

# EFEKTIFITAS SUDUT SUDU PENGARAH PADA PERANCANGAN TURBIN

## KAPLAN TIPE OPEN FLUME DENGAN DAYA 100 W

Yosi Hervindo Kurniawan<sup>1\*</sup>, Mujiburrahman<sup>2</sup>, Jainal Arifin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, 21201, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari Banjarmasin, 15620201

<sup>2</sup>Teknik Mesin, 21201, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari Banjarmasin, 1113118801

<sup>3</sup>Teknik Mesin, 21201, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjari Banjarmasin, 061508786

Email : [yosihervindo@gmail.com](mailto:yosihervindo@gmail.com)

### Abstrak

Energi pada saat sekarang ini semakin berkurang akibat penggunaan energi fosil secara berlebihan di semua bidang. Isu tentang pemanasan global, polusi udara, serta efek gas rumah kaca turut mendorong kemajuan penelitian sumber energi listrik yang lebih ramah lingkungan. Ilmuwan diseluruh dunia menyadari hal ini dan mencoba berbagai energi alternatif. Salah satu sumber energi saat ini yang banyak dilakukan penelitian adalah arus air. Penggunaan berbagai macam turbin semakin maju dan berlomba untuk memanfaatkan energi alam khususnya air. Dari berbagai jenis turbin yang sering digunakan pada pembangkit listrik tenaga air adalah Turbin Kaplan tipe *Open Flume*. Turbin *open flume* merupakan suatu jenis turbin air berskala mikro yang cocok digunakan pada daerah terpencil dengan karakteristik geografi bergunung-gunung karena pembuatannya yang sederhana dan perawatannya yang mudah. Berdasarkan proses perancangan, didapat efisiensi sebesar 4,7. Dengan daya 100 W dan tinggi jatuh air yang tersedia 2 m maka dihasilkan sebuah rancangan sistem turbin *open flume* dengan diameter 250 mm, diameter *hub* 55 mm, jumlah sudu jalan 10, dan putaran 300 rpm. Untuk pengujian Turbin Kaplan, diperoleh peroleh sudut pengarah yang paling efektif yakni sudut 75°. Pada sudut ini, turbin mampu menghasilkan rpm sebesar 293 tanpa generator dan mampu menghasilkan daya generator sebesar 87,6 watt.

**Kata kunci:** turbin air, mikrohidro, *open flume*, daerah terpencil

### Abstract

*Energy is currently diminishing due to the excessive use of fossil energy in all fields. Issues about global warming, air pollution, and the effects of greenhouse gases have contributed to the advancement of research into more environmentally friendly electrical energy sources. Scientists around the world realize this and try various alternative energies. One of the current energy sources that many researches do is water flow. The use of various types of turbines is increasingly advanced and competing to utilize natural energy, especially water. Of the various types of turbines that are often used in hydroelectric power plants are the Kaplan turbine type Open Flume. Open flume turbine is a type of micro-scale water turbine that is suitable for use in remote areas with the characteristics of mountainous geography because of its simple construction and easy maintenance. Based on the design process,*

obtained an efficiency of 4.7. With a power of 100 W and high water fall available 2 m, an open flume turbine system design with a diameter of 250 mm, hub diameter of 55 mm, number of road blades is 10, and a rotation of 300 rpm. For the Kaplan Turbine test, the most effective guiding angle is obtained at an angle of 75°. At this angle, the turbine is capable of producing 293 rpm without a generator and is able to produce a generator power of 87.6 watts.

**Keywords:** water turbine, micro hydro, open flume, remote area

## I. PENDAHULUAN

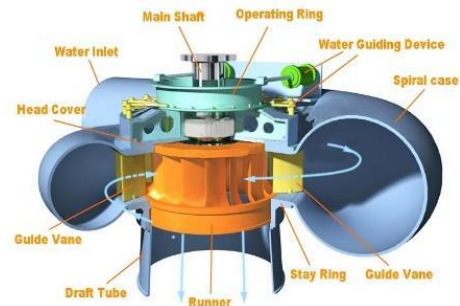
Energi pada saat sekarang ini semakin berkurang akibat penggunaan energi fosil secara berlebihan di semua bidang. Isu tentang pemanasan global, polusi udara, serta efek gas rumah kaca turut mendorong kemajuan penelitian sumber energi listrik yang lebih ramah lingkungan. Ilmuwan diseluruh dunia menyadari hal ini dan mencoba berbagai energi alternatif. Salah satu sumber energi saat ini yang banyak dilakukan penelitian adalah arus air. Penggunaan berbagai macam turbin semakin maju dan berlomba untuk memanfaatkan energi alam khususnya air. Indonesia adalah negara agraris dan merupakan daerah tropis yang menghasilkan air secara terus menerus, sehingga turbin air lebih diutamakan dari pada turbin angin walaupun angin di Indonesia relatif stabil. Alih fungsi turbin angin menjadi turbin air perlu dilakukan studi lebih lanjut. Massa jenis air yang hampir 1000 kali lipat massa jenis udara menyebabkan gaya dan torsi yang mempengaruhi turbin semakin besar.

