

## Analisa Perubahan Daya Aktif Generator Serta Efisiensi Mekanik Generator Yang Dipengaruhi Oleh Perubahan Kemiringan Sudut Sudu Turbin Berpenampang Pelat Datar Pada Kinerja Turbin Aliran Crossflow Poros Horizontal

**Agung Prasetyo**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[agungprasetyo@mhs.unesa.ac.id](mailto:agungprasetyo@mhs.unesa.ac.id)

**Subuh Isnur Haryudo, Achmad Imam Agung, Unit Three Kartini**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
[subuhisnur@unesa.ac.id](mailto:subuhisnur@unesa.ac.id), [achmadimam@unesa.ac.id](mailto:achmadimam@unesa.ac.id), [unitthree@unesa.ac.id](mailto:unitthree@unesa.ac.id)

### Abstrak

Dalam artikel ini, penulis melakukan kajian literatur mengenai eksperimen hubungan perubahan debit air yang mengalir dan variasi kemiringan sudut sudu pada turbin *crossflow* pelat datar terhadap perubahan pada kinerja dari generator berupa daya dan efisiensi. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan variasi kemiringan sudut sudu  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ , dan  $20^\circ$ , yang akan diuji dengan variasi debit air sebesar 9,885 L/s, 11,804 L/s, 14,321 L/s, 16,149 L/s dan 18,110 L/s, untuk mengetahui perubahan daya yang dihasilkan generator serta efisiensi mekanik dari generator. Hasil dari penelitian didapatkan turbin dengan penambahan sudut sudu memiliki kinerja lebih optimal dibandingkan dengan turbin tanpa penambahan sudut sudu ( $0^\circ$ ) dan berpengaruh terhadap kinerja generator. Daya listrik tertinggi dihasilkan ketika generator dipasangkan dengan turbin memiliki kemiringan sudut sudu  $15^\circ$  dengan debit air 14,321 L/s dengan menghasilkan daya sebesar 1.092 W. Efisiensi tertinggi juga dihasilkan ketika dipasangkan dengan turbin  $15^\circ$  dengan debit air 14,321 L/s dengan nilai efisiensi sebesar 36,40%, hal ini disebabkan ketika sistem dipasangkan pada turbin dengan sudut sudu  $15^\circ$  arah aliran air yang menimpa sudu turbin mendekati sudut  $90^\circ$ , sehingga gaya dorong yang dihasilkan juga optimal sehingga turbin berputar dengan maksimal. Tetapi ketika dipasangkan dengan turbin sudut sudu  $20^\circ$  aliran air yang menimpa sudu melebihi sudut  $90^\circ$  sehingga gaya dorong yang dihasilkan juga berkurang. Jadi untuk mendapatkan daya generator yang optimal, turbin harus berputar dengan optimal, turbin beroperasi secara optimal ketika aliran air yang menimpa sudu turbin harus mendekati sudut  $90^\circ$ , sehingga gaya dorong yang dihasilkan juga optimal, dan turbin tidak boleh sampai terendam dengan aliran air karena akan saling menghilangkan gaya dorong yang dihasilkan oleh aliran air.

**Kata Kunci:** *Crossflow*, Efisiensi Generator, Kemiringan Sudut Sudu, Pelat Datar

### Abstract

In this article, the authors conducted a literature review on the experimental relationship between changes in flowing water flow and variations in the angle of the blade on a flat plate crossflow turbine to changes in generator performance in the form of power and efficiency. This research uses an experimental method with variations of blade angle  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ , and  $20^\circ$ , which will be tested with variations of water discharge of 9,885 L/s, 11,804 L/s, 14,321 L/s, 16,149 L/s and 18.110 L/s, to determine changes in the power generated by the generator and the mechanical efficiency of the generator. The results of the research show that the turbine with the addition of the blade angle has a more optimal performance than the turbine without the addition of the blade angle ( $0^\circ$ ) and has an effect on the performance of the generator. The highest electric power is generated when the generator is paired with a turbine with a blade angle of  $15^\circ$  with a water discharge of 14.321 with a power output of 1,092 W. The highest efficiency is also produced when paired with a  $15^\circ$  turbine with a water discharge of 14.321 L/s with an efficiency value of 36.40%, this is because when the system is attached to a turbine with a blade angle of  $15^\circ$ , the direction of the water flow that hits the turbine blade approaches a  $90^\circ$  angle, so that the force the resulting thrust is also optimal so that the turbine rotates optimally. But when paired with a turbine blade angle of  $20^\circ$  the flow of water that hits the blade exceeds an angle of  $90^\circ$  so that the resulting thrust is also reduced. So to get optimal generator power, the turbine must rotate optimally, the turbine operates optimally when the water flow that hits the turbine blade must approach an angle of  $90^\circ$ , so that the resulting thrust is optimal, and the turbine must not be submerged by water flow because it will mutually eliminate the thrust generated by the flow of water..

**Keywords:** *Crossflow*, Efficiency of Generator, Angle of the blade, Flate Plate

**PENDAHULUAN**

Sumber energi listrik kian meningkat sebagai kebutuhan saat ini pada era milenial. Mulai tahun 2007 sampai dengan 2018 ditunjukkan ada peningkatan sektor sejak tahun 2007 sampai 2018 menunjukkan kenaikan pada sektor daya yang dihasilkan dalam satuan GWh (Giga Watthour) Berdasar data dari Badan Pusat Statistik (BPS-Indonesia) sehingga direalisasikannya proyek 3500 MW merupakan usaha dari pemerintah Republik Indonesia saat ini. Sumber energi alternatif sangat dibutuhkan di era modern ini untuk dapat menjadi solusi dari sumber energi yang sudah ada agar sumber energi yang sudah ada bisa bertahan lebih lama. Ada berapa sumber energi alternatif yang dapat digunakan sebagai sumber energi listrik seperti air, angin, panas bumi, dan sinar matahari. Air merupakan sumber energi alternatif yang sangat mudah kita temui di sekitar kita dan juga sudah banyak dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan memanfaatkan aliran air untuk menggerakkan turbin air.

Menurut Muchlis dan Permana (2003) dalam penelitiannya “Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 Sampai Dengan 2020”. Kebutuhan energi listrik di Indonesia dalam kurun waktu 17 tahun, kebutuhan setiap tahunnya akan semakin meningkat, pada tahun 2003 konsumsi energi listrik membutuhkan 91,72 TWh dan diproyeksikan akan meningkat menjadi 272,34 TWh pada tahun 2020 dengan rata-rata peningkatan sebesar 6,5% tiap tahun. Hal ini diakibatkan pertumbuhan penduduk maupun pertumbuhan industri yang menggunakan energi listrik, sehingga pertumbuhan permintaan akan energi listrik akan menjadi sesuatu yang pasti dan berkelanjutan.

