

# PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU TERHADAP DAYA OUTPUT PADA PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN KAPLAN

I Komang Gede Darma Yasa<sup>1</sup>, I Wayan Arta Wijaya<sup>2</sup>, I Made Suartika<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Unud

<sup>2,3</sup>Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Unud

Kampus Bukit Jimbaran, Badung-Bali

E-mail : [gededarma51@gmail.com](mailto:gededarma51@gmail.com)<sup>1</sup>

## Abstrak

Turbin Kaplan merupakan salah satu jenis turbin yang dapat digunakan sebagai penggerak mula pada sistem PLTMH. Keunggulan turbin Kaplan yaitu dapat diaplikasikan pada head rendah dengan debit air yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisa performa turbin Kaplan dengan variasi jumlah sudu sebanyak 5 buah yang terdiri dari 3, 4, 5, 6, dan 7 buah. Maksimum kecepatan putar yang didapat turbin dengan jumlah sudu 5 dengan nilai rata-rata sebesar 216,8 rpm sebelum dikopel dengan generator dan 166,5 rpm setelah dikopel dengan generator. Kecepatan putar generator maksimum yang didapat pada turbin yang memiliki jumlah sudu 5 yaitu sebesar 865,9 rpm sebelum dibebani dan 749,9 rpm untuk kondisi setelah dibebani. Tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan secara berturut-turut yaitu sebesar 8,798 Volt, 0,41 Amper, dan 3,59 Watt dengan torsi maksimum sebesar 0,206 Nm, serta efisiensi sebesar 1,53%.

Kata Kunci : PLTMH, Kaplan, Prototype, Sudu, Arus, Tegangan, Torsi, Daya, Efisiensi

## Abstract

*The Kaplan Turbin is a type of turbine that can be used as an initial propolusion in the PLTMH system. The Advantage of this Kaplan Turbin is that it can be applied to a low head with a high water flow rate. This study aims to analyze the performance of the Kaplan turbin with 5 variations of the number of blades consisting of 3,4,5,6 and 7 blades. The maximum rotational speed obtained by the turbine with the number of blades 5 with an average value 216,8 rpm before coupling with the generator. The maximum generator rotational speed that can be obtained on a turbine that has the number of blades of is 865,9 rpm before being loaded and 749,9 rpm for the after load condition . The voltage , current , and power generated are 8,798 volts, 0,41 amperes, and 3,59 watts respectively with a maximum torque 0,206 Nm, and efficiency of 1,53%*

*Keywords: PLTMH, Kaplan, Prototype, Blades, Current, Volts, Torque, and Efficiency.*

## 1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan energi listrik di Indonesia menyebabkan cadangan bahan bakar fosil menipis seperti batubara, gas dan minyak. Penyebab meningkatnya kebutuhan energi listrik ini dikarenakan pertumbuhan ekonomi yang semakin pesat dan meningkatnya pembangunan terutama di bidang industri. Hal tersebut memaksa untuk mencari sumber energi baru dan terbarukan (EBT) yaitu dengan menggunakan energi air, energi angin,

energi matahari dan biomasa yang dapat menggantikan bahan bakar fosil.

Energi listrik yang dibutuhkan setiap tahunnya yang diproyeksikan oleh Rencana Penyediaan Tenaga Listrik PLN Tahun 2018-2027 mengalami pertumbuhan rata-rata sekitar 6,86% atau sekitar 65,024 MW [1]. Pemerintah Indonesia dalam kebijakannya menyatakan bahwa dalam Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional atau RUEN, target yang ingin

dicapai pemerintah dalam penggunaan energi baru dan terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050 dari total keseluruhan pembangkit listrik [2].

Potensi air di Indonesia sangatlah besar, dengan adanya potensi tersebut dapat mendukung adanya suatu sistem pembangkit listrik tenaga air yang nantinya dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik disuatu daerah. [3]. Kapasitas PLTMH yang terpasang di Indonesia saat ini baru mencapai 197,4 MW atau sekitar 1,0 % dari potensi kapasitas yang mampu dibangkitkan [2].