Dari berbagai jenis turbin yang sering digunakan pada pembangkit listrik tenaga air adalah Turbin Kaplan tipe *Open Flume*.

### a. Turbin air Tipe *Open Flume*

Secara umum tidak terdapat perbedaan mendasar antara turbin jenis ini dengan turbin *propeller* biasa, hanya pada sistem turbin ini *spiral case* yang merupakan salah satu komponen utama dari sistem turbin *propeller* yang biasanya berbentuk tertutup, mempunyai bentuk terbuka sehingga untuk membedakannya dengan

sistem turbin *propeller*, sistem ini disebut *open flume* atau saluran terbuka.



Gambar 1. Bagian Bagian Turbin Kaplan

Sistem turbin baling-baling saluran terbuka ini mempunyai beberapa keunggulan apabila dibandingkan dengan turbin *propeller* pada umumnya, berikut diantaranya :

1. Proses perawatan rutin cukup mudah karena posisi turbin yang mudah dijangkau.
2. Instalasi dan pengopersian turbin jenis ini sangat mudah karena pemakai hanya butuh untuk meletakkannya diatas *spiral case* terbuka.
3. Bentuk dan ukuran turbin yang praktis dan “compact”.

Walaupun sistem turbin ini mempunyai banyak keunggulan, terdapat pula kekurangan yang dimilikinya, yaitu :

1. Daya keluaran yang dihasilkan cenderung kecil karena bentuk dan ukuran yang *compact*.
2. Total kerugian tinggi jatuh sistem cukup besar karena sistem ini dibuat dengan acuan simplisitas.

Untuk dapat memanfaatkan sistem turbin ini, setidaknya dibutuhkan empat buah komponen aliran utama, yaitu :

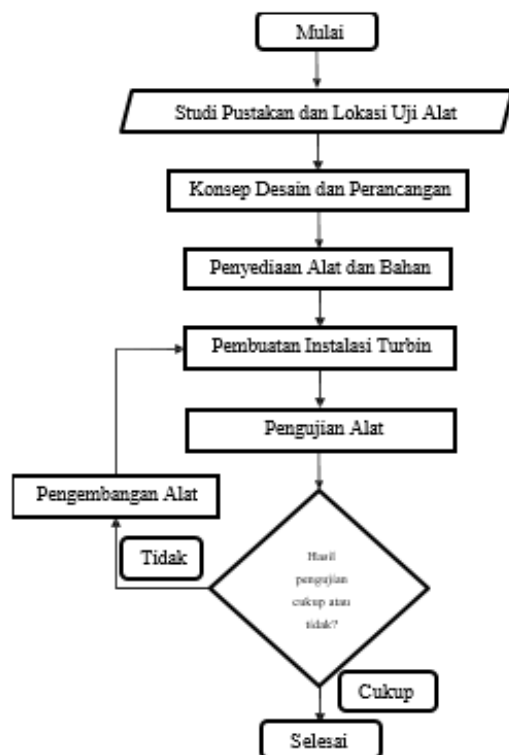
1. *Spiral case* terbuka
2. Sudu pengarah
3. Sudu jalan

#### 4. Pipa hisap

Keempat komponen tersebut merupakan satu kesatuan sistem turbin baling baling saluran terbuka yang saat ini beredar dipasaran.

## II. ALAT dan METODOLOGI

Berikut adalah diagram alir dari beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Tahapan tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dimulai dari, melakukan perhitungan parameter turbin, melakukan pengukuran head atau tinggi jatuh air, menentukan luas penampang pipa alir, menghitung debit air, menghitung kecepatan aliran, menghitung laju massa air yang mengalir, menghitung daya air yang mengalir, menghitung daya turbin, menghitung output generator, menghitung tekanan air, dan menghitung kecepatan putaran turbin.

