

ANALISA PENGARUH KEMIRINGAN *HEAD* DAN VARIASI SUDUT *BLADE* TURBIN ULIR TERHADAP KINERJA PLTMH

I Putu Wahyu Indra Wedanta¹, Wayan Arta Wijaya², Lie Jasa²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jalan Kampus Bukit Jimbaran, Kuta, Bali 80361

wahyuindrawedanta@yahoo.co.id, artawijaya@ee.unud.ac.id, liejasa@unud.ac.id

ABSTRAK

Bali mempunyai banyak air terjun dimana bisa dimanfaatkan menjadi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro), PLTMH menggunakan 2 jenis turbin salah satunya turbin ulir atau Archimedes screw. Saat ini turbin Ulir masih langka di Bali, sehingga perlu dibuatkan sebuah pemodelan PLTMH untuk mendapatkan data spesifik. Penelitian ini membahas Analisa pengaruh Kemiringan Head dan Variasi Sudut Blade Turbin Ulir Terhadap Kinerja PLTMH sehingga didapatkan torsi, putaran turbin, tegangan, arus, daya dan putaran yang dihasilkan oleh generator. Hasil pengukuran tertinggi pada kemiringan head 400 dan variasi sudut blade 280. Tegangan, arus dan daya yang diperoleh 73,8 V, 148,9 A dan 10,98882W. Kecepatan Putaran turbin sebelum dikopel generator didapatkan putaran 596 rpm dan 304 rpm setelah dikopel, sedangkan kecepatan putaran generator 3863 rpm. Torsi dan efisiensi yang dihasilkan yaitu 0,3492 Nm dan 14,16 %.

Kata kunci : PLTMH, Kemiringan *Head*, Variasi Sudut Blade, Turbin Archimedes Screw

ABSTRACT

Bali has many waterfalls which can be used as Micro Hydro Power Plant (MHPP). It uses 2 types of turbines, one of them is screw turbine or Archimedes screw. Screw turbine is still rare, therefore a MHPP modeling needs to be made to obtain specific data. This study will discuss the analysis of the influence of the Head Slope and the Variation of the Angle of the Blade of Turbine to Performance of the MHPP, to determine the torque, turbine rotation, voltage, current, power and rotation produced by the generator. Best measurement results on the slope of the head 400 and variations in blade angle 280. Voltage, current and power obtained by 73.8 V, 148.9 A and 10.98882 W. At the turbine speed before coupling, the generator is obtained 596 rpm and 304 rpm after coupling, while the generator rotation is 3863 rpm. The resulting torque and efficiency are 0.3492 Nm and 14.16%.

Key Words : MHPP, Head Tilt, Blade Angle Variation, Archimedes Screw Turbine

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam bidang sumber daya air, tetapi untuk saat ini sedang dirintis dukungan pemerintah dalam bidang sumber daya air untuk memenuhi kebutuhan pemerintah yaitu dengan pengadaan tenaga listrik dari sektor energi terbarukan melalui optimalisasi potensi prasarana sumber daya air seperti waduk atau bendungan maupun saluran irigasi untuk dapat dimanfaatkan oleh pihak

swasta melalui kerjasama pemanfaatan prasarana yang ada.

Potensi energi air yang besar dan pemanfaatannya masih belum maksimal, sudah selayaknya dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah terpencil, pedesaan dan juga dikembangkan untuk sistem interkoneksi dengan jaringan PLN yang ada dengan demikian pemerintah harus mulai mengembangkan dari segi potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) lebih banyak lagi. Akan tetapi

dalam pembangunan PLTMH harus selalu memperhatikan adanya beberapa aspek di yaitu aspek teknis, aspek lingkungan, dan aspek ketersediaan energi [1].

Bali yang mempunyai banyak air terjun dimana bisa di dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan kecepatan laju air (debit) dan sudut ketinggian jatuh air yang bisa digunakan untuk memutar turbin. Kendala dalam pembangunan PLTA di Bali di antaranya yaitu pada beberapa air terjun memiliki sudut ketinggian jatuh air yang rendah sehingga mengakibatkan kurangnya tenaga untuk menghasilkan listrik. Faktor tersebut mendorong di kembangkannya pembangkit listrik yang bisa menggunakan kecepatan laju air (debit) yang besar sebagai media penghasil energi listrik.

Pembangkit yang memenuhi kriteria tersebut yakni PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro). Sistem kerja PLTMH sama dengan PLTA namun pembangkit ini tidak memerlukan ketinggian jatuh air yang tinggi selain itu yang menjadi salah satu pembeda dalam pembangkit ini yaitu menggunakan 2 jenis turbin yang meliputi turbin yang berbentuk kincir dan turbin yang berbentuk *screw* atau bisa disebut turbin *Archimedes screw*. Dalam penelitian ini PLTMH dengan menggunakan turbin *screw* dimana sangat sulit untuk menghitung karakteristik maksimum dalam kondisi riil sehingga perlu menggunakan prototipe skala laboratorium.

Untuk mendapatkan output maksimum dari PLTMH model *screw* sudah dilakukan dengan beberapa kriteria seperti penelitian pada pemodelan prototipe PLTMH menggunakan turbin *Archimedean screw* dengan membandingkan Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir Terhadap Daya Putar Turbin Dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dengan mengabaikan penggunaan variable variasi sudut ulir [2]. Penelitian ini menggunakan tekanan air sebagai penggerak turbin *Archimedes screw*. Penelitian Pengaruh Variasi Sudut Ulir pada Turbin Ulir (*Archimedean Screw*) PLTMH dengan Head Rendah dengan pemodelan prototipe PLTMH yang sudah di buat sebelumnya[3], Adapun pada tinjauan ini tidak memperhitungkan variabel sudut kemiringan *head* turbin ulir. Pada penelitian ini melakukan tinjauan untuk menyempurnakan penelitian sebelumnya sehingga variable yang digunakan pada

penelitian ini yaitu pengaruh kemiringan *Head* dan variasi sudut *blade* turbin ulir terhadap kinerja PLTMH