Penyediaan energi listrik oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) masih belum dirasakan secara merata oleh masyarakat terutama masyarakat pedesaan yang jauh dari jangkauan jaringan listrik. Banyaknya masyarakat yang belum mendapat listrik di daerah terpencil dan banyaknya penggunaan listrik oleh perusahaan besar maupun perusahaan kecil menyebabkan belum meratanya pembagian listrik di seluruh wilayah Indonesia sehingga perlu adanya tindakan. Salah satu cara untuk menyelesaikan masalah tersebut yaitu dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam yang dapat digunakan untuk sumber pembangkit listrik energi baru dan terbarukan adalah dengan memanfaatkan energi air. Keadaan geografis daerah-daerah di Indonesia memiliki potensi air dengan *head* dan debit yang memadai untuk pembangkit listrik berskala kecil, dengan kondisi tersebut maka layak dikembangkan teknologi pembangkit listrik berskala kecil yang dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dapat digunakan masyarakat pedesaan yang jauh dari jaringan listrik agar bisa menggunakan listrik dari mikrohidro tersebut. Penggunaan tenaga air yang digunakan. PLTMH yang digunakan sebagai tenaga penggerak meliputi saluran air sungai, irigasi, atau air terjun dengan cara memanfaatkan ketinggian air terjun dan jumlah debit air.

Salah satu realisasi pemanfaatan potensi aliran air di Bali sebagai PLTMH terdapat di wilayah Tabanan. Pemanfaatan aliran air ini bernama PLTMH Jatiluwih yang berlokasi di jalur

irigasi subak desa Jatiluwih kecamatan Penebel. PLTMH Jatiluwih ini mampu menghasilkan daya sebesar 6,61 kW. Energi yang dihasilkan oleh PLTMH Jatiluwih digunakan untuk sumber energi listrik untuk penerangan jalan pada jalur objek wisata *tracking* dan sebagai penerangan pertanian di wilayah tersebut. Selain itu, realisasi pemanfaatan potensi aliran air di Bali juga terdapat di Kabupaten Buleleng yang bernama PLTMH Muara Sambangan dengan kapasitas 2 MW Kepala Keluarga [4]. Pertumbuhan penggunaan listrik di Bali pada tahun 2017 mencapai 1,39% dan pada tahun 2022 diprediksi permintaan beban listrik di Bali mencapai 1.548 MW. Berdasarkan potensi dan kemajuan energi terbarukan di Bali, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro menjadi salah satu opsi untuk memenuhi kebutuhan pembangkit energi listrik.

Generator yang terkopel dengan sebuah turbin akan menghasilkan energi listrik dari adanya PLTMH. Jenis turbin yang digunakan untuk PLTMH terdiri dari dua jenis turbin. Pertama ada turbin impuls yang merupakan turbin yang menggunakan tenaga air dari sudut *nozzle* untuk menggerakkan turbin, kemudian jenis turbin yang kedua yaitu turbin reaksi. Turbin reaksi merupakan turbin yang murni menggunakan penggerak air untuk memutar turbin. Salah satu jenis dari turbin reaksi ini adalah turbin Kaplan. Turbin Kaplan dikembangkan oleh Viktor Kaplan pada tahun 1913. Turbin Kaplan mempunyai keunggulan pada sudu gerak/*runner* yang dapat menutup ataupun membuka sesuai dengan kapasitas debit aliran air yang tersedia, sehingga turbin Kaplan ini mempunyai efisiensi yang lebih baik daripada jika dibandingkan dengan turbin jenis reaksi lainnya [5].

Pada penelitian ini akan dilakukan analisis kerja turbin Kaplan dengan variasi jumlah sudu, dengan menetapkan jumlah variasi sudu sebanyak 5 buah. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana daya yang dihasilkan dari variasi jumlah sudu yang digunakan sehingga mengetahui jumlah sudu berapa agar menghasilkan daya yang lebih besar. Sudu sangat berpengaruh terhadap performa dari turbin, karena pada sudu timbulnya gaya tangensial dari air yang menyebabkan turbin dapat berputar. Sulitnya untuk

menganalisis karakteristik performansi dari turbin di lapangan, maka peneliti membuat sebuah *prototype* turbin Kaplan untuk mendapat pengaruh sudut terhadap efisiensi, tegangan, arus, dan putaran generator pada pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan jenis turbin Kaplan.