Selanjutnya tahapan yang akan dilakukan yaitu mendesain rancangan Turbin Kaplan Tipe *Open Flume* yang

sesuai kebutuhan berdasarkan parameter serta penggunaan generator yang dipakai. Setelah proses desain alat selesai, maka tahap selanjutnya adalah mempersiapkan segala kebutuhan alat dan bahan yang diperlukan selama penelitian yang sesuai dengan hasil desain yang telah dibuat. Pada tahapan ini bahan awal yang harus dipersiapkan adalah turbin serta instalasi alir. Tahapan berikutnya yaitu menguji kinerja dari Turbin Kaplan Tipe *Open Flume* yang telah selesai dibuat selama penelitian. Jika terjadi kegagalan maka unit pembangkit akan diperbaiki dan kembali pada proses pembuatan alat. Jika hasil perancangan telah berhasil maka akan dilanjutkan pada tahap analisa kinerja alat. Tahapan ini berfungsi menganalisa kinerja unit pembangkit dalam proses pengujian yang bertujuan untuk mengamati keberhasilan kinerja pembangkit.

#### 1. Menentukan Tinggi Jatuh Air

Tinggi jatuh efektif adalah selisih antara elevasi muka air pada bangunan pengambilan atau waduk (EMAW) dengan *tail water level* (TWL) dikurangi dengan total kehilangan tinggi tekan (Ramos, 2000).

#### 2. Menghitung Luas Penampang Pipa Alir

Perhitungan luas penampang pipa alir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. (Ahmad Yani, 2016).

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \quad (2.32)$$

#### 3. Menghitung Debit Air

Selanjutnya menurut persamaan kontinuitas debit air yang mengalir dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Ahmad Yani, 2016).

$$Q = \frac{v}{A} \quad (2.33)$$

#### 4. Menghitung Kecepatan Aliran

Besarnya kecepatan air yang mengalir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. (Ahmad Yani, 2016).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.34)$$

#### 5. Menghitung Laju Massa Air Yang Mengalir

Untuk masa aliran menggunakan persamaan. (Ahmad Yani, 2016)

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad (2.35)$$

6. Menghitung Daya Air ( $P_a$ )

Daya air dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan. (Ali Akbar, 2016)

$$P_a = \frac{1}{2} \rho \cdot Q \cdot H \quad (2.36)$$

7. Menghitung Daya Turbin ( $P_t$ )

Sedangkan daya turbin yang direncanakan dapat ditentukan dengan persamaan berikut: (Arismunandar, W. 2004).

$$P_t = P_a \cdot \eta_t \quad (2.37)$$

8. Menentukan Efisiensi Turbin

Perhitungan efisiensi dilakukan dengan membandingkan daya listrik output dengan daya air yang ditentukan. Dengan menggunakan persamaan sebagai berikut: (Ali Akbar, 2016).

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot Q \cdot v} \times 100\% \quad (2.38)$$

9. Menghitung Output Generator

Sedangkan daya untuk menghitung output generator dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P = V \cdot I \quad (2.39)$$

10. Perhitungan Kecepatan Spesifik

$$n_s = n \frac{\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}}$$

11. Perhitungan Diameter Sudu Jalan

$$C_x = c_m \sqrt{2gH}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi C_x \left(1 - \left(\frac{d_h}{D}\right)^2\right)}}$$

12. Perhitungan Jarak Antara Sudu Jalan

$$s = \frac{\pi D \left(\frac{d}{D}\right)}{10}$$

13. Perhitungan Jarak Sudu Jalan Dengan Sudu Pengarah

$$\lambda = 0,25D$$

14. Perhitungan Jumlah Sudu Pengarah

$$Z_{sp} = \frac{1}{4} \sqrt{D_1} + 4$$

15. Perhitungan Sudut Antar Sudu Pengarah

$$\theta_{sp} = \frac{360^\circ}{Z_{sp}}$$

16. Perhitungan Tinggi Sudu Pengarah

Untuk mencari nilai B/D harus menggunakan grafik yang terdapat pada Gambar 2.12. Nilai B/D yang didapatkan dengan  $n_s = 421$  adalah 3,5.