Penelitian yang dilakukan oleh Rohermanto (2007) yang membahas secara terperinci tentang *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro* (PLTMH). PLTMH merupakan pembangkit listrik yang digunakannya tenaga air akan tetapi dengan skala yang lebih kecil. Pada dasarnya, pembangkit listrik tenaga air digunakan dengan memfungsikan bendungan atau aliran sungai yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan generator. Penggunaan mikrohidro sendiri karena skala yang digunakan lebih kecil, maka tidak diharuskan untuk membuat waduk. Prinsip dasarnya adalah adanya air yang mengalir dengan debit 250 liter/s dengan batas ketinggian minimalnya adalah sebesar 2,5 meter.

Penelitian yang dilakukan oleh Sutrimo, Adiwibowo (2019), dalam judul “Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal”. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan menggunakan variasi jumlah sudu sebanyak 6, 8, dan 10 buah yang berpenampang L. Turbin

ini diuji agar mengeluarkan nilai daya dan efisiensi pada rangkaian pompa. Penelitian ini saat dipasangkan pada variasi jumlah sudu 6 buah dengan debit air 13,408 L/s dan pembebanan 6000 gram dapat mengeluarkan daya paling besar, yaitu sebesar 3,683 Watt. Efisiensi paling optimal sebesar 57,98% juga diperoleh oleh turbin dengan variasi jumlah sudu 6 pada debit air 11,775 L/s dengan pembebanan 5500 gram.

Melihat penelitian yang dilakukan oleh Putra, dkk (2018) Diberikan perubahan tekanan air sebesar 4 psi, 8 psi, 12 psi, 16 psi, 20 psi, dan 24 psi pada permodelan PLTMH. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja PLTMH meningkat saat tekanan air mengalami peningkatan, dimana diperoleh efisiensi optimal sebesar 18,1% bekerja pada tekanan 24 psi dan efisiensi paling kecil sebesar 2,4% diperoleh saat tekanan 8 psi, sedangkan pada tekanan 4 psi generator bergerak, sehingga efisiensi yang dihasilkan PLTMH pada tekanan 4 psi sebesar 0% atau sama dengan ini tidak ada.

Pembangkit listrik yang memanfaatkan aliran air sebagai penggerak turbin salah satunya adalah *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro* (PLTMH). Dalam prosesnya terjadi perubahan energi kinetik menjadi energi mekanik, dimana energi mekanik dibawa oleh arus aliran air dalam debit tertentu kemudian aliran air tersebut menumbuk sudu pada turbin sehingga turbin berputar. Putaran pada turbin menghasilkan energi mekanik (Arismunandar, 2004). Selanjutnya, generator bertugas mengubah energi mekanik dari putaran turbin menjadi energi listrik. Masyarakat luas dinilai mampu menjangkau teknologi PLTMH ini, karena peralatan yang digunakan sendiri tidak harus secanggih yang digunakan oleh pembangkit listrik tenaga air skala besar.

Potensi beberapa sumber energi terbarukan di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1 Potensi Sumber Energi Terbarukan

Jenis Sumber Energi	Potensi	Kapasitas terpasang
<i>Geothermal</i>	29.544 MW	1.438,5 MW
Surya	4,80 kWh/m <sup>2</sup> /jam	14,006 MW
Air	75.091 MW	8.671 MW
Mikrohidro	19.385 MW	2,6 MW
Angin	3 – 6 m/detik	1,96 MW

Sumber: (Tim BPPT 2018)

Berdasarkan Tabel 1, mikrohidro memiliki potensi energi yang besar, sehingga sumber daya mikrohidro dapat menjadi solusi bagi pemenuhan kebutuhan energi listrik bagi masyarakat khususnya di daerah yang belum terjangkau listrik PLN. Namun pemanfaatan energi mikrohidro ini masih sangat minim kurang dari 1% dari

potensi yang ada. Sehingga dibutuhkan upaya untuk memaksimalkan penggunaan mikrohidro sebagai sumber energi listrik yang bersih dan ramah lingkungan bagi masyarakat Indonesia

Cara untuk diubahnya energy kinetic air menjadi energi listrik terdapat beberapa jenis alat yang digunakan, salah satunya adalah Turbin Aliran Silang atau yang biasa dikenal dengan *crossflow*. Prihartanto (2008) berpendapat bahwa pada sepasang piringan dipasang beberapa sudu dengan sudut tertentu pada Turbin Aliran Silang. Selain itu, juga ditambahkan nosel yang memiliki tinggi air jatuh (head) antara 1 m sampai 200 m dengan kapasitas air sebesar 0,01 m<sup>3</sup>/s sampai dengan 7 m<sup>3</sup>/s. Salah satu turbin yang cocok untuk digunakan pada PLTMH, terutama pada daerah-daerah dengan arus air yang relative lebih kecil.

Menurut Tirono (2012) pada penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa “Dengan asumsi kemiringan  $1/\sqrt{3}$ , lebar penampang 4 m, jari-jari 2 m, tinggi jatuh 2 m, kecepatan aliran 2 m/s, lebar turbin 4,3 m dan, diameter luar turbin 0,75 m, maka turbin dengan jumlah sudu 12 menghasilkan banyak putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin yang paling besar. apabila jumlah sudu ditambah, maka banyaknya putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin menjadi semakin kecil. Sementara itu penelitian untuk menentukan jenis penampang saluran agar menghasilkan jumlah putaran, daya turbin, dan efisiensi turbin yang paling besar didapatkan padaa jenis saluran dengan penampang trapesium, disusul dengan jenis penampang persegi dan setengah itu penampang lingkaran”.

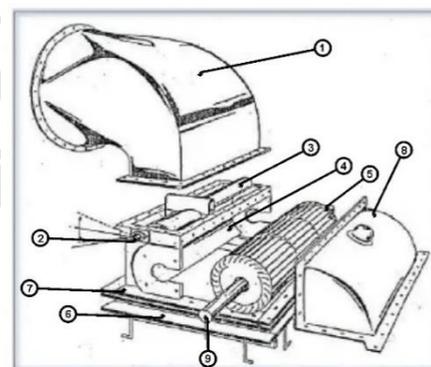
Salah satu pembangkit dengan sumber energi alternatif salah satunya adalah *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro* (PLTMH). Pada PLTMH menghasilkan listrik dengan daya pada kisaran 5 hingga 100 Kw sehingga pembangkit alternatif jenis ini digolongkan sebagai tipe terkecil karena kapasitas listrik yang dihasilkan terbilang rendah. Penggunaan PLTMH sendiri tidak memerlukan bendungan besar. PLTMH pada pengaplikasiannya hanya dengan menggunakan pipa sebagai media aliran air atau saluran menuju pada salah satu sisi sungai yang menuju pada turbin. Setelah itu, air Kembali dijatuhkan atau dialirkan ke sungai yang sama. Aliran debit air dialihkan sesuai dengan kebutuhan masyarakat,