**KAJIAN PUSTAKA**

**2.1 Turbin Kaplan**

Turbin Kaplan merupakan salah satu turbin air reaksi jenis baling-baling (*propeller*). Turbin Kaplan memiliki keistimewaan dengan sudu gerak yang bisa diatur menyesuaikan dengan kondisi aliran air saat itu. Turbin Kaplan bekerja pada kondisi *head* rendah dengan debit besar. Perencanaan turbin Kaplan terdiri dari perancangan komponen utama turbin Kaplan. Turbin ini terdiri dari sudu pengarah (*guide vane*), *spiral casing*, sudu gerak (*runner*), *draft tube* dan mekanisme pengaturan sudu bilah gerak.

Terdapat tiga komponen utama didalam sistem mikrohidra yaitu air sebagai sumber pembangkit listrik tenaga listrik, turbin sebagai alat untuk mengkonversikan energi potensial air menjadi energi mekanik sebagai penggerak mula generator untuk menghasilkan energi listrik dan saluran energi listrik sebagai media penyaluran listrik menuju konsumen atau tujuan [6].

**2.2 Perancangan Turbin Kaplan**

Kecepatan spesifik berdasarkan debit aliran air ( $nq$ ).

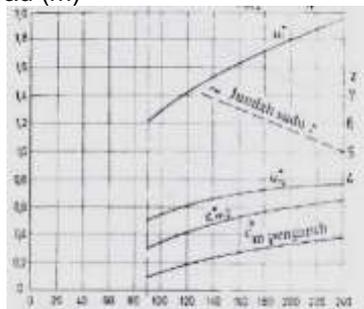
$$nq = n \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan,

n = Putaran poros yang direncanakan (rpm)

Q= Debit air ( $m^3$ /detik)

H= Head (m)



Gambar2.1 Harga Untuk Menentukan Ukuran-Ukuran Utama, Jumlah SuduTurbin Kaplan.

$$D_x = B_x + D_N \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan,

$B_x$  = Lebar Runner (m)

$D_N$  = Diameter Leher Poros (m)

Sudut air masuk pada sudu (*inlet*) dan sudut air keluar pada sudu (*outlet*) ditentukan dengan parameter  $\beta_1$  dan  $\beta_2$ , dimana nilai  $\beta_1$  sebesar  $52.44^\circ$  dan nilai  $\beta_2$  sebesar  $152^\circ$  [7].

**2.3 Daya dan Efisiensi**

**2.3.1 Persamaan untuk menghitung daya hidrolis ( $P_H$ )**

Daya hidrolis merupakan daya yang dihasilkan oleh air yang mengalir dari suatu ketinggian.

$$P_H = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan :

$P_H$  = Daya Hidrolis (Watt)

$\rho$  = Massa Jenis Air ( $kg/m^3$ )

g = Percepatan Gravitasi ( $9,8m/s^2$ )

Q = Debit Air ( $m^3/s$ )

h = Tinggi Jatuh Air (m)

**2.3.2 Persamaan untuk menghitung Daya Poros (BHP)**

Brake Horse Power (BHP) merupakan daya efektif yang diterima oleh poros turbin dari fluida yang melalui sudu-sudu turbin.

$$P_T = T \times \omega \dots \dots \dots (10)$$

Keterangan :

$P_T$  = Daya Turbin (Watt)

T = Torsi (Nm)

$\omega$  = Kecepatan Anguler (rad/s)

**2.3.3 Persamaan untuk menghitung efisiensi ( $\eta$ )**

Efisiensi sistem ( $\eta$  PLTMH) merupakan suatu kemampuan peralatan pembangkit listrik dalam upaya untuk mengubah energi kinetic yang berasal dari air mengalir menjadi energi listrik. Efisiensi sistem dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{PLTMH} = \frac{P_G}{P_H} \cdot 100\% \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan :

