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SUDU TURBIN...

Dari perhitungan memperoleh hasil yang ditunjukkan oleh tabel berikut :

Tabel 6. Kecepatan Turbin

No	Perhitungan	Jumlah Sudu								
		3 sudu			4 sudu			5 sudu		
		Sudut Sudu			Sudut Sudu			Sudut Sudu		
		40°	50°	60°	40°	50°	60°	40°	50°	60°
1	Kecepatan sudut (ω)	32,7 rad/s	35,6 rad/s	38,2 rad/s	34,3 rad/s	37,4 rad/s	40 rad/s	36,1 rad/s	39,2 rad/s	41,9 rad/s
2	Torsi (T)	3,28 Nm	4,08 Nm	4,74 Nm	3,50 Nm	4,33 Nm	5,00 Nm	3,76 Nm	4,59 Nm	5,26 Nm
3	Rasio (Φ)	0,28	0,30	0,32	0,29	0,32	0,34	0,31	0,33	0,35
4	Kecepatan Satuan (Nu)	23,4 rpm	25,5 rpm	27,4 rpm	24,6 rpm	26,8 rpm	28,7 rpm	25,9 rpm	28,1 rpm	30 rpm
5	Kecepatan Spesifik (Ns)	17,5 rpm	19,0 rpm	20,4 rpm	18,3 rpm	20,0 rpm	21,4 rpm	19,3 rpm	20,9 rpm	30,0 rpm

E. Perhitungan Daya dan Efisiensi

Dalam menghitung Daya dan efisiensi PLTMH membutuhkan beberapa rumus diantaranya :

1. Daya turbin

$$P_t = \rho \cdot Q \cdot U \cdot (C_{u1} - C_{u2})$$

$$P_t = T \cdot \omega \quad (17)$$

Dimana:

- P_t = Daya turbin (watt)
- T = Torsi (Nm)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)

2. Daya generator

$$P_g = V \cdot I \quad (18)$$

Dimana:

- P_g = Daya generator (watt)
- V = Tegangan (volt)
- I = Arus (ampere)

3. Daya air

$$P_a = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \quad (19)$$

Dimana:

- P_a = Daya potensi air (watt)
- ρ = Densitas (1000 kg/m³)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)
- Q = Debit aliran (m³/s)
- H = Tinggi jatuh air (m)

4. Efisiensi Turbin

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \quad (20)$$

Dimana:

- η_t = Efisiensi turbin (%)
- P_t = Daya dibangkitkan turbin (watt)
- P_a = Daya potensi air (watt)

5. Efisiensi PLTMH

$$\eta = \frac{P_g}{P_t} \times 100\% \quad (21)$$

Dimana:

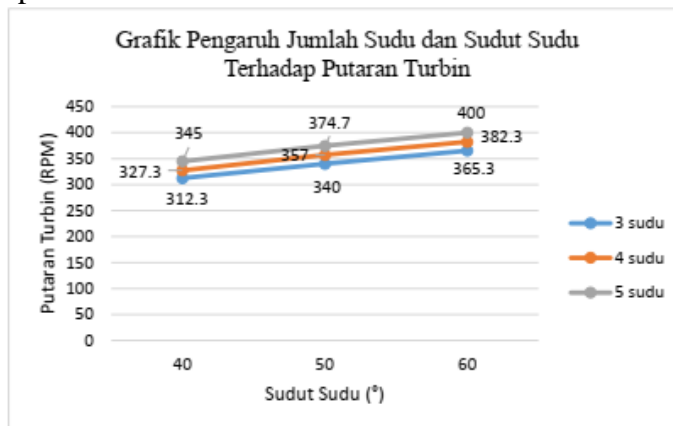
- η = Efisiensi PLTMH (%)
- P_g = Daya generator (watt)
- P_t = Daya turbin (watt)

Dari perhitungan memperoleh hasil yang ditunjukkan oleh tabel berikut :