$$B = 3,5 D$$

17. Perhitungan Poros

$$T = \frac{60P}{2\pi n}$$

### III. HASIL dan PEMBAHASAN

a. Hasil Perancangan

Berdasarkan dari hasil perencanaan, perhitungan, dan perancangan pada bab sebelumnya, maka dihasilkan spesifikasi komponen-komponen berikut :

1. Sudu Jalan

Diameter : 180 mm

Diameter *Hub* : 55 mm

Jumlah Sudu : 10

*Hub to Tip Ratio* : 0,4

*Pitch to Chord Ratio* : 1

Bahan Sudu : Pelat besi 0,25 mm



Gambar 4. Sudu Jalan Hasil Perancangan

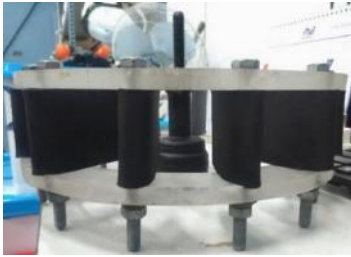
2. Sudu Pengarah

Diameter Luar : 250 mm

Jumlah Sudu : 4

Jarak dengan Sudu Jalan : 45 mm

Tinggi Sudu : 55 mm



Gambar 5. Sudu Pengarah Hasil Perancangan

### 3. Poros

Diameter : 7,2 mm

Bahan : ST 42 (IS : 1079 – 1968)



Gambar 6. Turbin Hasil Perancangan

### b. Hasil Pengujian

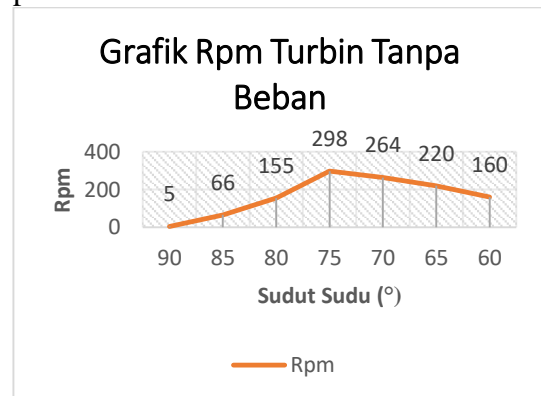
#### 1. Pengaruh Sudut Sudu Pengarah Pada Putaran Turbin Tanpa Generator

Pada pengujian ini, pengujian dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Dari pengujian pertama yang telah dilakukan menggunakan debit aliran air  $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$  dan variasi sudut sudu pengarah pada turbin tanpa generator, didapatkan hasil rpm seperti pada Tabel 1. dan grafik pada Gambar 7. di bawah ini.

Tabel 1. Hasil pengujian pertama pengaruh debit air terhadap putaran turbin.

No	Pengambilan Data	Debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Sudut Sudu Pengarah ( $^\circ$ )	rpm
1.	Data Ke - 1	0,004	90	5
		0,004	85	66
		0,004	80	155
		0,004	75	298
		0,004	70	264
		0,004	65	220
		0,004	60	160

Dari hasil pengambilan data pertama yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa dengan debit air  $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$  dan dengan menggunakan sudut sudu pengarah sebesar  $75^\circ$  turbin mampu menghasilkan rpm yang lebih tinggi. Apabila dibuat suatu grafik, maka dapat pengaruh sudut sudu terhadap rpm turbin.



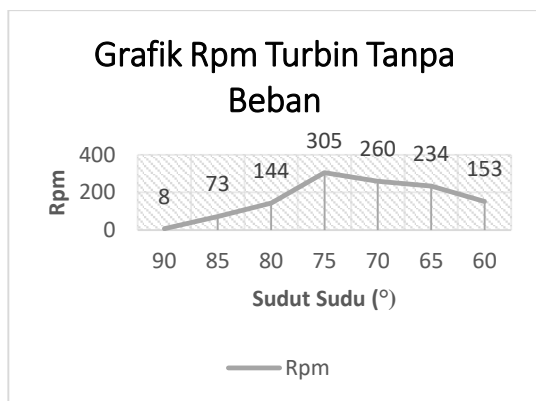
Gambar 7. Grafik pengaruh penggunaan sudut sudu pengarah terhadap rpm pada pengujian pertama

Kemudian setelah didapatkan hasil pada pengujian pertama dilanjutkan untuk kegiatan pengujian yang kedua. Untuk hasil pengujian data kedua dapat dilihat di Tabel 2. dan grafik pada Gambar 8. di bawah ini.