2. KAJIAN PUSTAKA

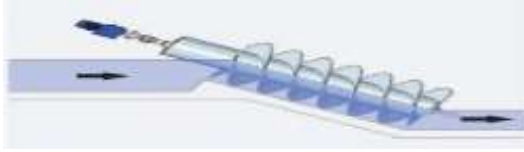
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ialah pembangkit listrik berskala kecil, berkisar antara 100-200 kW, yang memanfaatkan tenaga atau aliran air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean* energi karena ramah lingkungan [4]. Pada segi teknologi, PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Komponen - komponen umum serta kegunaannya pada sistem PLTMH adalah Bendungan, Saringan (*Sand trap*), Pintu pengambilan air (*Intake*), Pipa pesat (*Penstok*), Katub utama (*main value* atau *inlet value*) dan Power House

Jika dibandingkan dengan pembangkit listrik yang lain, PLTMH memiliki beberapa kelebihan yaitu tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca, hanya membutuhkan sejumlah kecil aliran air, berfungsi sebagai '*run-of-river system*,' yang berarti bahwa air yang melewati generator diarahkan kembali ke sungai sehingga dampak relatif minimal atau tidak berdampak sama sekali pada ekologi sekitarnya dan memenuhi kebutuhan listrik untuk negara-negara berkembang. Adapun beberapa kekurangan yang dimiliki Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yaitu di beberapa lokasi besar aliran sungai tergantung dari musim dan ini dapat membatasi output daya dan tiap lokasi memiliki keadaan yang bersifat unik. Karena itu, desain PLTMH yang optimal untuk tiap lokasi tidak bisa disamakan. Studi kelayakan suatu lokasi untuk pembangunan PLTMH biasanya memakan waktu lama dan biaya besar.

2.2 Tubin Ulir (Archimedes screw)

Archimedean screw adalah jenis ulir yang telah dikenal sejak zaman kuno dan telah digunakan sebagai pompa untuk pengairan.



Gambar 1. Turbin Ulir

Prinsip kerja dari turbin ini dimana tekanan dari air yang melalui bilah-bilah sudu turbin mengalami penurunan tekanan sejalan dengan penurunan kecepatan air akibat adanya hambatan dari bilah – bilah sudu turbin maka tekanan ini akan memutar turbin dan menggerakkan generator listrik setelah sebelumnya daya putaran poros ditransmisikan melalui *gearbox*.

Turbin *screw* merupakan salah satu turbin yang sangat spesial karena dapat beroperasi pada daerah yang memiliki head yang sangat rendah. Pada penggunaannya turbin *screw* ini posisi sudutnya tergantung dari kondisi *head* yang ada di lapangan. Turbin *screw* bekerja pada head rendah dengan ketinggian air jatuh antara 1 – 15 m. Sudut untuk penentuan *head* turbin atau kemiringan poros turbin berada antara 30° - 60°. Untuk pembangunan pembangkit listrik PLTMH Turbin Ulir, hal yang harus diperhatikan yaitu : lebar sungai, bagian dari dasar sungai, hambatan alam seperti batu, populasi pohon, dan stabilisasi alur sungai

2.3 Kemiringan

Tingkat kemiringan yang diwakili oleh indikator gradien skematik, semakin miring areal, semakin besar kemungkinan untuk ditemukannya *head* yang cukup untuk PLTMH. Posisi kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin, semakin besar tekanan atau kecepatan air maka daya putar turbin akan semakin cepat yang sangat berpengaruh terhadap daya *output* yang akan dihasilkan oleh generator. Semakin tinggi jarak horizontal maka jarak vertikalnya semakin sempit, begitu juga sebaliknya, jika jarak horizontal semakin rendah maka jarak vertikalnya semakin luas [5]. Derajat kemiringan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$\tan \alpha = y/x \quad \alpha = \tan^{-1} (y/x) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- Tan α = derajat kemiringan
- y = jarak vertikal
- x = jarak horizontal

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian mengenai model PLTMH dengan menggunakan turbin *screw* ini dimulai pada bulan Juli 2019. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi dan Workshop Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana. Sumber data pada penelitian ini diperoleh dari jurnal, artikel, dan buku yang berhubungan dengan objek penelitian, serta data hasil pengujian alat prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan turbin *screw* yang akan digunakan pada penelitian ini. Pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan metode Kepustakaan dan Observasi. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam prototipe PLTMH dengan menggunakan turbin *Archimedes screw*, yaitu Box, Pompa air, Generator, Turbin *Archimedes screw*, Tachometer, Voltmeter, Manometer, Amperemeter, Busur dan Box Panel. Berikut ini merupakan spesifikasi sistem PLTMH dengan memperkirakan nilai *head*, volume box, diameter pipa, dan panjang rumah turbin yang akan dipakai.

Tabel 1. Sistem PLTMH

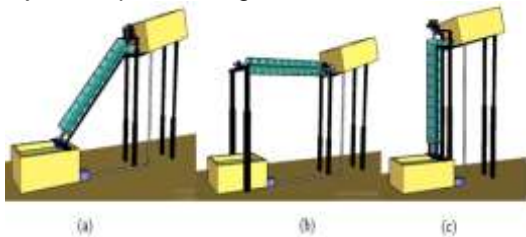
Parameter	Value
Volume Box	220 liter
Head Netto	190 cm
Panjang rumah turbin	150 cm
Diameter rumah turbin	27 cm
Diameter pipa	7,6 cm

Tabel 2. Spesifikasi Turbin PLTMH

Parameter	Value
Diameter turbin	26 cm
Jari-jari turbin	13 cm
Tebal sudu <i>screw</i>	0,25cm
Jarak setiap sudu <i>screw</i>	22 cm
Lebar sudu <i>screw</i>	10 cm
Jumlah sudu <i>screw</i>	1 buah
Jumlah lilitan <i>screw</i>	7 buah
Sudut sudu <i>screw</i>	40°
Diameter poros utama	2,5 cm
Diameter poros luar	6 cm
Panjang poros utama	215 cm
Panjang poros luar	150 cm
Berat turbin	24 kg