Tabel 7. Daya dan Efisiensi

Jumlah sudu	Sudut sudu	RPM	Daya air (watt)	Daya turbin (watt)	Daya generator (watt)	Efisiensi Turbin (%)	Efisiensi PLTMH (%)
3 sudu	40°	312,3	982,4	107,3	9,6	10,9	8,9
	50°	340	982,4	145,2	23	14,8	15,8
	60°	365,3	982,4	181,4	44,6	18,5	24,6
4 sudu	40°	327,3	982,4	120	12,7	12,2	10,6
	50°	357	982,4	161,8	29,4	16,5	18,1
	60°	382,3	982,4	199,9	55,4	20,3	27,7
5 sudu	40°	345	982,4	135,9	16,9	13,8	12,4
	50°	374,7	982,4	180,1	37,5	18,3	20,8
	60°	400	982,4	220	69,6	22,4	31,6

Dari tabel hasil perhitungan seluruhnya akan dijadikan kedalam bentuk grafik yang bertujuan agar memudahkan untuk memudahkan pemahaman mengenai hasil penelitian.

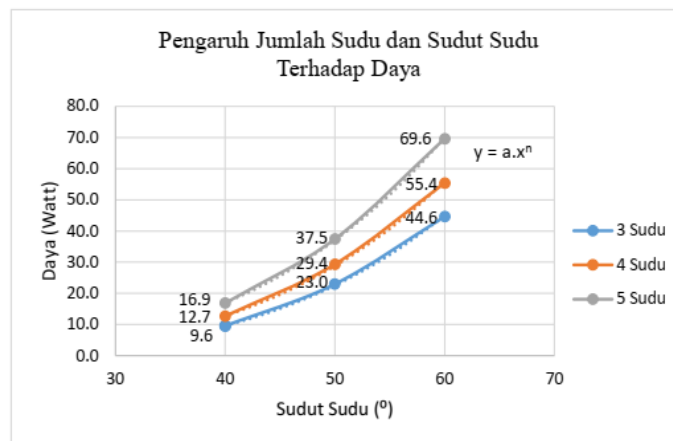


Gambar 12. Grafik Berdasarkan Putaran Turbin

ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SUDU TURBIN...

Pada grafik gambar 12 menunjukkan pengaruh jumlah dan sudut sudu terhadap kecepatan putar. Diketahui turbin dengan jumlah 3 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan putaran 312,3 Rpm, pada sudut sudu 50° menghasilkan putaran 340 Rpm, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan putaran 365,3 Rpm. Turbin dengan jumlah 4 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan putaran 327,3 Rpm, pada sudut sudu 50° menghasilkan putaran 357 Rpm, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan putaran 382,3 Rpm. Turbin dengan jumlah 5 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan putaran 345 Rpm, pada sudut sudu 50° menghasilkan putaran 374,7 Rpm, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan putaran 400 Rpm.

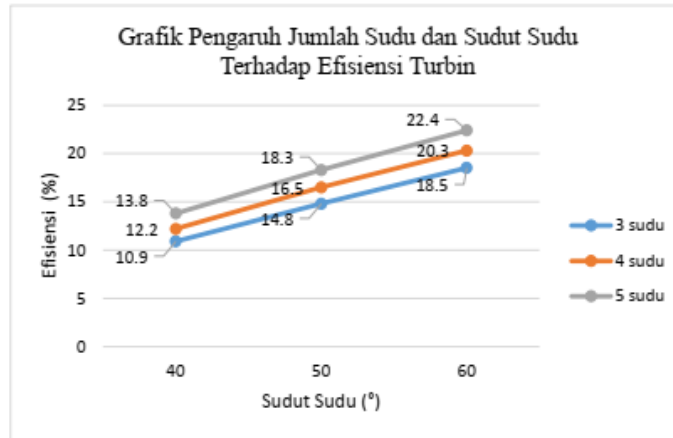
Hasil analisa yaitu bahwa bertambah banyak jumlah sudu dan meningkatnya besar sudut sudu turbin maka putaran yang dihasilkan akan semakin meningkat. Peningkatan tersebut disebabkan oleh air yang masuk dapat sempurna menghantam seluruh bagian sudu turbin sehingga gaya air saat menumbuk sudu yang mengakibatkan turbin berputar dengan kecepatan putaran maksimal.