Tabel 2. Hasil pengujian kedua pengaruh debit air terhadap putaran turbin.

No	Pengambilan Data	Debit ( $m^3/s$ )	Sudut Sudu Pengarah ( $^\circ$ )	rpm
2.	Data Ke - 2	0,004	90	8
		0,004	85	73
		0,004	80	144
		0,004	75	305
		0,004	70	260
		0,004	65	234
		0,004	60	153

Dari hasil pengambilan data kedua yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa dengan debit air  $0,004 m^3/s$  dan dengan menggunakan sudut sudu pengarah sebesar  $75^\circ$  turbin mampu menghasilkan rpm yang lebih tinggi. Apabila dibuat suatu grafik, maka dapat pengaruh sudut sudu terhadap rpm turbin.



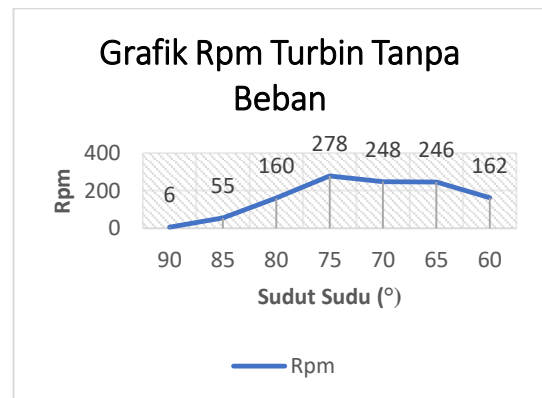
Gambar 8. Grafik pengaruh penggunaan sudut sudu pengarah terhadap rpm pada pengujian kedua

Setelah didapatkan hasil pada pengujian kedua dilanjutkan untuk kegiatan pengujian yang ketiga. Untuk hasil pengujian data ke 3 dapat dilihat di tabel 3. dan grafik 9 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil pengujian ketiga pengaruh debit air terhadap putaran turbin.

No	Pengambilan Data	Debit ( $m^3/s$ )	Sudut Sudu Pengarah ( $^\circ$ )	rpm
3.	Data Ke - 3	0,004	90	6
		0,004	85	55
		0,004	80	160
		0,004	75	278
		0,004	70	248
		0,004	65	246
		0,004	60	162

Dari hasil pengambilan data ketiga yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa dengan debit air  $0,004 m^3/s$  dan dengan menggunakan sudut sudu pengarah sebesar  $75^\circ$  turbin mampu menghasilkan rpm yang lebih tinggi. Apabila dibuat suatu grafik, maka dapat pengaruh sudut sudu terhadap rpm turbin.



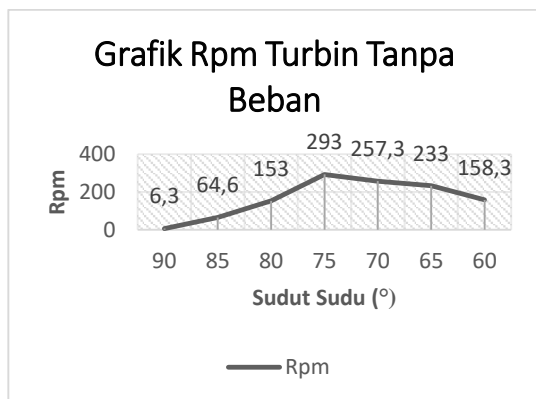
Gambar 9. Grafik pengaruh penggunaan sudut sudu pengarah terhadap rpm pada pengujian ketiga

Dari hasil yang didapat dari tiga kali pengujian, apabila dirata rata maka didapatkan hasil seperti pada tabel 4. dan grafik 10. dibawah ini.

Tabel 4. Rata rata hasil yang diperoleh dari percobaan 1 sampai 3

No	Sudut Sudu Pengarah (°)	Data Percobaan Ke-1 (rpm)	Data Percobaan Ke-2 (rpm)	Data Percobaan Ke-3 (rpm)	Rata Rata (rpm)
1	90	5	8	6	6,3
2	85	66	73	55	64,6
3	80	155	144	160	153
4	75	298	305	278	293
5	70	264	260	248	257,3
6	65	220	234	246	233
7	60	160	153	162	158,3

Apabila dirata rata, maka didapatkan hasil seperti pada tabel dan grafik dibawah ini.



