

## **Mini review pengaruh jumlah sudu turbin vortex berdasarkan daya pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yang dihasilkan**

**Harmiansyah<sup>1\*</sup>, Devy Arysandia<sup>2</sup>, Fino Agustian Jourdan Gamas<sup>2</sup>, Nawang Wulan Saputri<sup>1</sup>, Muh. Kusmali<sup>1</sup>, Raizummi Fil'aini<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Biosistem, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sistem Energi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera  
Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, 35365

Email: \*harmibm@gmail.com

### **Abstrak**

Energi air menjadi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang tengah digalakan saat ini. Dalam pemanfaatannya energi air dapat diaplikasikan menjadi suatu pembangkit listrik, salah satunya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Di Indonesia sendiri PLTMH telah banyak dikembangkan, terutama dalam mengatasi keterbatasan energi listrik di daerah terpencil. Namun, PLTMH masih belum berkembang secara optimal karena masih bertumpu pada aliran air dengan *head* tinggi, seperti air terjun. Hal ini tentunya menjadi perhatian khusus untuk memilih lokasi implementasi. Oleh karena itu dilakukan pengkajian dengan mempelajari bagian utama dari PLTMH, yakni dengan menggunakan turbin vortex. Berdasarkan julukannya turbin vortex memanfaatkan pusaran air dalam sistem kerjanya yang mampu diterapkan pada aliran air dengan head rendah, seperti aliran sungai. Dalam sistem kerjanya, turbin vortex harus memperhatikan jumlah sudu yang digunakan karena hal tersebut mempengaruhi kinerja turbin vortex dan keluarannya. Kajian teoritis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu ditinjau dari keluaran PLTMH yang didasari dari sumber literatur terdahulu. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif analitik dan kualitatif. Hasil dari kajian teoritis dapat diketahui semakin banyak jumlah sudu yang divariasikan maka akan semakin besar keluaran PLTMH, seperti nilai putaran turbin, nilai putaran generator, tegangan, arus, daya, torsi, dan efisiensi.

**Kata kunci:** energi air, energi listrik, efisiensi, generator

### **Abstract**

Water energy is a New and Renewable Energy (EBT) which is currently being promoted. In its use, water energy can be applied to become a power plant, one of which is the Microhydro Power Plant (PLTMH). In Indonesia itself, PLTMH has been widely developed, especially in overcoming limited electrical energy in remote areas. However, PLTMH is still not developing optimally because it still relies on water flows with high heads, such as waterfalls. This is of course a special concern when choosing an implementation location. Therefore, an assessment was carried out by studying the main part of the PLTMH, namely using a vortex turbine. Based on its nickname, the vortex turbine utilizes water vortices in its working system which can be applied to water flows with low heads, such as river flows. In its working system, the vortex turbine must pay attention to the number of blades used because this affects the performance of the vortex turbine and its output. This theoretical study was carried out to determine the effect of the number of blades in terms of PLTMH output which is based on previous literature sources. The method used is descriptive analytical and qualitative methods. The results of the theoretical study show that the greater the number of blades that are varied, the greater the PLTMH output, such as turbine rotation value, generator rotation value, voltage, current, power, torque, and efficiency.