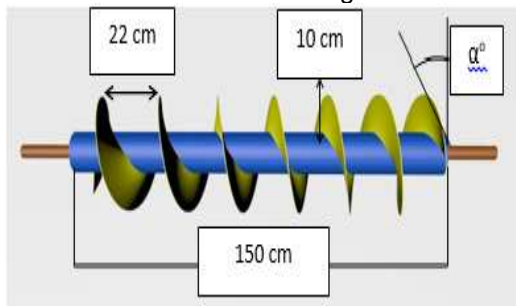
Pada pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini menggunakan turbin dengan jenis *Archimedes srew* yang direncanakan memiliki diameter 30 cm, lebar sudu 10 cm, jarak antar sudu 22 cm dengan jumlah lilitan sudu 7 buah dan sudut sudu berbentuk ulir. Jika diameter

turbin dirancang kurang dari 30 cm, potensi air yang didapat turbin menjadi tidak maksimal karena air banyak terbuang. Sedangkan jika turbin dirancang lebih dari 30 cm, putaran turbin yang diperoleh relatif kecil dari potensi air yang ada. Potensi air yang dipakai pada penelitian ini adalah air pada genangan box, sehingga potensi airnya tidak besar seperti pada air terjun atau saluran irigasi. Desain PLTMH ini menggunakan 2 box penampungan air yang diletakkan di atas sebagai *Head* turbin yang dapat diatur sesuai tinggi yang akan dijadikan perbandingan.



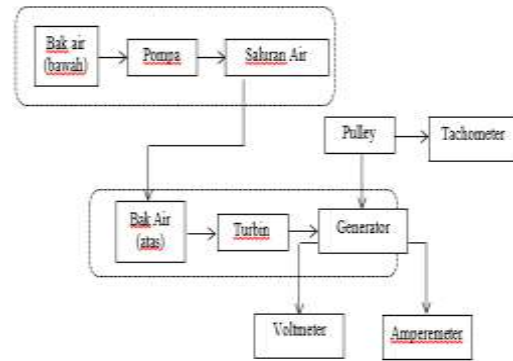
Gambar 2. Desain pemodelan PLTMH. Sudut *head* turbin 40°(a), Sudut *head* turbin 0°(b), Sudut *head* turbin 90°(c) [6]

Spesifikasi desain turbin *Archimedes screw* yang dipakai dalam pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini memiliki jumlah sudu *screw* sebanyak 1 buah. Diameter turbin ini adalah 26 cm dengan jari-jari turbin yaitu 13 cm dan ketebalan *blade* 0,25 cm. Untuk jumlah lilitan *screw* adalah 7 buah dengan jarak antara setiap *blade screw* 22 cm dan tinggi *blade screw* 10 cm. Bahan yang digunakan untuk pembuatan *blade* turbin yaitu menggunakan plat besi. Turbin *Archimedes screw* ini memiliki berat 24 kg.



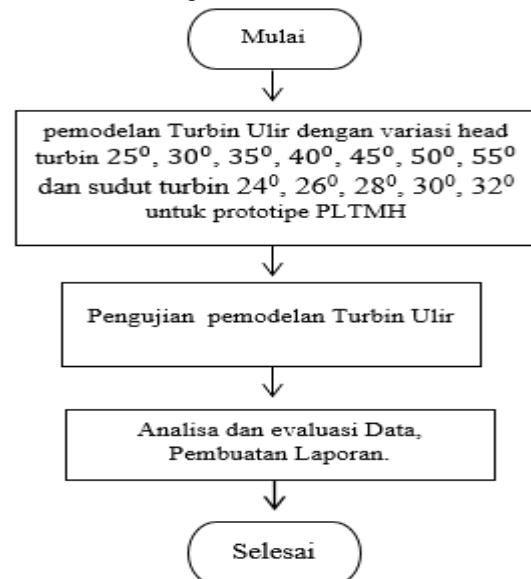
Gambar 3. Turbin Ulir dengan jarak antar Sudu 22 cm [6]

Berikut adalah diagram blok pengujian dari pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro dan pencatatan data yang akan dilakukan.



Gambar 4. Diagram Blok Pengujian [6]

Adapun cara kerja sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro yaitu pmpa akan menghisap air yang terdapat pada bak, kemudian air dialirkan melalui pipa sampai ke bak penampungan air yang dipasang pada *Head* turbin ditampung kembali pada bak. Kemudian air dialirkan ke bilah-bilah turbin dan turbin berputar sehingga terjadi energi mekanik turbin berputar, turbin terhubung dengan *pulley* turbin melalui sebuah poros. *Pulley* turbin dihubungkan dengan *pulley* yang terhubung pada rotor generator (*pulley* generator). Putaran yang terjadi pada turbin akan memutar generator melalui kedua *pulley* yang terhubung. Generator akan merubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Untuk mengukur putaran turbin dan generator dipergunakan tachometer. Sedangkan voltmeter dan amperemeter dipergunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 5. Diagram *Flow Chart* Tahapan Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan PLTMH Menggunakan Turbin Archimedes Screw

Cara kerja dari pemodelan PLTMH dengan menggunakan turbin *Archimedes screw* ini adalah air yang terdapat dalam box dihisap dengan menggunakan pompa yang terdapat pada box, kemudian air dialirkan ke pipa menuju *blade* turbin screw paling atas. Air dari ujung atas pipa mengalir masuk ke ruang di antara kisar *blade screw* dan keluar dari ujung bawah. Sehingga menimbulkan gaya berat air dan beda tekanan hidrostatis dalam ruang *blade screw* sehingga mendorong *blade screw* disepanjang poros turbin dan memutar poros turbin pada sumbunya. Kemudian *pulley* yang terdapat pada ujung atas poros turbin memutar *pulley* yang terdapat pada generator listrik. Pada generator dipasang voltmeter dan amperemeter yang digunakan untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan generator. Alat manometer dipasang pada pipa untuk mengukur tekanan air sedangkan tachometer digunakan untuk mengukur putaran generator dan turbin.