Gambar 13. Grafik Berdasarkan Daya

Berdasarkan grafik gambar 13 menunjukkan pengaruh jumlah sudu dan sudut sudu terhadap hasil daya generator. Diketahui turbin dengan jumlah 3 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan daya 9,6 watt, pada sudut sudu 50° menghasilkan daya 23 watt, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan daya 44,6 watt. Turbin dengan jumlah 4 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan daya 12,7 watt, pada sudut sudu 50° menghasilkan daya 29,4 watt, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan daya 55,4 watt. Turbin dengan jumlah 5 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan daya 16,9 watt, pada sudut sudu 50° menghasilkan daya 37,5 watt, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan daya 69,6 watt.

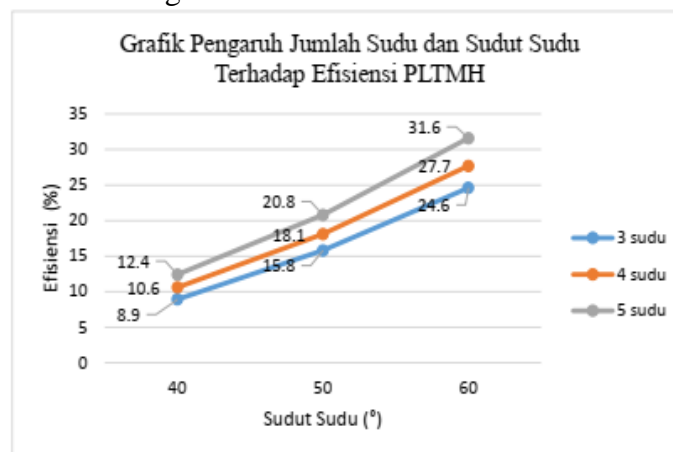
Hasil analisa dari grafik diatas yaitu bahwa bertambah banyak jumlah sudu dan meningkatnya besar sudut sudu turbin maka semakin meningkat generator mengeluarkan daya listrik. Hasil daya yang besar tersebut disebabkan oleh air yang masuk dapat sempurna menghantam seluruh bagian sudu turbin sehingga akan memaksimalkan gaya air saat menumbuk sudu turbin dan akan menghasilkan perputaran yang tinggi. Dengan meningkatnya putaran yang dihasilkan maka daya output listrik generator juga meningkat.



Gambar 14. Grafik Berdasarkan Efisiensi Dari Turbin

Berdasarkan grafik gambar 14 menunjukkan pengaruh jumlah sudu dan sudut sudu terhadap efisiensi dari turbin. Diketahui turbin dengan jumlah 3 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi 10,9%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi 14,8%, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi 18,5%. Turbin dengan jumlah 4 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi 12,2%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi 16,5%, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi 20,3%. Turbin dengan jumlah 5 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi 13,8%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi 18,3%, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi 22,4%.

Hasil analisa dari grafik diatas yaitu bahwa bertambah banyak jumlah sudu dan meningkatnya besar sudut sudu turbin maka efisiensi turbin yang dihasilkan akan semakin meningkat. Peningkatan tersebut disebabkan oleh air yang masuk dapat sempurna menghantam seluruh bagian sudu turbin sehingga akan memaksimalkan gaya air saat menumbuk sudu turbin dan menciptakan peningkatan perputaran turbin. Semakin tinggi perputaran pada turbin maka efisiensi turbin akan meningkat.