**Keywords:** electrical energy, efficiency, generator, water energy.

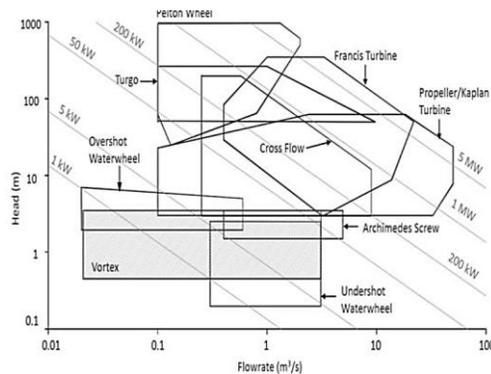
## 1. PENDAHULUAN

Sebagai negara kepulauan, Indonesia diperkaya oleh kesuburan hayati dan sumber daya alam, salah satunya energi terbarukan yang tengah dikembangkan saat ini. Indonesia merupakan negara Kepulauan yang terbentang di penjuru negeri menjadikan Indonesia negara yang dikelilingi oleh air dan memiliki potensi air sebagai suplai energi listrik yang melimpah sebesar 75.000 MW, tapi potensi air ini belum dimanfaatkan secara optimal, yakni hanya berkisar 7.572 MW atau 10,1% [1]. Meninjau keadaan yang belum terealisasi sepenuhnya, pemerintah mengeluarkan kebijakan berupa percepatan dalam memanfaatkan energi terbarukan di tahun 2050 dengan target sebesar 31%.

Di samping itu, pemanfaatan energi air sebagai sumber energi listrik dapat direalisasikan dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Pembangunan PLTMH ini didasari karena teknologi pada PLTMH terbilang lebih sederhana dibandingkan pembangkit listrik lainnya dan dapat diimplementasikan di desa terpencil yang menggunakan aliran sungai, irigasi, ataupun air terjun sebagai sumber penggerak, sehingga dapat turut menjadi solusi untuk pemerataan energi listrik di Indonesia. Secara umum, PLTMH terbagi menjadi tiga bagian utama, yakni energi air sebagai sumber energi yang dialirkan ke pipa pesat dan diteruskan ke *power house*, kemudian aliran dan tekanan dari pipa akan memutar mesin penggerak (turbin air), dan menggerakkan motor listrik (generator) untuk menghasilkan energi listrik.

Perkembangan PLTMH di Indonesia, didukung dengan penelitian terdahulu, yakni tentang potensi energi air di Bali [2], Jatiluwih yang dijadikan tempat wisata [3], dan penelitian yang diterapkan di Desa Sambangan [4]. Dalam sistem kerjanya, PLTMH akan memanfaatkan aliran air dengan *head* tinggi yang memiliki aliran turbulen, seperti air terjun dan tentunya hal ini perlu diperhatikan untuk menyesuaikan kondisi yang ada di lapangan. Sedangkan, aliran air dengan *head* rendah dengan aliran laminar belum dimanfaatkan secara optimal [5]. Oleh karena itu, dibutuhkan komponen PLTMH yang dapat mengoptimalkan pemanfaatan aliran laminar pada *head* rendah diubah menjadi aliran pusaran (*vortex*). Hal ini telah diteliti oleh seorang peneliti asal Jerman, Viktor Schauburger pada tahun 1936 yang meneliti aliran *vortex* atau pusaran air terhadap pembangkit listrik tenaga air dan juga telah dikemukakan melalui salah satu penelitian nasional di tahun 2018 oleh Suwoto and Supriyo [6].

Kemudian, hal ini juga mendasari perkembangan turbin *vortex* di tanah air karena kecenderungan karakter aliran laminar, seperti air sungai sering dijumpai baik pada daerah perkotaan ataupun pedesaan. Pada PLTMH terdapat banyak jenis turbin yang dimanfaatkan dan disesuaikan dengan kriteria lokasi dan keadaan yang ada, salah satunya adalah turbin *vortex*. Sesuai dengan namanya, turbin *vortex* merupakan turbin pusaran yang digunakan untuk mengantarkan energi dari perbedaan ketinggian tertentu, umumnya berada pada *head* 0,7 m – 10 m. Melalui aliran radial yang menjadi ciri utamanya, turbin ini dikategorikan ke dalam turbin reaksi. Dari perbedaan ketinggian tersebut akan dimanfaatkan oleh turbin *vortex* untuk menghasilkan perbedaan tekanan pada sisi luar dan poros turbinnya. Selanjutnya, perbedaan ketinggian air dengan saluran keluar akan dibuat melingkar dan membentuk pusaran dengan bantuan basin. Adapun karakteristik turbin *vortex* yang dilihat berdasarkan debit dan *head* disajikan pada Gambar 1.