$\eta_T$  = Efisiensi Turbin

$\eta_G$  = Efisiensi Generator

$\eta_{PLTMH}$  = Efisiensi sistem PLTMH

$P_T$  = Daya Turbin

$P_G$  = Daya Generator

$P_H$  = Daya Hidrolis

**3. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua tahapan utama yang terdiri dari tahapan perancangan *prototype*

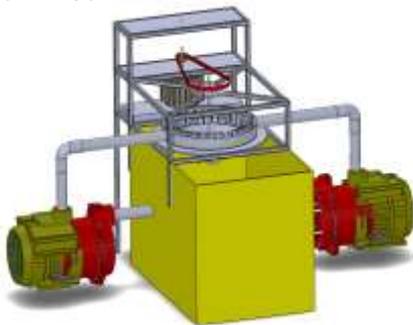
PLTMH skala laboratorium dengan menggunakan jenis turbin kaplan dan tahapan kedua yaitu dengan pengujian variasi jumlah sudu terhadap karakteristik dari turbin kaplan pada perancangan PLTMH skala laboratorium. Tahapan pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

- A. Pertama penulis melakukan studi pustaka dengan menggunakan sumber-sumber dari jurnal yang terkait dengan prototype turbin kaplan dan mencari rumus-rumus yang berkaitan dengan perencanaan pembuatan turbin Kaplan.
- B. Menetapkan variable tetap dari nilai *head*, debit, sudut bukan air masuk, serta diameter dan panjang pipa yang digunakan, data perencanaan system prototype PLTMH disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1. Data Perencanaan Sistem PLTMH**

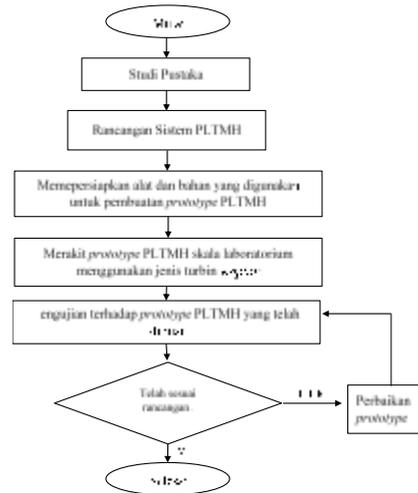
No	Parameter	Nilai
1	Head	2 m
2	Debit	0,021 m <sup>3</sup> /s (12 L/s)
3	Pipa	2 dim
4	Sudut air masuk	30°

- C. Mempersiapkan dan mengumpulkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam membuat *prototype* turbin Kaplan dan merakitnya dalam bentuk *prototype* PLTMH.

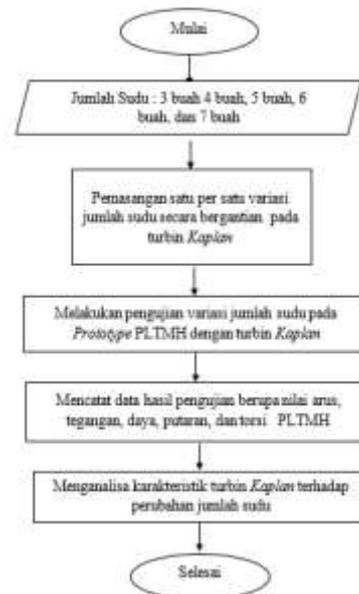


**Gambar 3. Desain Pemodelan PLTMH dengan Turbin Kaplan**

- D. Setelah melakukan perakitan kemudian melakukan pengujian terhadap prototype PLTMH. Pengujian ini berhasil apabila tidak terdapat kebocoran dalam *prototype*.