Fluida kerja air digunakan sebagai penggerak mula pada turbin air. Dalam memutar roda kerja turbin dibutuhkan energi dari fluida kerja sebagai penggerak turbin, Arismunandar (2004) menyatakan bahwa fluida kerja ini dapat berupaa uap air, gas, dan air. Burdin merupakan pencetus awal turbin air, pertama kali Ia menemukan turbin air pada tahun 1873 yang menggunakan turbin sebagai penggerak dan air sebagai media penggerak. Stator merupakan bagian tidak bergerak yang terdapat pada turbin, sedangkan Rotor merupakan bagian pada turbin yang dapat bergerak. Fuilda kerja yang digunakan

mengalami proses mengalir secara berkelanjutan dan juga mengalami penurunan tekanan, proses ini disebut ekspansi. Didalam prosesnya terjadi perubahan momentum pada bagian sudu yang bersentuhan dengan fluida kerja secara langsung. Terdapat 2 kelompok pada pembagian turbin, diantaranya adalah (1) Turbin reaksi dan (2) Turbin impuls. Pemanfaatan perubahan momentum pada fluida kerja harus dilakukan secara maksimal, oleh karena itu diperlukan desain sudu yang tepat dan sesuai.

Perubahan energi potensial pada air menjadi energi mekanik melalui turbin air terjadi pada saat aliran air diarahkan kepada sudu-sudu yang terdapat pada bagian turbin oleh nosel. Poros turbin menjadi bergerak pada saat sudu-sudu ditumbuk oleh aliran air dengan debit tertentu. Putaran pada poros tersebut kemudian digunakan untuk menggerakkan generator sehingga didapatkan energi listrik.

Pada saat aliran air menumbuk melewati lengkungan pada sudu-sudu pengarah sehingga menggerakkan runner dengan memanfaatkan perubahan momentum pada air, ini merupakan konsep dari penerapan turbin reaksi. Contoh dari turbin jenis reaksi ini adalah turbin Kaplan, turbin francis, dan turbin propeller. Selain itu, ada juga pemanfaatan nosel dengan mengeluarkan air yang memiliki kecepatan tinggi untuk menumbuh sudu-sudu turbin adalah konsep yang digunakan oleh turbin impuls. Sehingga terjadi perubahan energi dari energi kinetik menjadi energi mekanik. Konsepnya adalah dengan meneruskan putaran turbin kepada generator untuk menghasilkan listrik dalam skala tertentu. Contoh pemanfaatan turbin jenis impuls adalah Turbin pelton, Turbin *crossflow* dan turbin turbo. Model rakitan Turbin *crossflow* ditunjukkan pada Gambar 1:



- |                |                   |
|----------------|-------------------|
| 1. Elbow       | 6. Rangka pondasi |
| 2. Poros katup | 7. Rumah Turbin   |
| 3. Katup       | 8. Tutup Turbin   |
| 4. Nozel       | 9. Poros Runner   |
| 5. Runner      |                   |

Gambar 1. Model Rakitan Turbin *Crossflow* (Haimerl, 1960)

Salah satu jenis turbin aksi atau impuls salah satunya adalah turbin *crossflow*. Konsep turbin ini pada mulanya ditemukan pada tahun 1903 di Australia. Setelah itu Jerman Barat melakukan pengembangan yang lebih mendalam tentang turbin ini dan mematenkannya Haimerl (1960). Tidak seperti kebanyakan turbin yang lainnya dimana runner berputar karena adanya aliran air yang bertekanan secara aksial maupun rasial.

Pada turbin *crossflow* arah aliran air mengalir secara melintang atau memotong sudu turbin. Desain turbin *crossflow* ini untuk mengakomodasi debit air yang relatif besar dengan head yang rendah. Head dari turbin *crossflow* sendiri kurang dari 200 meter dengan debit antara 0,013–13 m<sup>3</sup> Haimerl (1960). Turbin *crossflow* termasuk dalam turbin radial kecepatan rendah dengan poros horizontal, aliran air mengalir melalui pipa masuk dan diatur oleh baling-baling penyearah dan masuk kedalam sudu runner turbin.

Turbin *crossflow* memiliki beberapa komponen utama yaitu rotor, rumah turbin, *guide vane*, *pulley*, *adaptor*, dan *base frame*. *Inlet pipe* merupakan saluran masuk air sebelum menuju *guide vane* untuk diarahkan ke *runner*, *inlet pipe* ini meneruskan aliran air dari pipa atau saluran air. *Inlet pipe* memiliki dua konfigurasi aliran yakni, aliran horizontal yang arah aliran air tegak lurus dengan posisi *runner*, aliran vertikal dimana aliran air searah atau sejajar dengan posisi *runner*.

Turbin reaksi digunakan sebagai alat untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Pada penelitian ini peneliti menggunakan variasi pada kemiringan sudut sudu turbin *crossflow* yaitu sebesar 0°, 5°, 10°, 15°, dan 20°. Turbin reaksi ditunjukkan pada Gambar 2:



Gambar 2. Turbin Reaksi (Efendi, 2020 :57)

Penelitian ini dilakukan memiliki tujuan yaitu untuk diketahuinya perubahan daya listrik yang dipengaruhi oleh perubahan kemiringan sudut sudu turbin berpenampang pelat datar pada kinerja turbin aliran *crossflow* poros horizontal.

## METODE PENELITIAN

Sugiyono (2010: 72) berpendapat bahwa metode penelitian eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang dikendalikan

Pada eksperimen ini peneliti memvariasikan desain sudu dengan variasi sudut kemiringan sudu dan posisi poros yang menggerakkan *runner* untuk mencari berapa jumlah sudu optimal dengan penampang sudu plat datar dan efisiensi optimum. Penyesuaian kondisi dan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini sudah dilakukan.

### Pendekatan Penelitian

Penelitian kuantitatif merupakan pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini. Hal-hal yang bersifat kongkret merupakan penekanan yang digunakan sehingga bersifat pada fakta-fakta yang nyata dan uji empiris Jhonatan (2006). Pendekatan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini, bertujuan untuk melakukan fokus analisis terhadap beberapa data atau angka yang akan diolah dengan menggunakan cara statistika. Hasil uji kinerja generator berupa arus listrik serta turbin *crossflow* dan tegangan adalah data penelitian ini.