4.2 Realisasi Pemodelan PLTMH Menggunakan Turbin Archimedes

Realisasi pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan Turbin Archimedes (*Archimedean Screw*) yang terdiri dari beberapa komponen, yaitu : Rangka PLTMH, Generator, Turbin dengan variasi sudut 24° , 26° , 28° , 30° dan 32° , box penampungan air, pompa air, instalasi pipa pembawa, dan alat ukur.



Gambar 6 Pemodelan PLTMH dengan turbin Ulir

Pada penelitian ini, *box* yang dipilih sebagai tempat penampung air adalah box plastik tebal, dengan panjang box 100 cm, lebar 65 cm dan tinggi 56 cm. Realisasi dari pemilihan box dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 7. Box penampungan Air

Bahan rangka pada pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro menggunakan besi tipe hollow berukuran 7cm x 7cm pada bagian kaki-kaki, besi tipe hollow berukuran 6cm x 6cm pada bagian rangka atas, serta besi tipe hollow dengan ukuran 4cm x 4cm pada rumah turbin. Ketinggian rangka pada pemodelan ini dapat diatur sampai dengan ketinggian 215cm. dengan lebar mencapai 60cm. Pada penelitian ini digunakan ketinggian rangka 134cm (sumbu y) dan 180 cm (sumbu x).



Gambar 8. Rangka Pemodelan PLTMH

Pada penelitian ini, generator yang digunakan merupakan generator yang di produksi yakasawa Jepang dengan merek Minertia. Generator ini memiliki panjang 10,5 cm, diameter 8,5 cm dan memiliki as dengan panjang 2,75 cm dan diameter as 12mm. Generator ini memiliki kecepatan 1000 rpm dan dapat menghasilkan arus 15 A. Berat generator ini adalah 2,7 kg. Pada generator ini terdapat 4 *brush* yaitu 2 positif dan 2 negatif. Generator ini digunakan karena mampu menghasilkan energi listrik walaupun putaran yang digunakan untuk memutar generator tidak terlalu tinggi.



Gambar 9. Realisasi Generator [6]

Pada penelitian ini, pompa air yang dipilih adalah pompa air bermerk Honda. Realisasi dari pemilihan pompa air dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 10. Realisasi Pompa Air [6]

Pada penelitian ini, turbin Archimedes Screw dibuat menggunakan bahan plat besi. Realisasi dari desain turbin Archimedes Screw dengan diameter turbin 26 cm, lebar turbin 10 cm, jumlah sudu turbin 1 sudu dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 11. Realisasi Turbin Archimedes Screw [7]

4.3 Realisasi Penggunaan Turbin Archimedes pada PLTMH

Dalam penelitian ini tekanan air yang digunakan sebesar 24 psi, dimana pada tekanan ini memiliki gaya dorong dari aliran air yang besar sehingga mengakibatkan turbin berputar. Gaya

orong aliran air yang diberikan berbanding lurus dengan tekanan, dimana semakin besar tekanan maka gaya dorong aliran air yang diberikan semakin besar. Pengukur debit aliran air juga dilakukan guna mengetahui seberapa banyak air yang mengalir dalam satuan volume per waktu. Dalam pengukuran debit air menggunakan box penampungan air berukuran 220 liter. Pengaturan debit air ini disesuaikan dengan banya air yan diberikan sehingga didapatkan debit air sebesar 0.0059 m³/s.

Pada penelitian ini menggunakan Turbin jenis Archimedes. Pemilihan turbin ini dikarenakan turbin ini memiliki banyak kelebihan diantaranya mudah dalam pemeliharaan, *fish friendly* dimana turbin ini tidak mengganggu ekosistem ikan disekitarnya, dan memiliki efisiensi yang baik. Turbin yang digunakan memiliki jumlah sudu sebanyak 1 *blade*. Turbin ini memiliki panjang 150 cm dengan diameter jari- jari turbin sebesar 13 cm. Pada penelitian ini menggunakan satu buah Turbin Archimedes dengan variasi sudut ulir (*blade*), mulai dari sudut 24⁰ sampai dengan sudut 32⁰.

4.4 Pengukuran Derajat Kemiringan Head Turbin

Kemiringan yang tajam dengan maksud agar diperoleh kecepatan dan tekanan air yang tinggi untuk memutar turbin, semakin besar kecepatan air maka daya putar turbin akan semakin cepat yang sangat berpengaruh terhadap daya output yang akan dihasilkan oleh generator. Pengukuran derajat kemiringan ditentukan dengan mengetahui jarak vertical (y) dan jarak horizontal (x) dan dapat ditentukan dengan persamaan yang terhitung dari 10⁰:
 $\tan \alpha = y/x$ $\alpha = \tan^{-1} (y/x)$
 $\tan \alpha = 36/210$ $\alpha = \tan^{-1} (36/210) = 10^0$

Tabel 3. Hasil Pengukuran Derajat Kemiringan

Jarak Vertical (y) (cm)	Jarak Horizontal (x) (cm)	Derajat Kemiringan
89	195	25 ⁰
104	190	30 ⁰
120	185	35 ⁰
134	180	40 ⁰
147,5	175	45 ⁰
160	170	50 ⁰
173	155	55 ⁰

Untuk mengetahui daya hidrolisis atau daya yang dihasilkan oleh air dari suatu ketinggian dihitung dari sudut 25° , Perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan:

$$P = \rho \cdot Q \cdot h \cdot g$$

$$P = 1000 \cdot 0,0059 \cdot 0,89 \cdot 9,81 = 51,51 \text{ watt}$$

Hasil perhitungan daya hidrolisis air dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4. Hasil Pengukuran Daya Hidrosalisis Air

Sudut	Ketinggian (head)	Daya Hidrolisis
25°	89	51.51
30°	104	60.19
35°	120	69.45
40°	134	77.55
45°	147,5	85.37
50°	160	92.60
55°	173	100.13