**Gambar 4. Diagram Alir perancangan prototype PLTMH**



**Gambar 5. Diagram Alir Pengujian Variasi Jumlah Sudu Terhadap daya output Turbin Kaplan**

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Realisasi Pemodelan PLTMH Menggunakan Turbin Kaplan

Pada penelitian ini, keseluruhan bagian PLTM yang telah diperoleh kemudian dirakit menjadi satu kesatuan sehingga menjadi desain *prototype* PLTMH yang utuh. Reliasasi desain *prototype* PLTMH dengan turbin Kaplan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Realisasi Prototype PLTMH

#### 4.2 Data Hasil Pengukuran

Kinerja dari PLTMH meliputi nilai arus, tegangan, daya, kecepatan putaran, dan torsi yang keluar dari generator. Dalam mengukur putaran turbin ini dilakukan disetiap variasi jumlah sudu yang berbeda yaitu dari sudu yang berjumlah 3 sudu, 4 sudu, 5 sudu, 6 sudu dan 7 sudu. Pada debit air sebesar 0,012 m<sup>3</sup>/s dengan menggunakan sudu masuk guide vane 30°. Pengukuran putaran turbin dilakukan dalam dua tahap yaitu sebelum turbin dikopel dengan generator dan sesudah turbin dikopel dengan generator. Pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali supaya mendapat hasil yang lebih akurat. Berikut merupakan data- data yang di dapat dari pengujian secara langsung.

##### 4.2.1 Hubungan Jumlah Sudu Terhadap Putaran Turbin

Hubungan antara perubahan jumlah sudu pada turbin Kaplan terhadap kecepatan putar turbin sebelum dan sesudah dikopel generator di dapat pada Tabel 2 dan Gambar 7 .

Tabel 2. Hasil rata – rata Putaran Turbin sebelum dan sesudah di kopel dengan generator.

No	Jumlah sudu	Rata – rata Putaran Turbin	
		Sebelum	Sesudah
1	3	207.2	149.1
2	4	211.1	166.2
3	5	216.8	166.5
4	6	213.4	165
5	7	207.4	152.8



Gambar 7. Grafik Perubahan Jumlah Sudu terhadap Putaran Turbin

Dari Tabel 2 dan Gambar 7 dapat dilihat nilai kecepatan tertinggi dari turbin sebelum dikopel generator adalah sebesar 216,8 rpm pada turbin dengan jumlah sudu 5. Sedangkan kecepatan terendah dari turbin sebelum dikopel generator adalah sebesar 207,2 rpm pada turbin dengan jumlah sudu 3 buah. Putaran turbin setelah dikopel generator sebesar 166,5 rpm pada turbin yang berjumlah sudu 5 dan nilai putaran turbin setelah dikopel generator terkecil sebesar 149,1 rpm pada turbin yang memiliki sudu 3. Hal ini terjadi karena ketika jumlah sudu pada turbin bertambah maka semakin banyak energi kinetic air yang mengenai punggung bagian dalam sudu secara merata yang menyebabkan semakin besar gaya dorong yang diberikan air untuk memutar turbin untuk mendapat kecepatan putar maksimum.

##### 4.2.2 Hubungan Jumlah Sudu Terhadap Putaran Generator

Berdasarkan pengujian pengaruh perubahan jumlah sudu terhadap putaran generator didapat data dan grafik hubungan jumlah sudu terhadap putaran generator pada Tabel 3 dan Gambar 8 .

Tabel 3. Hasil rata – rata pengukuran Putaran Generator sebelum dan sesudah di kopel dengan beban.

no	Jumlah Sudu	Rata – rata Putaran Generator	
		Sebelum	Sesudah
1	3	768.7	656.8
2	4	848.1	718.1
3	5	865.9	749.6
4	6	835.1	716.4
5	7	784.9	669.4



Gambar 8. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Kecepatan Putar Generator

Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 8 dapat dilihat terjadi peningkatan nilai kecepatan putaran generator pada turbin dengan jumlah sudu 5 yaitu sebesar 865,9 rpm untuk kecepatan putar generator sebelum dikopel dengan beban dan 749,6 rpm setelah dikopel dengan beban. Hal tersebut terjadi karena kecepatan dari generator bergantung pada kecepatan turbin, ketika kecepatan turbin meningkat maka kecepatan putar pada generator juga meningkat.

4.2.3 Pengukuran Tegangan Output Generator

Hubungan antara perubahan jumlah sudu pada turbin Kaplan terhadap tegangan generator sebelum dan sesudah dibebani di dapat pada tabel 4 dan Gambar 9.