### Instrumen Penelitian Pengumpulan Data

Sugiyono (2010: 222) dalam penelitian kuantitatif, kualitas instrumen penelitian berkenaan dengan validitas dan reliabilitas instrumen dan kualitas pengumpulan data berkenaan ketepatan cara-cara yang digunakan untuk mengumpulkan data. Instrumen dalam penelitian kuantitatif dapat berupa test, pedoman wawancara, pedoman observasi, dan kuisioner. Neraca Pegas adalah instrumen yang memiliki fokus untuk mengukur dalam penelitian ini. massa dari suatu benda. Untuk mengukur kecepatan putaran benda digunakan digunakan Tacho Meter, sedangkan untuk mengetahui besaran arus listrik dan tegangan listrik menggunakan Multimeter. Selain itu, juga diperlukan laptop (PC) untuk melakukan proses pengolahan data dari hasil uji coba yang telah dilakukan.

### Teknik Pengambilan Data

Riduwan (2007: 24) Teknik pengambilan data atau juga bisa disebut metode pengumpulan data ialah cara-cara yang bisa digunakan oleh peneliti untuk mengumpulkan data. Metode (cara atau teknik) menuju suatu yang kata yang abstrak dan tidak diwujudkan dalam benda tetapi hanya dapat dilihat penggunaannya melalui: angket, wawancara, pengamatan, ujian (tes), dokumentasi, dan lainnya. Menggunakan teknik pengukuran dan juga pengujian objek yang telah diteliti adalah teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini. Kemudian data tersebut dicatat dan diolah sehingga

menghasilkan tujuan penelitian yang diharapkan sebelumnya.

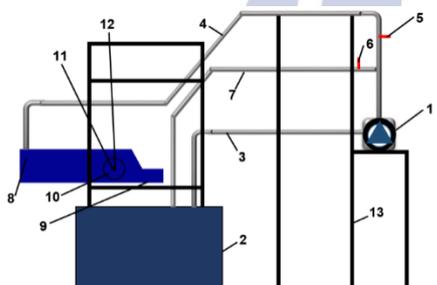
### Teknik Analisa Data

Cara yang digunakan dalam mengolah suatu data menjadi beberapa informasi merupakan bagian dari Teknik analisis data. Sehingga data yang didapatkan dapat dibaca dan dipahami dan dapat menjadi solusi untuk sebuah permasalahan. Metode analisis dan kualitatif deskriptif merupakan Teknik Analisa data yang digunakan dalam penelitian ini. Lexy (2008: 6) menjelaskan bahwa hasil penelitian berkaca pada fakta yang didapatkan adalah pengertian dari jenis penelitian deskriptif.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Alat Uji Percobaan

Peralatan yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3:



Gambar 3. Desain Instalasi Alat Uji

Keterangan:

- |                          |                               |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1. Pompa                 | 8. Pompa                      |
| 2. Bak penampung         | 9. Area outlet                |
| 3. Pipa penyalur section | 10. Penempatan turbin         |
| 4. Saluran discharge     | 11. Posisi rangka poros       |
| 5. Katup utama           | 12. Posisi <i>pony breake</i> |
| 6. Katup bypass          | 13. Rangka utama              |
| 7. Saluran bypass        |                               |

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Jumlah sudu turbin 12 sudu
- Fluida kerja yang digunakan adalah air
- Kapasitas atau debit aliran air selama pengujian adalah 18.110 L/s, 16,149 L/s, 14,321 L/s, 11,804 L/s, dan 9,885 L/s.
- Bukaan katup disesuaikan pada 130°, 140°, 150°, 160°, dan 170°.
- Pembebanan Generator menggunakan lampu bohlam dengan daya 1 Watt sebanyak 1 - 4 buah lampu
- Pembebanan turbin menggunakan beban sebesar 500 g, 1000 g, 1500 g, dan 2000 g dan seterusnya sampai turbin berhenti berputar.

### Hasil Penelitian

Dalam proses analisa data diambil rata-rata data dari tiga kali pengambilan data, hal ini bertujuan agar data yang diperoleh sesuai dengan kondisi yang terjadi dan menghindari kesalahan pembacaan oleh alat ukur yang digunakan. Data tersebut diperoleh dari pengujian turbin *crossflow* poros horizontal dengan sudu berpenampang plat datar dan variasi sudut sudu sebesar 0°, 5°, 10°, 15°, dan 20°. Data tersebut digunakan untuk menghitung besar daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin kemudian dilakukan proses analisa pengaruh penambahan sudut sudu terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh putaran turbin.

Sebelum melakukan perhitungan daya listrik dan efisiensi yang dihasilkan oleh generator maka perlu diketahui terlebih dahulu daya turbin

Torsi pada turbin dan Gaya Beban dapat dihitung dengan persamaan: 1 dan 2

$$T = F \cdot r \quad (1)$$

$$F = (m_{\text{beban}} - m_{\text{neraca}}) \cdot g \quad (2)$$

Kecepatan angular turbin dapat dihitung menggunakan persamaan: 3

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (3)$$

Daya turbin dapat dihitung dengan persamaan: 4

$$P(t) = T \cdot \omega \quad (4)$$

Daya generator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan: 5

$$P(g) = V \times I \quad (5)$$

Efisiensi generator dapat dihitung menggunakan persamaan: 6

$$\eta = \frac{P(g)}{P(t)} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan

- |                     |                                      |
|---------------------|--------------------------------------|
| T                   | = Torsi (N.m)                        |
| F                   | = Gaya (N)                           |
| r                   | = Jari-jari poros putaran(m)         |
| m <sub>beban</sub>  | = masa beban (kg)                    |
| m <sub>neraca</sub> | = masa pada neraca (kg)              |
| g                   | = Gravitasi (9,81 m/s <sup>2</sup> ) |
| ω                   | = Kecepatan angular turbin (rad/s)   |
| π                   | = Rasio keliling lingkaran           |
| n                   | = Putaran angular turbin (rpm)       |
| P(t)                | = Daya turbin (Watt)                 |
| P(g)                | = Daya generator (Watt)              |
| V                   | = Tegangan listrik (V)               |
| I                   | = Arus listrik (A)                   |
| η                   | = Efisiensi generator (%)            |

### Pembahasan

Pengaruh Variasi Besar Sudu Terhadap Tegangan dan Arus yang dihasilkan Generator. Hasil pengukuran tegangan serta arus yang dihasilkan oleh generator dengan

menggunakan beban lampu bohlam yang ditunjukkan pada Tabel 2, 3, 4, 5, 6:

Tabel 2 Hasil Pengukuran dengan sudut  $0^\circ$

Debit Air (L/s)	Hasil Pengukuran	
	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Arus yang Dihasilkan Generator (A)
9,885	0,94	0,16
11,804	1,83	0,22
14,321	2,27	0,22
16,149	0,36	0,14
18,110	0,27	0,09

Sumber: (Efendi, 2020 :57)

Dari Tabel 2 dapat diambil kesimpulan bahwa tegangan luaran generator tertinggi yaitu hasil dari turbin yang memiliki sudut  $0^\circ$  yang memiliki debit air sebesar 14,321 L/s yakni 2,27 V. Sedangkan tegangan luaran yang memiliki hasil rendah dihasilkan ketika turbin dialiri debit air 18,110 L/s sebesar 0,27 V. Untuk debit air 9,885 L/s, 11,804 L/s dan 16,149 L/s menghasilkan tegangan luaran masing-masing 0,94V, 1,83 V dan 0,36 V.