4.5 Pengukuran Putaran Turbin

Hasil pengukuran putaran turbin sebelum maupun setelah dikopel dengan generator menunjukkan rpm tertinggi didapat pada posisi sudut *head* turbin di 40° dengan menggunakan variasi sudut *blade* 28° . Pada sudut *head* turbin 40° dan variasi sudut *blade* 28° aliran air yang keluar dari bak mengenai sudu turbin yang paling aktif berputar dan aliran air pada rumah turbin dapat membuat turbin berputar secara maksimal, sehingga pada sudut *head* turbin 40° dan variasi sudut *blade* 28° putaran turbin menunjukkan rpm tertinggi. Pada saat sebelum dikopel dengan generator hasil pengukuran putaran turbin pada sudut *head* turbin 40° dan variasi sudut *blade* 28° diperoleh 448 rpm, sedangkan setelah dikopel dengan generator diperoleh 304 rpm. Putaran turbin pada saat dikopel dengan generator menurun karena pada *pulley* yang terpasang pada rotor turbin dan rotor generator terhubung, sehingga terjadi pembebanan yang mengakibatkan putaran turbin menurun. Pada sudut *head* turbin 40° keatas kecepatan putaran turbin menurun, karena air yang keluar dari bak lebih banyak mengenai bagian atas rumah turbin dan mengenai sudu turbin bagian atas dan sudut *head* turbin 40° kebawah kecepatan putaran turbin menurun, hal tersebut dikarenakan air sudah tidak lagi mengenai daerah paling aktif pada turbin dan semakin rendah sudut turbin, maka semakin banyak sudu turbin yang tenggelam sehingga turbin lebih berat untuk berputar.

4.6 Pengukuran Putaran Generator

Hasil pengukuran putaran generator menunjukkan putaran tertinggi pada sudut *head* turbin 40° dengan menggunakan variasi sudut *blade* 28° , karena pada pengukuran putaran turbin rpm tertinggi juga terukur pada sudut 40° dengan menggunakan variasi sudut *blade* 28° . pada saat generator setelah di kopel mencapai 2078 rpm. Nilai tersebut didapat karena rasio *pulley* antara turbin dan generator adalah 1 : 12. Pada sudut *head* turbin 45° kecepatan putaran generator menurun, karena pada pengukuran putaran turbin pada sudut *head* turbin 45° juga menurun, sehingga berpengaruh terhadap putaran generator.

4.7 Pengukuran Tegangan Generator

Hasil pengukuran tegangan generator dilakukan pada saat generator diberikan beban lampu 40 watt dan tanpa beban. Pada pengukuran tegangan saat tanpa beban, tegangan tertinggi diperoleh saat sudut *head* turbin 40° dengan menggunakan variasi sudut *blade* 28° dengan nilai tegangan 101,8 Volt DC.

Pada saat diberikan beban lampu 40 watt, tegangan tertinggi diperoleh saat sudut *head* turbin 40° dengan menggunakan variasi sudut *blade* 28° dengan nilai tegangan 74,4 Volt DC. Nilai tegangan yang diperoleh relatif masih kecil, karena putaran turbin yang telah dikopel dengan generator kurang tinggi sehingga berpengaruh pada putaran generator. Oleh karena itu, tegangan yang dihasilkan generator tidak maksimal. Pada sudut *head* turbin 45° karena kecepatan putaran turbin dan kecepatan putaran generator menurun, tegangan pada saat tanpa beban dan berbeban juga ikut menurun.

4.8 Pengukuran Arus Generator

Hasil pengukuran arus generator dilakukan pada saat generator diberikan beban lampu 40 watt. Pada pengukuran arus generator, arus tertinggi diperoleh saat sudut *head* turbin 40° dengan menggunakan variasi sudut *blade* 28° pada pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini dengan nilai arus 148.9 mA DC. Nilai arus yang diperoleh relatif masih kecil, hal tersebut terjadi karena putaran turbin kurang tinggi sehingga berpengaruh pada putaran generator. Oleh karena itu, arus yang dihasilkan oleh generator tidak maksimal. Pada sudut *head* turbin 45°

karena kecepatan putaran turbin dan kecepatan putaran generator menurun, maka arus yang dihasilkan juga ikut menurun.

4.9 Perhitungan Daya Generator

Hasil pengukuran daya generator dilakukan pada saat generator diberikan beban lampu 40 watt. Hasil pengukuran daya generator diperoleh dari hasil perkalian V (Tegangan) * I (Arus) generator yang terukur.

Pada pengukuran daya generator, daya tertinggi diperoleh pada pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro saat sudut head turbin 40° menggunakan variasi sudut blade 28° dengan nilai daya 11,07816 watt.

Pada sudut head turbin 45° daya yang dihasilkan generator menurun. Pada sudut head turbin 25°, lampu dapat menyala namun redup dan dari sudut head turbin 30° sampai 55° lampu dapat menyala, karena daya untuk menyalakan lampu cukup terpenuhi, walaupun daya generator menurun.

4.10 Hasil Pengukuran PLTMH

Pada pengukuran yang telah dilakukan dapat dikatakan turbin kurang mampu memutar atau memberikan tenaga pada generator sehingga generator tidak menghasilkan daya output maksimal. Pada pengujian rancang bangun pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini, akan dilakukan perhitungan torsi generator dan torsi turbin.

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh torsi terbesar sudut head turbin 40° dengan variasi sudut blade 28° adalah sebesar 0,3458 Nm. Kecepatan putaran turbin yang rendah pada head turbin 25° dengan variasi sudut blade 24° yang menghasilkan torsi yang paling rendah yaitu 0,01165 Nm, dibandingkan torsi pada sudut 30°, 35°, 40°, 45°, 50°, 55°.