Gambar 15. Grafik Berdasarkan Efisiensi PLTMH

Berdasarkan grafik gambar 15 menunjukkan pengaruh jumlah dan sudut sudu terhadap efisiensi dari PLTMH. Diketahui turbin dengan jumlah 3 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi 8,9%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi 15,8%, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi 24,6%. Turbin

ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU DAN SUDUT SUDU TURBIN...

dengan jumlah 4 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi 10,6%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi 18,1%, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi 27,7%. Turbin dengan jumlah 5 sudu pada sudut sudu 40° menghasilkan efisiensi 12,4%, pada sudut sudu 50° menghasilkan efisiensi 20,8%, dan pada sudut sudu 60° menghasilkan efisiensi 31,6%.

Hasil analisa dari grafik diatas yaitu bahwa bertambah banyak jumlah sudu dan meningkatnya besar sudut sudu turbin maka efisiensi PLTMH yang dihasilkan akan semakin meningkat. Peningkatan tersebut disebabkan oleh air yang masuk dapat sempurna menghantam seluruh bagian sudu turbin sehingga akan memaksimalkan gaya air saat menumbuk sudu turbin dan menciptakan peningkatan putaran turbin. Semakin tinggi putaran pada turbin maka daya yang dikeluarkan dari generator juga semakin besar dan efisiensi PLTMH akan semakin meningkat.

Kesimpulan

Berdasarkan pengujian diatas didapatkan kesimpulan bahwa variabel tersebut sangat berpengaruh terhadap daya performa yang dihasilkan. Hasil alat mikrohidro dengan penggunaan turbin variasi jumlah sudu 5 pada sudut sudu 60° menghasilkan daya output listrik terbesar yaitu 69,6 watt, menghasilkan efisiensi turbin terbaik yaitu 22,4%, dan menghasilkan efisiensi PLTMH terbaik yaitu 31,6%. Hal tersebut dikarenakan pada sudut sudu 60° pancaran air yang masuk dapat sempurna menghantam seluruh bagian sudu turbin dan pada jumlah sudu 5 mengakibatkan gaya air saat menumbuk sudu turbin semakin besar sehingga akan menciptakan peningkatan pada putaran turbin. Semakin tinggi putaran turbin yang dihasilkan maka daya dan efisiensi akan semakin meningkat.

Karakteristik grafik yang dihasilkan untuk setiap variasi jumlah sudu dan sudut sudu memiliki kecenderungan yang sama yaitu semakin tinggi daya maka semakin besar efisiensi yang dihasilkan.

Saran disampaikan oleh peneliti yang bertujuan untuk pengembangan alat serta kemajuan topik penelitian ini yaitu:

1. Pemilihan generator wajib diperhatikan, karena penggunaan generator yang sesuai akan menghasilkan performa yang maksimal
2. Dapat digunakan variasi jumlah sudu dan sudut sudu dengan dimensi dan ukuran yang berbeda.
3. Penentuan tempat aliran air untuk penerapan alat wajib diperhatikan, karena debit aliran dan ketinggian jatuh air berpengaruh terhadap hasil performa.
4. Bahan dan diameter turbin dibuat lebih baik lagi dengan menyesuaikan debit aliran sungai, agar tidak terjadi kegagalan saat pengujian dan turbin dapat berputar secara maksimal.

Daftar Pustaka

- Sunardi, W. S. Aji. (2018). Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, *Jurnal Ilmu Teknik dan Komputer*, 2(1).
- Wisnaningsih, W., & Tarmizi, A. (2021). Daya Optimal Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Terhadap Studi Kelayakan dan Perancangan Turbin pada Proyek Mikrohidro. *Teknika Sains: Jurnal Ilmu Teknik*, 6(2), 58-65.
- Dwiyanto, V., Kusumastuti, D. I., & Tugiono, S. (2016). Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu

Sungai Way Besai). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 4(3), 407-422.

Kharisma, D. I. (2022). *Desain Prototipe Turbin Kaplan Pembangkit Listrik Dengan Aplikasi Software Solidworks (Doctoral dissertation)*