Tabel 4. Hasil Rata-rata pengukuran Tegangan sebelum dan sesudah di bebani.

no	Jumlah Sudu	Tegangan Generator (v)	
		sebelum	sesudah
1		9.765	8.091
2		10.904	8.384
3		12.074	8.798
4		11.778	8.723
5		9.807	8.123



Gambar 9. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Tegangan Generator

Berdasarkan pada tabel 4 dan Gambar 9 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai maksimum pada jumlah sudu 3 sehingga mencapai nilai maksimum pada jumlah sudu 5 yaitu sebesar 12,074 volt untuk tegangan output sebelum dikopel dengan beban dan 8,798 volt setelah dikopel dengan beban. Disisi lain ketika jumlah sudu melebihi 5 buah terjadi penurunan tegangan output. Hal ini terjadi karena nilai tegangan output dari generator bergantung pada kecepatan putar generator itu sendiri.

4.2.4 Pengukuran Arus Generator

Hubungan antara perubahan jumlah sudu pada turbin Kaplan terhadap arus generator sebelum dan setelah dibebani didapat data pada Tabel 5 dan Gambar 10.

Tabel 5. Hasil Rata-rata pengukuran arus generator sebelum dan sesudah di bebani.

No	Jumlah Sudu	Arus Generator (A)	
		Tanpa Beban	Beban 30 Watt
1	3	-	0.20
2	4	-	0.21
3	5	-	0.41
4	6	-	0.36
5	7	-	0.35



Gambar 10. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Arus Generator

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 10 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan nilai arus pada turbin dengan jumlah sudu 3 sehingga mencapai nilai maksimum pada jumlah sudu 5 yaitu sebesar 0,41 ampere setelah dikopel dengan beban. Disisi lain ketika jumlah sudu melebihi 5 buah terjadi penurunan arus output. Hal ini bisa terjadi karena nilai arus output dari generator bergantung pada kecepatan putar generator itu sendiri.

#### 4.2.5 Perhitungan Daya yang Dihasilkan Generator

Hubungan antara perubahan jumlah sudu pada turbin Kaplan terhadap daya output didapat pada Tabel 6 dan Gambar 11.

Tabel 6. Perhitungan daya output Generator

No	Jumlah Sudu	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	3	8.09	0.20	1.58
2	4	8.38	0.21	1.76
3	5	8.80	0.41	3.59
4	6	8.72	0.36	3.11
5	7	8.12	0.35	2.86



Gambar 11. Grafik Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Daya Output Generator

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 11 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan daya output pada turbin dengan jumlah sudu 3 hingga mencapai nilai maksimum pada jumlah sudu 5 yaitu sebesar 3,59 Watt setelah dikopel dengan beban. Disisi lain ketika jumlah sudu melebihi 5 buah terjadi penurunan daya output. Hal ini disebabkan karena nilai daya output dari generator bergantung dari tegangan output dan arus output generator itu sendiri.

#### 4.2.6 Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Torsi Turbin

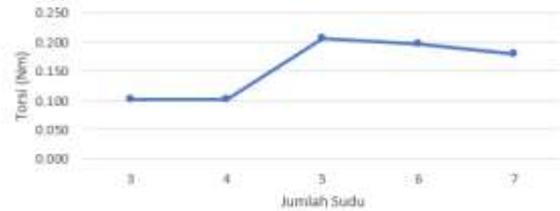
Berikut grafik yang menunjukkan hubungan antara perubahan torsi terhadap jumlah sudu di dapat pada tabel 7 dan gambar 12.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Torsi terhadap Variasi Jumlah Sudu

No	Jumlah sudu	Torsi 0(Nm)
1	3	0.101

2	4	0.101
3	5	0.206
4	6	0.197
5	7	0.179

Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Torsi Turbin



Gambar 12. Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Torsi Turbin

Berdasarkan Tabel 7 dan Gambar 12 dapat dilihat bahwa peningkatan nilai torsi turbin terjadi pada jumlah sudu 3 yang mencapai nilai maksimum pada jumlah sudu 5 sebesar 0,206 Nm. Hal tersebut terjadi disebabkan karena besar torsi yang dihasilkan turbin untuk memutar generator bergantung pada kemampuan turbin untuk memaksimalkan energi kinetik air yang dapat diserap oleh runner turbin itu sendiri.