Efisiensi merupakan rasio antara daya output dan daya input. Sebagaimana telah dijabarkan pada analisis – analisis sebelumnya yaitu pada hubungan sudut head turbin dan variasi sudut blade dengan putaran turbin, sudut head turbin dan variasi sudut blade dengan putaran generator, sudut head turbin dan variasi sudut blade dengan daya output dan sudut head turbin dan variasi sudut blade dengan torsi, bahwa dengan ketinggian sudut head turbin dan memvariasikan sudut blade

maka akan berpengaruh pada semua parameter tersebut. Efisiensi pada pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro ini diperoleh dari daya output yang dibagi dengan daya input.

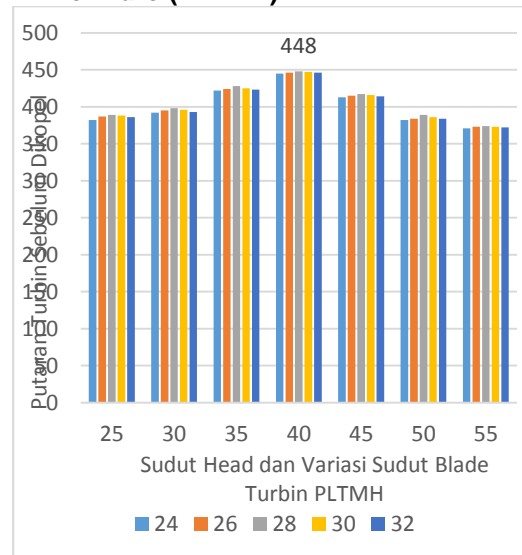
$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$\% \text{ efisiensi} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh efisiensi terbesar pada sudut head turbin 40° dengan variasi sudut blade 28° yaitu 14,28 %, sedangkan efisiensi terendah diperoleh pada sudut head turbin 55° dengan variasi sudut blade 24° yaitu 2,06 %. Sementara pada sudut head turbin 45° terjadi penurunan efisiensi, hal tersebut dikarenakan daya output pada sudut head turbin 45° menurun sehingga berpengaruh terhadap efisiensi.

Efisiensi meningkat bersamaan dengan seimbangannya aliran air masuk dengan tenggelamnya turbin. Namun untuk sudut 45° ke atas, karena kecepatan putaran turbin menurun yang disebabkan oleh air sudah tidak lagi mengenai daerah paling aktif pada turbin dan turbin semakin sedikit tenggelam, maka efisiensi pada sudut 45°, 50°, 55°, 60°, 70° ikut menurun.

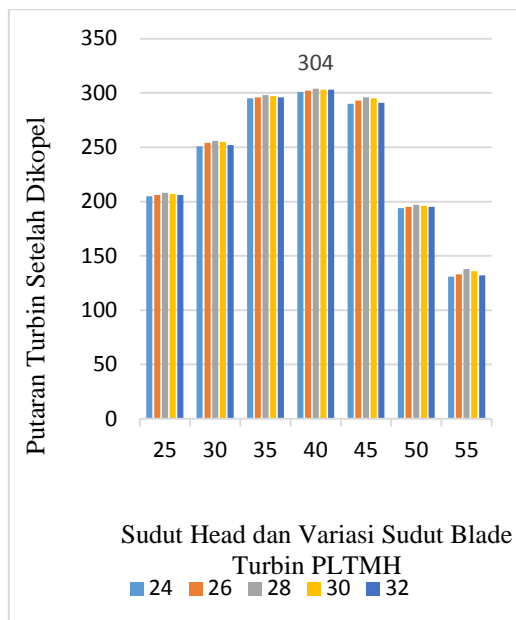
4.11 Hubungan Antar Parameter Pada Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)



Gambar 12. Grafik hubungan Sudut Head Turbin dan sudut Blade dengan Putaran Turbin Sebelum Dikopel

Semakin besar sudut *head* dan sudut *blade* turbin bukan berarti semakin cepat pula putaran turbin yang belum dikopel dengan generator. Hal ini karena pengaruh air yang melewati turbin, jika terlalu banyak merendam turbin, maka turbin akan lambat berputar, begitu pula sebaliknya jika turbin tidak tergenang air, turbin tidak akan berputar, jadi antara tenggelam turbin dan aliran air harus seimbang

Pada sudut *head* 40° dengan variasi sudut *blade* 28°, air tepat mengenai daerah paling aktif pada turbin sehingga putaran turbin sebelum dikopel dengan generator memiliki putaran tercepat yaitu sebesar 448 rpm. Sedangkan pada sudut *head* dengan variasi sudut *blade* turbin dibawah 35°, kecepatan putaran turbin semakin lambat, dikarenakan aliran air terlalu dalam menenggelamkan turbin. Kecepatan putaran turbin tertinggi yang terukur pada sudut *head* 35° adalah dengan variasi sudut *blade* 28° yaitu 426 rpm. Pada sudut *head* dengan variasi sudut *blade* turbin 45° keatas kecepatan putaran turbin menurun yang dikarenakan aliran air tidak mengenai bagian aktif turbin dan aliran air semakin tinggi sudut *head* turbin akan mengenai bagian atas turbin.



Gambar 13. Grafik hubungan Sudut *Head* Turbin dan sudut *Blade* dengan Putaran Turbin Setelah Dikopel

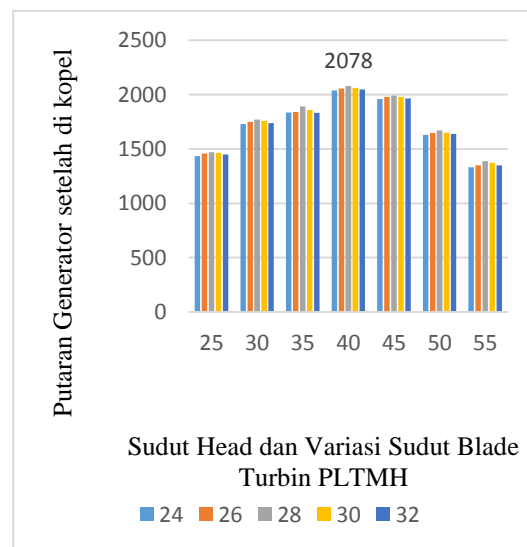
Sudut *head* turbin 40° dengan variasi sudut *blade* 28° memiliki kecepatan putaran turbin sesudah dikopel dengan generator tertinggi yaitu 304 rpm dikarenakan air

mengenai bagian paling aktif dari turbin dan tenggelamnya turbin juga seimbang dengan aliran air.