Tabel 3 Hasil Pengukuran dengan sudut  $5^\circ$

Debit Air (L/s)	Hasil Pengukuran	
	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Arus yang Dihasilkan Generator (A)
9,885	0,49	0,15
11,804	1,73	0,26
14,321	2,81	0,24
16,149	0,56	0,15
18,110	0,27	0,13

Sumber: (Efendi, 2020 :57)

Pada Tabel 3, Turbin bersudut  $5^\circ$  yang dipasangkan dengan generator. Pengukuran yang dilakukan sama dengan saat sudut  $0^\circ$  yakni dioperasikan pada debit air 9,885 L/s, 11,804 L/s, 14,321 L/s, 16,149 L/s, 18,110 L/s. Dan dihasilkan rata-rata tegangan berturut-turut sebagai berikut 0,49 V, 1,73 V, 2,81V, 0,56 V 0,27 V. Kenaikan tertinggi terjadi pada debit 14,321 L/s dengan menghasilkan tegangan sebesar 2.81 V dan turun lagi pada percobaan di debit air 16.149 L/s menjadi 0.56 V

Tabel 4 Hasil Pengukuran dengan sudut  $10^\circ$

Debit Air (L/s)	Hasil Pengukuran	
	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Arus yang Dihasilkan Generator (A)
9,885	0,96	0,14
11,804	2,62	0,28
14,321	2,63	0,30
16,149	0,44	0,17
18,110	0,27	0,12

Sumber: (Efendi, 2020 :57)

Tabel 4 memperlihatkan hasil ukur dari generator yang dipasangkan dengan turbin yang memiliki kemiringan sudut  $10^\circ$ . Saat mendapat aliran air dengan debit 9,885 L/s didapatkan hasil tegangan luaran generator sebesar 0.96 V. Untuk debit 11,804 L/s tegangan yang dikeluarkan oleh generator sebesar 2,62 V. sedikit mengalami kenaikan menjadi 2,63 V saat dipasang dengan debit air 14,321 L/s. Ketika debit air diperbesar menjadi 16,149 L/s alat ukur menunjukkan hasil tegangan luaran generator 0,44 V dan saat debit air 18,110 L/s tegangan yang dihasilkan menurun menjadi 0,27 V.

Tabel 5 Hasil Pengukuran dengan sudut  $15^\circ$

Debit Air (L/s)	Hasil Pengukuran	
	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Arus yang Dihasilkan Generator (A)
9,885	1,12	0,20
11,804	3,18	0,30
14,321	3,41	0,32
16,149	0,83	0,18
18,110	0,33	0,18

Sumber: (Efendi, 2020 :57)

Hasil ukur yang tertampil pada Tabel 5 menunjuk bahwa generator yang terhubung ke turbin dengan kemiringan sudut  $15^\circ$  yang beroperasi pada debit air sebesar 9.885 L/s da menghasilkan tegangan luaran dengan besar 1,12V. dengan perolehan hasil dari pengukuran dengan debit air sebesar 11,804 L/s dan 14,321 L/s memiliki tegangan yang cukup tinggi yakni masing-masing 3,18 V dan 3,41 V. Sedangkan hasil pengukuran yang didapat saat debit air 16,149 L/s mengalami penurunan yang signifikan yaitu sebesar 0,83 V, dan pada debit 18,110 L/s mengalami penurunan lagi menjadi 0,33 V

Tabel 6 Hasil Pengukuran dengan sudut  $20^\circ$

Debit Air (L/s)	Hasil Pengukuran	
	Rata-rata Tegangan yang dihasilkan (V)	Arus yang Dihasilkan Generator (A)
9,885	1,24	0,20
11,804	3,04	0,32
14,321	2,69	0,30
16,149	0,70	0,15
18,110	0,27	0,10

Sumber: (Efendi, 2020 :57)

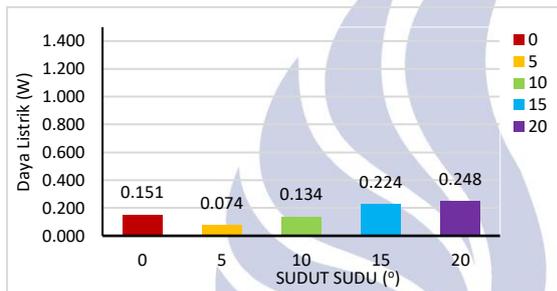
Hasil ukur dari generator yang terhubung dengan turbin yang memiliki kemiringan sudut  $20^\circ$  diperlihatkan pada Tabel 6 dimana ketika debit air 9,885 L/s menghasilkan tegangan 1,24 V. Ketika debit air ditambah menjadi 11,804 L/s tegangan luaran yang dihasilkan 3,04 V. Pada saat beroperasi di debit air 14,321 L/s tegangan luaran yang didapatkan 2,69V. Dan hasil pengukuran menunjukkan 0,70 V ketika debit air dinaikkan

menjadi 16,149 L/s serta pada debit air 18,110 L/s tegangan yang dihasilkan sebesar 0,27 V.

Terjadi penurunan dan kenaikan tegangan disetiap percobaan yang dilakukan, tegangan paling optimal didapatkan ketika generator beroperasi pada debit air 14,321 L/s dengan kemiringan sudut sudu turbin sebesar 15°. dan tegangan paling rendah terdapat pada debit 18,110 L/s pada beberapa sudut sudu turbin.

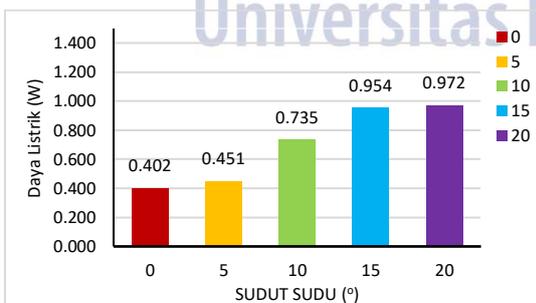
**Hubungan Antara Daya Keluaran Generator dan Debit Air Tiap Besaran Sudut Sudu Turbin.**

Berdasar Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6 yang selanjutnya diolah untuk dijadikan grafik tersebut dijelaskan hubungan diantara daya keluaran Generator dan debit air tiap besaran sudut sudu turbin yang telah terpasang ditunjukkan pada grafik pada Gambar 4, 5, 6, 7, 8.