Gambar 10. Grafik rata rata pengaruh penggunaan sudut sudu pengarah terhadap rpm pada pengujian ke 1 sampai 3

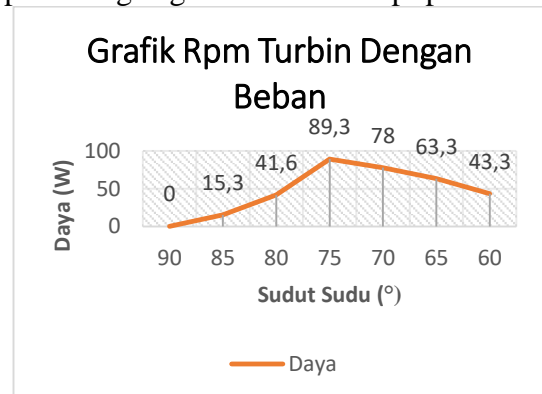
## 2. Pengaruh Sudut Sudu Pengarah Pada Putaran Turbin Dengan Generator

Untuk mendapatkan daya listrik yang dihasilkan generator, maka di gunakan persamaan 2.39. Rpm dan daya listrik yang di bangkitkan oleh turbin pada pengujian pertama dapat di lihat pada Tabel 5. dan grafik pada Gambar 11. di bawah ini.

Tabel 5. Data output generator pada pengujian pertama

No	Pengambilan Data	Sudut Sudu Pengarah (°)	rpm	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	Data Ke-1	90	0	0	0	0
		85	46	24	0,6	15,3
		80	125	24	1,7	41,6
		75	268	24	3,7	89,3
		70	234	24	3,2	78
		65	190	24	2,6	63,3
		60	130	24	1,8	43,3

Apabila dibuat suatu grafik, maka didapatkan hasil grafik pengaruh pemasangan generator terhadap rpm turbin.



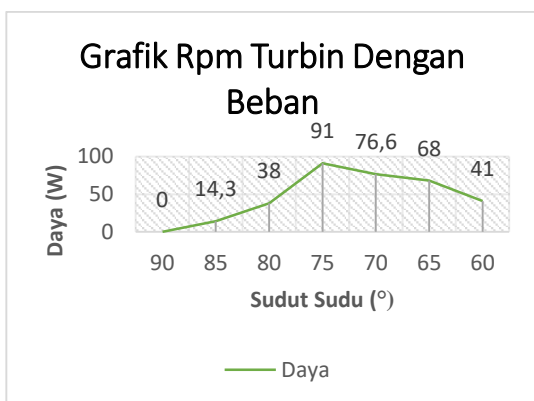
Gambar 11. Grafik pengaruh penggunaan sudut sudu pengarah terhadap daya generator pada pengujian pertama

Kemudian setelah didapatkan hasil pada pengujian pertama dilanjutkan untuk kegiatan pengujian yang kedua. Untuk hasil pengujian data kedua dapat dilihat di Tabel 6. dan grafik pada Gambar 12. di bawah ini.

Tabel 6. Data output generator pada pengujian pertama

No	Pengambilan Data	Sudut Sudu Pengarah (°)	rpm	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
2	Data Ke-2	90	0	0	0	0
		85	43	24	0,6	14,3
		80	114	24	1,7	38
		75	275	24	3,7	91
		70	230	24	3,2	76,6
		65	204	24	2,6	68
		60	123	24	1,7	41

Apabila dibuat suatu grafik, maka didapatkan hasil grafik pengaruh pemasangan generator terhadap rpm turbin.



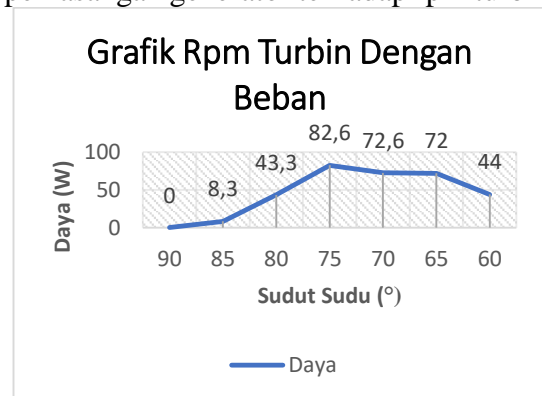
Gambar 12. Grafik pengaruh penggunaan sudut sudu pengarah terhadap daya generator pada pengujian kedua

Setelah didapatkan hasil pada pengujian pertama dilanjutkan untuk kegiatan pengujian yang ketiga. Untuk hasil pengujian data kedua dapat dilihat di Tabel 7. dan grafik pada Gambar 13. di bawah ini.