Pada sudut *head* dengan variasi sudut *blade* turbin dibawah 35° kebawah, kecepatan putaran turbin semakin lambat dikarenakan aliran air terlalu banyak menenggelamkan turbin, dan kecepatan putaran turbin tertinggi yang terukur pada sudut *head* 35° adalah dengan variasi sudut *blade* 28° yaitu 298 rpm

Pada sudut *head* turbin 45° keatas kecepatan putaran turbin menurun yang dikarenakan aliran air tidak mengenai bagian aktif turbin dan aliran air semakin tinggi sudut *head* turbin akan mengenai bagian atas turbin. Putaran turbin sebelum dikopel memiliki putaran tercepat pada sudut *head* 40° dengan variasi sudut *blade* 28°, hal tersebut berpengaruh pada putaran turbin setelah dikopel dengan generator.

Putaran turbin setelah dikopel dengan generator memiliki putaran tercepat pada sudut *head* 40° dengan variasi sudut *blade* 28° turbin yaitu sebesar 304 rpm. Namun putaran tersebut menurun pada saat sudut *head* turbin 35° kebawah dan sudut *head* turbin 45° keatas, dikarenakan pada sudut tersebut air sudah tidak lagi mengenai daerah paling aktif pada turbin



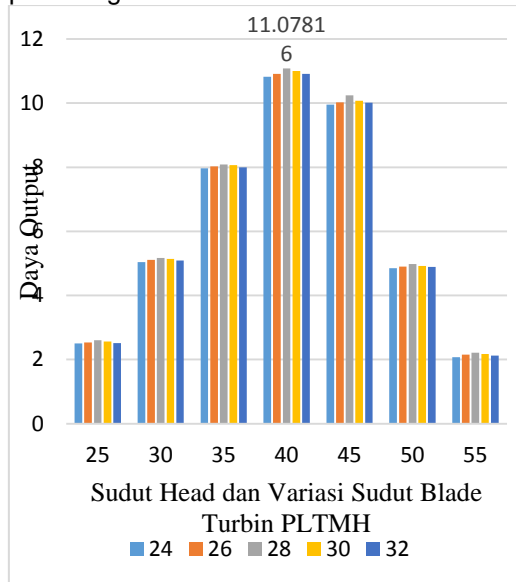
Gambar 14. Grafik hubungan Antara Sudut *Head* dan Variasi Sudut *Blade* Turbin dengan Putaran Generator setelah di kopel

Sudut *head* 40° dengan variasi sudut *blade* 28° memiliki kecepatan putaran generator tertinggi yang setelah di kopel yaitu 2078 rpm dikarenakan air mengenai bagian paling aktif dari turbin dan

tenggelamnya turbin juga seimbang dengan aliran air.

Pada sudut *head* dengan variasi sudut turbin dibawah 35° , kecepatan putaran generator menurun dikarenakan aliran air terlalu banyak menenggelamkan turbin yang berpengaruh terhadap putaran generator, dan kecepatan putaran generator tertinggi yang terukur pada sudut *head* 35° adalah dengan variasi sudut *blade* 28° yaitu 2078 rpm,

Pada sudut *head* turbin 45° keatas kecepatan putaran turbin menurun yang dikarenakan aliran air tidak mengenai bagian aktif turbin dan aliran air semakin tinggi sudut *head* turbin akan mengenai bagian atas turbin. Nilai tersebut didapat karena rasio *pulley* turbin dan *pulley* generator adalah 1 : 12, sehingga semakin tinggi putaran turbin semakin tinggi pula putaran generator.



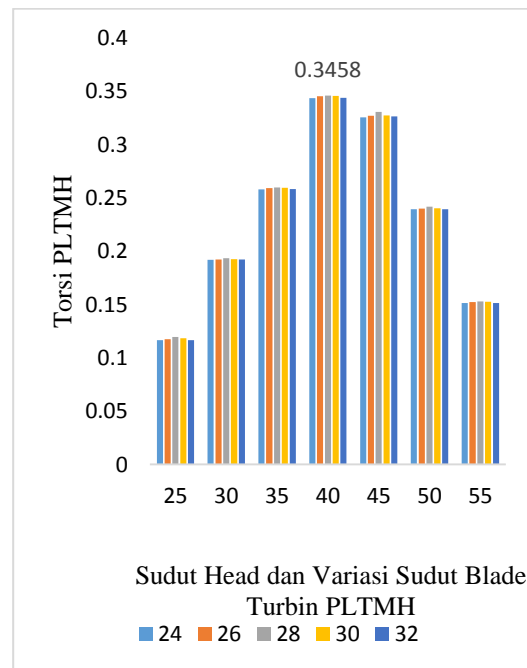
Gambar 15. Grafik hubungan Antara Sudut Head dan Variasi Sudut Blade turbin dengan Daya Output

Sudut *head* turbin 40° dengan variasi sudut *blade* 28° memiliki daya output tertinggi yaitu 11,07816 watt, namun terjadi penurunan daya output generator pada sudut *head* turbin 45° . Hal tersebut dikarenakan putaran generator yang menurun pada ketinggian head dan variasi sudut *blade* tersebut, sehingga mempengaruhi arus dan tegangan yang dihasilkan menjadi menurun.

Daya output tertinggi diperoleh pada sudut *head* 40° dengan variasi sudut *blade* 28° , pada sudut tersebutlah didapat putaran generator tertinggi, putaran generator

tersebut berpengaruh terhadap nilai arus dan tegangan yang dihasilkan oleh generator.

Daya tertinggi diperoleh saat sudut *head* turbin 40° dengan variasi sudut *blade* 28° dengan nilai daya 11,07816 watt. Namun terjadi penurunan daya pada sudut *head* turbin 45° , pada sudut *head* turbin 25° lampu dapat menyala namun redup. Pada sudut *head* turbin 30° dan 55° lampu menyala namun daya yang dihasilkan generator terlalu kecil.