Gambar 4. Grafik Kinerja Generator pada Debit Air 9,885 L/s

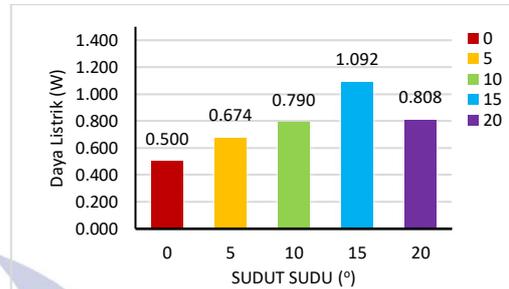
Seperti apa yang telah tertampil pada data statistik pada Gambar 4 menunjuk pada kinerja generator memiliki hasil daya keluaran dimana beroperasinya pada debit air sebesar 9,885 L/s untuk setiap sudut sudu turbin yang terpasang, pada sudut sudu 0° dihasilkan daya listrik sebesar 0,151 W, untuk turbin dengan sudut sudu 5° menghasilkan daya 0,074 W, ketika turbin diganti dengan sudut sudu 10° menghasilkan daya sebesar 0,134 W dan pada turbin dengan sudut sudu 15° dan 20° menghasilkan daya keluaran sebesar 0,224 W dan 0,248 W.



Gambar 5. Kinerja Generator pada Debit Air 11,804 L/s

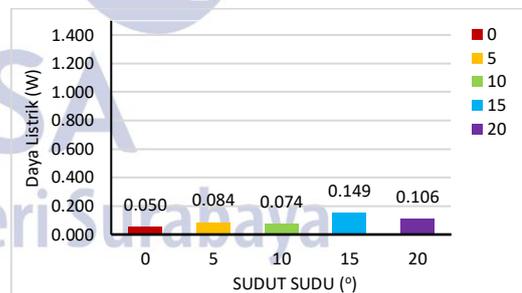
Gambar 5 menunjukkan kinerja generator menghasilkan daya keluaran dimana beroperasi pada debit air sebesar 11,804 L/s untuk setiap sudut sudu turbin yang terpasang, pada sudut sudu 0° dihasilkan daya listrik

sebesar 0,402 W, untuk turbin dengan sudut sudu 5° menghasilkan daya 0,451 W, ketika turbin diganti dengan sudut sudu 10° menghasilkan daya sebesar 0,735 W, pada turbin dengan sudut sudu 15° daya keluaran sebesar 0,954 W dan dengan sudut sudu 20° menghasilkan daya keluaran sebesar 0,972 W.



Gambar 6. Grafik Kinerja Generator pada Debit Air 14,321 L/s

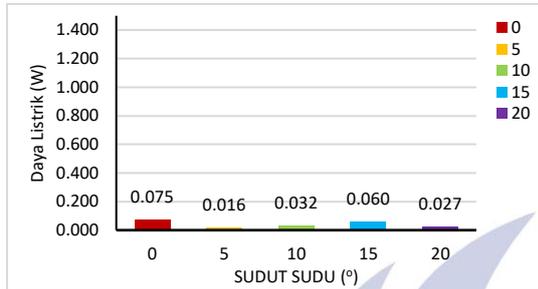
Kinerja generator pada debit air sebesar 14,231 L/s terlihat Gambar 6 bisa terlihat pada grafik yang mana pada saat generator yang terpasang pada turbin air yang memiliki sudut sudu sebesar 0° mampu menghasilkan daya listrik sebesar 0,500 W. Ketika turbin bersudu sudu sebesar 5° dipasangkan pada generator, generator mampu menghasilkan daya 0,674 W. Ketika dipasangkan pada turbin dengan sudut sudu 10° daya yang dihasilkan sebesar 0,790 W. Saat terpasang dengan turbin bersudu sudu sebesar 15°, daya yang dihasilkan naik yang sebelumnya sebesar 0,28 W menjadi 1,092 W. Namun daya menjadi turun saat dipasangkan pada turbin dengan sudut sudu 20° menjadi 0,808 W.



Gambar 7. Grafik Kinerja Generator pada Debit Air 16,149 L/s

Pada grafik yang diperlihatkan Gambar 7 mengenai kinerja generator. Menunjukkan hasil bagaimana daya yang dihasilkan oleh kinerja generator. Saat dipasangkan pada turbin dengan kemiringan sudut sudu sebesar 0°, generator dapat mengeluarkan daya sebesar 0.050 W. Untuk kemiringan sudut sudu sebesar 5°, generator dapat menghasilkan daya luaran sebesar 0,084 W. Generator mendapatkan nilai daya sebesar 0,074 W saat beroperasi

ketika dipasangkan dengan turbin dengan kemiringan sudut  $10^\circ$ . Generator dihubungkan dengan turbin yang memiliki kemiringan sudut sudu sebesar  $15^\circ$  mampu membuat generator memiliki daya luaran sebesar 0,149 W. Terjadi penurunan menjadi 0,106 W pada daya yang dihasilkan oleh generator ketika dihubungkan dengan turbin kemiringan sudut sudu  $20^\circ$ .



Gambar 8. Grafik Kinerja Generator pada Debit Air 18,110 L/s

Kinerja generator ketika beroperasi pada debit air sebesar 18,110 L/s ditunjukkan pada Gambar 8 menghasilkan daya listrik yang sangat kecil dibandingkan dengan operasi sistem pada debit yang lebih rendah, ketika beroperasi dengan turbin dengan kemiringan sudut sudu  $0^\circ$  daya listrik yang dihasilkan sebesar 0,024 W, mengeluarkan daya sebesar 0,035 W ketika sudut sudu turbin diubah menjadi  $5^\circ$ . Ketika dipasangkan pada turbin dengan sudut sudu  $10^\circ$  daya yang dihasilkan sebesar 0,032 W. Saat terpasang dengan turbin bersudu sudu sebesar  $15^\circ$ , daya yang dihasilkan generator mengalami kenaikan menjadi 0,060 W dan yang terakhir menghasilkan daya sebesar 0,027 W saat generator beroperasi pada turbin dengan kemiringan sudut sudu  $20^\circ$ .