Tabel 7. Data output generator pada pengujian pertama

No	Pengambilan Data	Sudut Sudu Pengarah (°)	rpm	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
3	Data Ke-3	90	0	0	0	0
		85	25	24	0,3	8,3
		80	130	24	1,8	43,3
		75	248	24	3,4	82,6
		70	218	24	3,0	72,6
		65	216	24	3,0	72
		60	132	24	1,8	44

Apabila dibuat suatu grafik, maka didapatkan hasil grafik pengaruh pemasangan generator terhadap rpm turbin.



Gambar 13. Grafik pengaruh penggunaan sudut sudu pengarah terhadap daya generator pada pengujian tiga

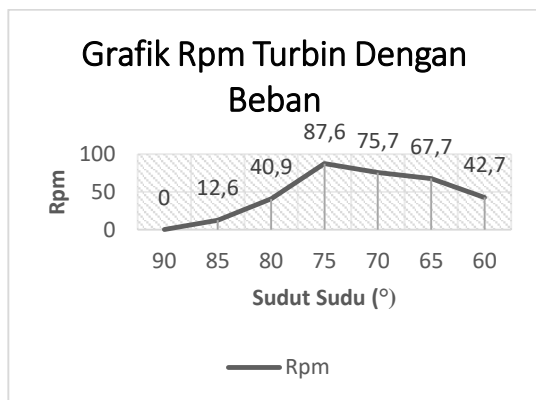
Dari hasil yang didapat dari tiga kali pengujian, apabila dirata rata maka didapatkan hasil seperti pada tabel 8. dan grafik 14. dibawah ini.



Tabel 8. Rata rata hasil yang diperoleh dari percobaan 1 sampai 3

N o.	Sudu t Sudu Peng arah (°)	Data Perco baan Ke-1 (W)	Data Perco baan Ke-2 (W)	Data Perco baan Ke-3 (W)	R at a R at a ( W )
1	90	0	0	0	0
2	85	15,3	14,3	8,3	12,6
3	80	41,6	38	43,3	40,9
4	75	89,3	91	82,6	87,6
5	70	78	76,6	72,6	75,7
6	65	63,3	68	72	67,7
7	60	43,3	41	44	42,7

Apabila dirata rata, maka didapatkan hasil seperti pada tabel dan grafik dibawah ini.



Gambar 14. Grafik rata rata pengaruh penggunaan sudut sudu pengarah terhadap daya generator pada pengujian ke 1 sampai 3

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh adalah:

1. Sedangkan untuk efisiensi Turbin Kaplan, didapat dari pengujian data ke 3 pengujian Turbin Kaplan dengan menggunakan jumlah sudu 6 yakni 4,7. Dengan daya 100 W dan tinggi jatuh air yang tersedia 2 m maka dihasilkan sebuah rancangan sisten turbin *open flume* dengan diameter 250 mm, diameter *hub* 55 mm, jumlah sudu jalan 10, dan putaran 300 rpm.
2. Sedangkan untuk pengujian Turbin Kaplan, diperoleh peroleh sudut pengarah yang paling efektif yakni sudut 75°. Pada sudut ini, turbin mampu menghasilkan rpm sebesar 293 tanpa generator dan mampu menghasilkan daya generator sebesar 87,6 watt.

#### DAFTAR PUSTAKA

- A. H. dan A. J. Rinaldi1, “Model Fisik Kincir Air Sebagai Pembangkit Listrik,” ISBN 978-979-792-636-6, pp. 978–979, 2015.
- A. M. Bustami1\*, “Rancang Bangun Pembangkit Listrik Piko hidro 1000 VA Dengan Memanfaatkan Pembuangan Air Limbah Pada Gedung Pakarti Centre,” p-ISSN 2407 –1846 e-ISSN 2460 – 8416, no. November, pp. 1–2, 2017.
- A. Yani, Mihdar, dan R. Erianto, “Pengaruh Variasi Bentuk Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Kinetik (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan),” Turbo, vol. 5, no. 1, pp. 8–13, 2016.
- Bandri. S, “Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Pico hydro (PLTPh) Rumah Tangga,” ISBN: 978-602 70570-5-0, pp. 210 – 216, 2017.
- D. A. H, D. D. Dpt, S. I. C, and T. S. Pitana, “Eksperimental Optimasi Tipe Lekuk Sudu Pada Pompa Difungsikan Sebagai Turbin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga