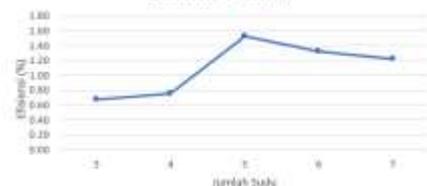
#### 4.2.7 Perhitungan Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi PLTMH

Hubungan antara pengaruh jumlah sudu terhadap efisiensi di dapat pada tabel 8 dan Gambar 13.

Tabel 8. Hasil Perhitungan Efisiensi Terhadap Variasi Jumlah Sudu.

No	Jumlah Sudu	Daya Input	Daya Output	Efisiensi (%)
1	3	235.2	1.58	0.67
2	4	235.2	1.76	0.75
3	5	235.2	3.59	1.53
4	6	235.2	3.11	1.32
5	7	235.2	2.86	1.21

Perubahan Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi PLTMH



Gambar 13. Grafik Perhitungan Efisiensi Jumlah Variansi Sudu

Berdasarkan Tabel 8 dan Gambar 13 terjadi peningkatan nilai efisiensi turbin dengan jumlah sudu 3 hingga mencapai nilai maksimum pada jumlah sudu 5 yaitu sebesar 1,53%. Peningkatan efisiensi ini terjadi karena daya *output* yang dihasilkan oleh generator setelah dikopel dengan turbin yang memiliki jumlah sudu 5 memiliki nilai paling tinggi. Artinya turbin dengan sudu 5 dapat memaksimalkan energi kinetik yang diberikan oleh air dibandingkan dengan sudu uji lainnya.

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan didapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Kecepatan putar maksimum didapat oleh turbin dengan jumlah sudu 5 dengan nilai sebesar 216,8 rpm sebelum dikopel dengan generator dan 166,5 rpm setelah dikopel oleh generator. Kecepatan putar generator maksimum yang didapatkan pada turbin yang memiliki jumlah sudu 5 adalah 865,9 rpm sebelum dikopel dan 749,6 rpm untuk kondisi setelah dibebani.
2. Tegangan arus daya yang dihasilkan secara berturut-turut yaitu 8,798 volt, 0,41 Amper, dan 3,59 Watt dengan torsi maksimum sebesar 0,206 Nm.
3. Efisiensi terbesar yang diperoleh yaitu 1,53% pada turbin dengan jumlah sudu 5 buah.
4. Sudu 5 mendapat nilai daya output tertinggi yang disebabkan karena jarak antar sudu paling baik sehingga energi kinetik dari air secara penuh mengenai punggung sudu yang mengakibatkan putaran pada turbin memiliki nilai tinggi.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] RUPTL PLN. (2018). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik.
- [2] RUEN. (2017). Rencana Umum Energi Nasional (pp. 67–69). pp. 67–69.

- [3] Saleh, Z., Apriani, Y., Ardianto, F., Purwanto, R., Studi, P., Elektro, T., Air, B. T. (2019). Analisis Karakteristik Turbin Crossflow Kapasitas 5 kW. *Jurnal Surya Energy*, 3(2), 255–261.
- [4] Suparyawan, D., Kumara, I., & Ariastina, W. (2013). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro Di Desa Sambangan Kabupaten Buleleng Bali. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 12(2). <https://doi.org/10.24843/10.24843/MI-TE>
- [5] Putra, F. A. (2018). Analisa Pengaruh Sudut Sudu Dan Debit Aliran Terhadap Performa Turbin Kaplan. *Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin*, 1(1), 1–9.
- [6] Natural Resources Canada. (2004). Buyer's Guide, e-book. In Natural Resources Canada. Retrieved from <https://www.builditsolar.com/Projects/Hydro/CanadaMicroHydroGuide.pdf>
- [7] Momin, A., Dave, N., Patel, P., & Panchal, K. (2017). Design and Development of Kaplan Turbine Runner Blade. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO, 3297, 16519–16528)*. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2017.0608246>