Dari Gambar grafik 4,5,6,7,8 dapat kita lihat daya listrik yang dihasilkan oleh generator pada debit air yang bervariasi. Ketika generator beroperasi pada debit air 9,885 L/s daya listrik yang dihasilkan cenderung kecil tetapi mengalami peningkatan

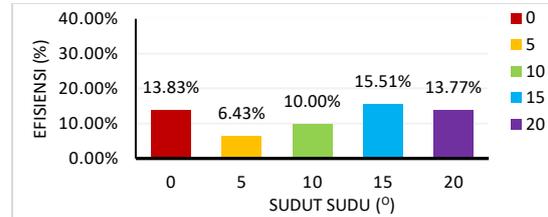
Daya optimal yang dihasilkan generator dapat dilihat pada Gambar 6 grafik menunjukkan generator beroperasi pada debit 14,321 L/s dan daya maksimum terjadi ketika dipasangkan dengan turbin yang memiliki kemiringan sudut sudu  $15^\circ$  dan menghasilkan daya listrik sebesar 1,092 W.

**Analisis Pengaruh Besaran Sudut Sudu Terhadap Efisiensi Mekanik Generator.**

Efisiensi mekanik generator diperoleh dengan cara membandingkan daya optimal generator dibagi dengan daya optimal yang dihasilkan oleh turbin sehingga dapat kita ketahui berapa besar efisiensi generator terhadap

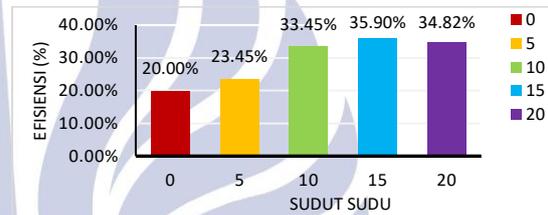
daya turbin yang dihasilkan dengan variasi besar sudut sudu serta debit air.

- a. Pengaruh variasi besar sudut sudu terhadap efisiensi mekanik generator pada debit air 9,885 L/s ditunjukkan pada Gambar 9:



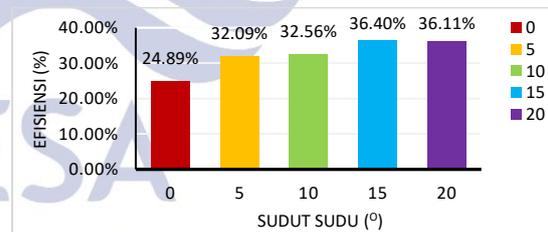
Gambar 9. Grafik Efisiensi mekanik Generator pada Debit Air 9,885 L/s

- b. Pengaruh variasi besar sudut sudu terhadap efisiensi mekanik generator pada debit air 11,804 L/s ditunjukkan pada Gambar 10:



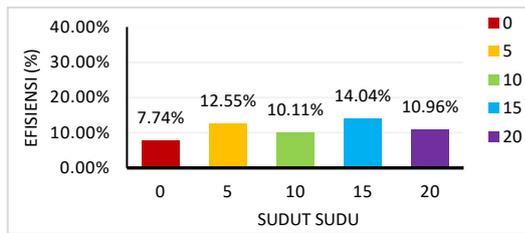
Gambar 10. Grafik Efisiensi mekanik Generator pada Debit Air 11,804 L/s

- c. Pengaruh variasi besar sudut sudu terhadap efisiensi mekanik generator pada debit air 14,321 L/s ditunjukkan pada Gambar 11:



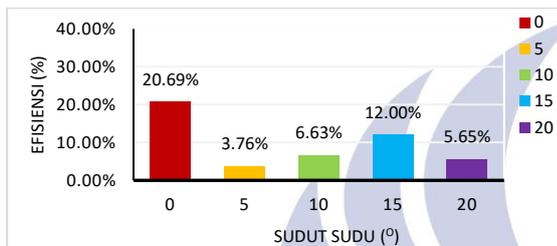
Gambar 11. Grafik Efisiensi mekanik Generator pada Debit Air 14,321 L/s

- d. Pengaruh variasi besar sudut sudu terhadap efisiensi mekanik generator pada debit air 16,149 L/s ditunjukkan pada Gambar 12:

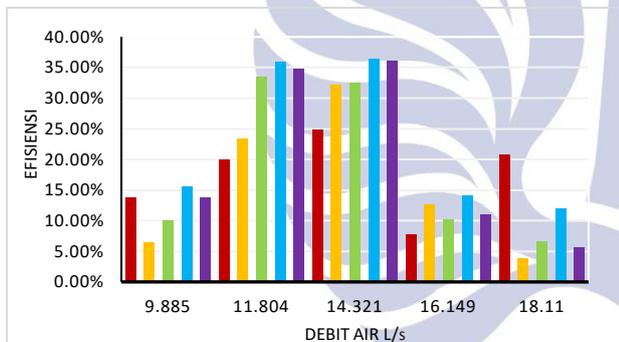


Gambar 12. Grafik Efisiensi mekanik Generator pada Debit Air 16,149 L/s

- e. Pengaruh variasi besar sudut sudu terhadap efisiensi mekanik generator pada debit air 18,110 L/s ditunjukkan pada Gambar 13:



Gambar 13. Grafik Efisiensi mekanik Generator pada Debit Air 18,110 L/s



Gambar 14. Grafik Efisiensi mekanik Generator terhadap variasi kapasitas aliran

Gambar 14 menunjukkan perbandingan perubahan efisiensi mekanik generator yang dihasilkan disetiap perubahan turbin yang dipasangkana, efisiensi paling besar ketika sistem dialiri air dengan debit 14,149 L/s dan 11,804 L/s, dan efisiensi terkecil ketika aliran debit air 18.110 L/s dan 16,149 L/s. dapat kita lihat beberapa faktor yang mengakibatkan besar kecilnya efisiensi yang didapatkan oleh sistem. Yang pertama besarnya efisiensi dipengaruhi oleh debit air yang mengalir, ketika sistem dialiri debeit 9,855 L/s efisiensi yang dihasilkan cukup kecil juga ini dikarenakan pada debit air diatas, turbin hanya terendam disebagian kecil penampangnya dan luasan area penampang aliran air tidak sepenuhnya mengenai luasan penampang sudu turbin, sehingga gaya dorong yang hasilkan aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin untuk berputar dan mendapatkan hasil

efisiensi yang tinggi. Seiring bertambahnya debit air yang mengalir, ketika sistem dialiri debit air sebesar 11.084 L/s dan 14,149 L/s efisiensi yang dihasilkan cukup besar karena pada debit aliran tersebut turbin sudah cukup terendam air dan aliran air dapat mendorong turbin untuk berputar dan menghasilkan efisiensi yang optimal sehingga daya listrik dan daya turbin yang dihasilkan bertambah signifikan dengan perbandingannya yang cukup kecil sehingga efisiensi yang dihasilkan juga menjadi lebih besar, ketika sistem dialiri dengan debit air 16,149 L/s dan 18,110 L/s efisiensi mengalami penurunan ini dikarenakan luas penampang aliran air merendam turbin sehingga putaran turbin melemah garena gaya dorong air saling meniadakan sehingga daya generator serta gaya turbin yang dihasilkan menjadi kecil dengan perbandingan daya yang cukup besar membuat efisiensi mekanik generator mengalami penurunan.