- Picohidro,” *Mekanika*, vol. 15, no. 1, pp. 10–16,
- Directorate General of Electricity and Energy Utilization, (DGEEU).(2010).*Rencana Induk Pengembangan Energi Baru Terbarukan 2010 - 2025*.Jakarta: Kementrian ESDM.
- Direktorat Kawasan Khusus dan Daerah Tertinggal. (2007). *Laporan Akhir Hasil Evaluasi Kebijakan Perencanaan Pembangunan Kawasan Tertinggal*. Jakarta: BAPPENAS.
- Dixon, S.L, Hall, C.A. (2010). *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery Sixth Edition*. USA: Elsevier Inc. EIA. (2009). *International Energy Outlook*. Washington, D C: EIA U.S Department of Energy.
- ESDM. (2010). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta: Center for Energy and Mineral Resources Data and Information on Energy and Mineral Resources.
- F. A. Putra, “Analisa Pengaruh Sudut Sudu Dan Debit Aliran Terhadap Performa Turbin Kaplan,” Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin, vol. 1, no. 1, 2016.
- Gubin, M.F.(1970). *Draft Tubes of Hydro-Electric Stations*. Moscow: Energiya Press.
- Hamrock, B. J., Jacobson, B., & Schmid, S. R. (1999). *Fundamentals of Machine Elements*. Singapore: McGraw-Hill.
- Hui, P. (2009). *Analytical Solution of Hydraulics Calculation on Cross Sections of Different Spiral Cases*.
- IMIDAP. (2008). *Pedoman Teknis Standarisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*. Jakarta: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- K. Budiartawan, A. A. A. Suryawan, and M. Suarda, “Pengaruh Variasi Sudut Sudu Segitiga Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro,” *Ilm. Tek. DESAIN Mek.*, vol. 6, no. 3, pp. 294–298, 2017.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *First Multicolour Edition: A Text Book of Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Laboratorium Tenaga Air PLN. (1977). *Studi Kavitas PLTA LAMAJAN Jawa Barat*. Jakarta : PT PLN.
- Mahmudsyah, S., Yuwono, T., & Firmansyah, I. (2009). *Pembangunan PLTMH Dompjong 50 kW di Desa Dompjong untuk Mewujudkan Desa Mandiri Energi*. Surabaya: ITS.
- N. A. Agus Supardi, Dedi Ary Prasetya, “Karakteristik Keluaran Generator Induksi 1 Fase Pada Sistem Pembangkit Piko hidro,” ISSN 2339-028X, 2015.
- Nechleba, M. (1957). *Hydraulic Turbines Their Design and Equipment*. Czechoslovakia: ARTIA Prague.
- P. T. D. Rompas, “ Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Pada Daerah Aliran Sungai Ongkak Mongondow Di Desa Muntoi Kabupaten Bolaang Mongondow,” *Jurnal Penelitian Saintek*, Vol. 16, No. 2, 2011.
- Penche, C., & Minas, i. d. (1998). *Layman's Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site*. Brussel: European Small Hydropower Association.
- PT PLN. (2010). *Statistik PLN 2010*. Jakarta: PT PLN.
- Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Energi BPPT. (2010). *Outlook Energi Indonesia :Teknologi untuk Mendukung Keandalan Pasokan Energi Listrik* . Jakarta: BPPT – Press.
- R. K. O. Tito Shantika, Alexin Putra, “Simulasi Aliran Picohidro

- 100 Watt Portable Pada Head 2 MeterTito Shantika, Alexin Putra, Ryan Kornelius Obaja Jurusan Teknik Mesin Itenas Bandung Jl. PPH Mustofa 23 Bandung,” ISSN 1979 –911X eISSN 2541 –528X, no. November, pp. 491–497, 2016.
- Singh, P., Nestmann, F. (2010). *Exit blade geometry and part-load performance of small axial flow propeller turbines: An experimental investigation.*
- Singh, P., Nestmann, F. (2010). *Experimental investigation of the influence of blade height and blade number on the performance of low head axial flow turbines.*
- Singh, P., Nestmann, F. (2009). *Experimental optimization of a free vortex propeller runner for microhydro application.*
- ZREU (Zentrum für rationell Energieanwendung und Umwelt GmbH). (2000). *Biomass in Indonesia-Business Guide.*