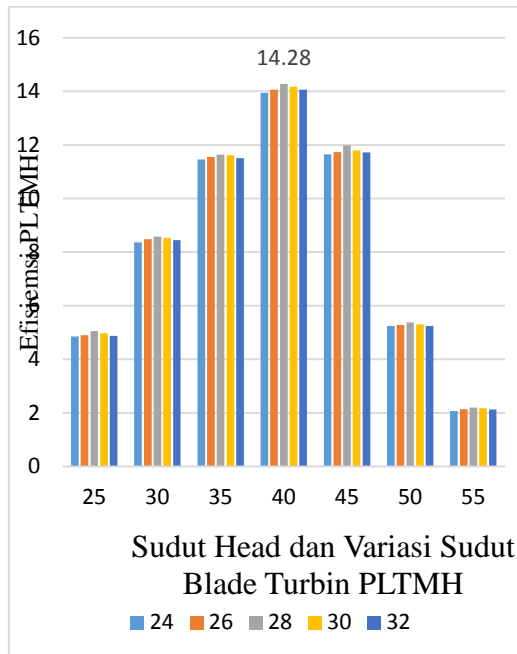


Gambar 16. Grafik hubungan Antara Sudut Head dan Variasi Sudut Blade Turbin dengan Torsi

Sudut *head* turbin 40° dengan variasi sudut *blade* 28° memiliki torsi tertinggi yaitu 0,3458 Nm, namun terjadi penurunan torsi pada sudut *head* dan variasi sudut *blade* pada 45° . Hal tersebut dikarenakan selisih antara kecepatan putaran turbin dengan kecepatan putaran generator pada sudut *head* dan variasi sudut *blade* pada 45° bukan yang paling tinggi. Karena torsi diperoleh dari kecepatan putaran turbin yang lebih rendah dari kecepatan putaran generatornya, hal tersebut akan menghasilkan torsi yang cukup untuk memutar generator.

Pada sudut *head* 40° dengan variasi sudut *blade* 28° kecepatan putaran turbin adalah 304 rpm sedangkan kecepatan putaran generator adalah 2078 rpm, dan memiliki selisih tertinggi dari pada yang

lain. Torsi tertinggi diperoleh pada sudut *head* 40° dengan variasi sudut *blade* 28° yaitu sebesar 0,3458 Nm. Torsi terendah diperoleh pada sudut *head* turbin 25° dengan variasi sudut *blade* 24° yaitu sebesar 0.1165 Nm.



Gambar 17. Grafik hubungan Antara Sudut Head dan Variasi sudut Blade Turbin Dengan Efisiensi

Efisiensi terbesar pada sudut *head* turbin 40° dengan variasi sudut *blade* 28° yaitu 14,28%, namun terjadi penurunan efisiensi pada saat sudut *head* dan variasi sudut pada 45°. Hal tersebut dikarenakan daya output pada saat sudut *head* turbin 45° lebih kecil dari sudut *head* turbin 24°. Sedangkan efisiensi terendah diperoleh pada sudut *head* 55° dengan variasi sudut 24° yaitu 2,06 %.

5. KESIMPULAN

Kinerja pemodelan pembangkit listrik tenaga mikro hidro sangat dipengaruhi oleh sudut kemiringan *Head* serta variasi *blade* yang digunakan. Semakin tinggi kemiringan *head* dan diikuti semakin besarnya sudut *blade* maka putaran turbin, putaran generator dan torsi yang dihasilkan semakin besar. Namun pada kemiringan *head* 45°, 50°, 55° putaran turbin yang dihasilkan semakin menurun, Pada kemiringan *head* 45°, 50°, 55° air tidak tepat mengenai bagian aktif turbin sehingga

mengakibatkan putaran turbin yang menurun.

Putaran turbin, putaran generator dan torsi terbesar diperoleh pada kemiringan *head* 40° dengan variasi sudut *blade* 28° dengan 596 rpm sebelum dikopel, 304 rpm setelah dikopel sedangkan pada putaran generator 3863 rpm dan putaran torsi sebesar 0,3458 Nm.

Dalam penelitian ini perhitungan tegangan, arus dan daya terbesar yaitu 73,8 V, 148,9 ampere dan 10,98882 watt dihasilkan pada sudut *head* turbin 40° dengan menggunakan variasi sudut *blade* 280. Dibutuhkan penelitian yang lebih variatif dengan beban yang berubah - ubah untuk mendapatkan data hasil yang lebih spesifik pada penelitian selanjutnya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rusdiono, M., Marsudi, S., & Wicaksono, P. . (2017). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Saluran Primer Sindupraja kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Ilmiah Teknik Pengairan Universitas Brawijaya*.
- [2] Juliana, I. ., Weking, A. I., & Jasa, L. (2018). Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir terhadap Daya Putar Turbin Ulir dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Universitas Udayana*, 17(3).
- [3] Saputra, A. ., Weking, A. I., & Wijaya, I. W. . (2019). Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut Ulir pada Turbin Ulir (Archimedean Screw) Pusat Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan Head Rendah. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Universitas Udayana*, 18(1).
- [4] Misbachudin, M., Subang, D., Widagno, T., & Yunus, M. (2016). Perancangan Pemangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Desa Kayuni Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat. *Jurnal Austenit Politeknik Negeri Sriwijaya*, 8(2).
- [5] Sukamta, S., & Kusmantoro, A. (2013). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Elektro, Universitas Negeri Semarang*, 5(2).
- [6] Ardika, I. K., Weking, A. I., & Jasa, L.

(2019). Analisa Pengaruh Jarak Sudu Terhadap Putaran Turbin Ulir Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 18(2).
<https://doi.org/10.24843/mite.2019.v18i02.p10>

[7] Juliana, I. ., Weking, A. I., & Jasa, L.

(2018). Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir terhadap Daya Putar Turbin Ulir dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Universitas Udayana*, 17(3)