Efisiensi mekanik generator ketika dilihat dari perbedaan kemiringan sudut sudu turbin yang dipasang pada sistem. Saat dipasangkan dengan turbin dengan kemiringan sudut sudu 0° diperoleh ketika debit air yang mengalir besarnya 14,321 L/s dan terkecil ketika dialiri debit air sebesar 18.110 L/s, efisiensi yang dihasilkan cukup kecil karena ketika sudut 0° gaya dorong air ke turbin saling meniadakan sehingga daya listrik dan daya turbin yang dihasilkan cukup kecil. Ketka dipasangkan dengan turbin bersudut sudu 5° efisiensi terbaik didapat ketika turbin dialiri debit air sebesar 14,321 L/s efisiensi mencapai 32,09% perubahan sudut sudu mempengaruhi tumbukaan yang terjadi ketika air menyentuh turbin, ketika tumbukan air ke turbin mendekati sudut 90° maka putaran turbin juga akan lebih optimal dan begitupun sebaliknya, saat sudut air menumbuk sudu turbin kurang atau lebih dari 90° daya dorong yang dihasilkan juga berkurang. Efisiensi optimal mekanik generator terjadi ketika dipasangkan dengan turbin dengan sudut sudu 15° ketika debit air sebesar 14,321 L/s efisiensi yang dihasilkan sebesar 36,40 % dengan daya generator yang dihasilkan sebesar 1,092 W dan daya turbin sebesar 3,001 W. Eisiensi 36,40 % merupakan efisiensi optimal yang bisa dihasilkan sistem selama percobaan dilakukan, disini menunjukkan luas penampang air yang menumbuk sudu turbin dengan sudut tumbukan mendekati sudut 90° sehingga daya generator serta daya turbin yang dihasilkan optimal

## PENUTUP

### Simpulan

Hasil dari analisa dari pembahasan diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

Variasi kemiringan sudut sudu pada turbin dan debit air mempengaruhi perubahan daya yang dihasilkan generator serta mempengaruhi efisiensi mekanik generator. Sehingga

daya listrik serta efisiensi mekanik generator yang dihasilkan rata-rata mengalami kenaikan ketika dipasangkan dengan turbin bersudut sudu  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$  dan akan mengalami penurunan ketika dipasangkan dengan turbin bersudut sudu  $20^\circ$ . Daya listrik dan efisiensi mekanik paling optimal yang dihasilkan generator yakni ketika generator dihubungkan dengan turbin yang memiliki kemiringan sudu sudu  $15^\circ$  dengan dialiri debit air sebesar 14,321 L/s

Nilai daya generator dan efisiensi mekanik generator beroperasi optimal untuk setiap variasi debit air ketika dipasangkan dengan turbin bersudut sudu  $15^\circ$ , ketika sistem dipasangkan dengan setiap variasi sudu sudu nilai daya generator dan efisiensi mekanik generator paling besar dihasilkan ketika dialiri debit air 14,321 L/s. Nilai daya generator dan efisiensi mekanik generator tertinggi didapatkan ketika debit air yang mengalir sebesar 14,321 L/s dan dipasangkan dengan turbin bersudut sudu  $15^\circ$ . ini disebabkan permukaan air yang menumbuk sudu sudu hampir mendekati sudu  $90^\circ$  sehingga menghasilkan gaya dorong yang optimal sehingga daya yang dihasilkan juga menjadi besar.

Dari keterangan diatas menunjukkan bahwa dengan variasi aliran air dan variasi sudu sudu turbin yang beroperasi, ketika aliran air menumbuk sudu dengan sudut mendekati  $90^\circ$  gaya dorong yang dihasilkan akan optimal dan akan memutar turbin dengan optimal pula sehingga generator bekerja dengan optimal dan menghasilkan daya generator yang optimal, serta turbin tidak boleh sampai terendam dengan aliran air karena akan saling menghilangkan gaya dorong yang dihasilkan oleh aliran air.

#### Saran

Berdasarkan pembahasan dan analisa perubahan daya listrik efisiensi mekanik generator yang dipengaruhi oleh perubahan kemiringan sudu sudu turbin berpenampang pelat datar, maka dapat diberikan beberapa saran yaitu. Membahas bagaimana pengaruh variasi kemiringan sudu sudu pada variasi debit air yang berbeda serta jenis penampang yang berbeda untuk mengetahui adanya pengaruh terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

Arboleda, C. R. 1981. *Communications Research*. Manila: CFA.

Arismunandar. 2004. *Teknik Tenaga Listrik Jilid III*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

Efendi, Yusuf. 2020. *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Kemiringan Sudu Sudu Berpenampang Pelat Datar Terhadap Kinerja turbin Aliran Crossflow Poros Horizontal*. Jurnal Teknik Mesin.

Volume 08. Nomor 02. Tahun 2020, Hal 55-64. Surabaya

Haimerl, L.A. 1960. *The Cross flow Turbine*. Technical Account Of Banki Turbine.

Jhonatan, Sarwono. 2006. *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Kementerian ESDM Republik Indonesia. 2017. *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia*. Republik Indonesia.

Lexy, J Moleong. 2008. *Metodologi Penelitian Kualitatif*, Bandung: PT Remaja Rosdakarya.

Muchlis, M., dan Permana, A.D., 2003. *Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 sampai dengan 2020*. Pengembangan Sistem Kelistrikan dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang, Jakarta.

Prihartanto, Danang. 2008. *Turbin Aliran Silang Dengan Jumlah Sudu 16 Untuk Pembangkit Listrik*. Jurnal Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.

Putra, I, Antoninus I Weking, dan Lie Jasa. 2018. *Analisis Pengaruh Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw*. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro. Vol 17. No. 3. Hal. 385-392

Riduan. 2015. *Skala Pengukuran Variabel-variabel Penelitian*. Bandung: Alfabet . PP: 24.

Rohermanto. Agus. 2007. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Jurnal Vokasi. Vol. 4. No. 1. Hal. 28-36.

Sugiyono, Sugiyono. 2017. *Metode Penelitian Kuantitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta. PP: 72.

Sutrimo, Dian dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2019. *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal*. Jurnal Teknik Mesin. Volume 07 Nomor 01 Tahun 2019, Hal 95-102. Surabaya.

Tim BPPT. 2018. *Outlook Energi Indonesia 2018: Energi Berkelanjutan Untuk Transportasi Darat*. Jakarta.

Tirono. Mokhamad. 2012. *Pemodelan Turbin Cross-Flow untuk Diaplikasikan pada Sumber Air dengan Tinggi Jatuh dan Debit Kecil*. Jurnal Neutrino. Vol. 4. No. 2. Hal. 112-120