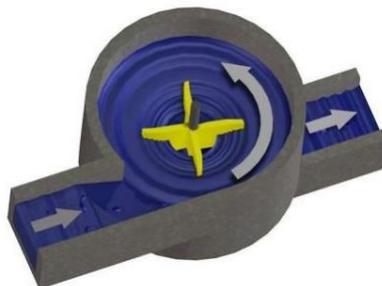


Gambar 1 Karakteristik turbin vortex berdasarkan head dan debit [7]

Dalam perkembangannya, turbin *vortex* dirancang untuk pertama kalinya oleh Franz Zotloterer seorang peneliti asal Austria yang saat itu sedang mencari cara untuk mengoptimalkan pemanfaatan air (di dalam [Timilsina, et al. \[7\]](#)). Selain itu, terdapat penelitian oleh [Ullah, et al. \[8\]](#) dengan judul *Performance Analysis of Multi-stage Gravitational Water Vortex Turbine* pada tahun 2019 dan *Investigation of Thermal Energy Exchange Potential Gravitational Water Vortex* [9] pada tahun 2020. Lebih lanjut, pada turbin *vortex* terdapat faktor yang berpengaruh pada keluaran PLTMH, yakni jumlah sudu karena jumlah sudu secara tidak langsung turut berperan pada kinerja turbin *vortex*. Dimana sudu merupakan bagian dari turbin yang menjadi tempat konversi energi yang terdiri dari bagian pangkal, badan, dan ujung sudu dan membentuk suatu lingkaran. Oleh karena itu, melalui review jurnal ini tim penulis mengkaji pengaruh jumlah sudu dengan berbagai macam variasi yang didapatkan dari studi literatur beberapa jurnal penelitian terdahulu dalam rentang tahun 2018-2023. Pengkajian teoritis ini didasari dari penelitian yang telah disebutkan dan didukung dengan penelitian eksperimental untuk mengetahui bagaimana pengaruh jumlah sudu ditinjau dari keluaran PLTMH.

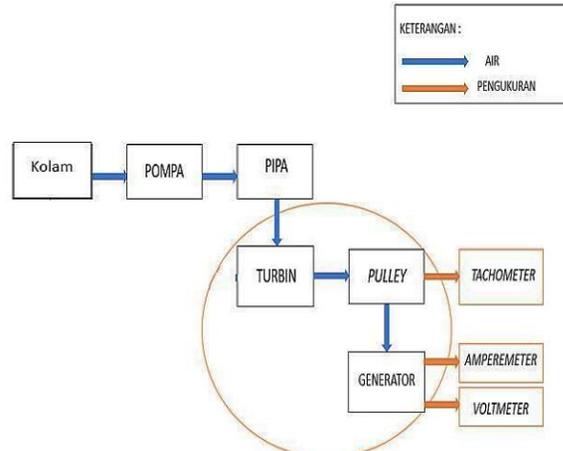
## 2. METODE PENELITIAN

Dalam kajian teoritis ini dilakukan melalui studi literatur menggunakan metode deskriptif analitik dari jurnal yang telah diulas sebelumnya. Adapun jurnal yang digunakan berkaitan dengan teknik pengumpulan data dari penelitian sebelumnya yang dianalisis menggunakan informasi kepustakaan lainnya. Pengkajian ini juga menggunakan metode kualitatif dari sumber data jurnal penelitian sebagai data sekunder yang diambil dari berbagai sumber dengan rentang tahun 2018-2023. Literatur digunakan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu dengan berbagai macam variasi pada turbin *vortex* yang ditinjau dari keluaran PLTMH. Pada Gambar 2, berikut ini ditunjukkan visualisasi dari turbin *vortex*.



Gambar 2. Turbin Vortex [10]

Selanjutnya, pada Gambar 3. ditunjukkan metode penelitian yang digunakan pada literatur



Gambar 3 Diagram alir pengujian pada sumber penelitian [11]

Adapun variabel bebas berupa variasi jumlah sudu dari berbagai jurnal terkait yang disandingkan dengan variabel bebas lainnya, seperti debit dan variabel terikat berupa keluaran PLTMH, seperti nilai putaran turbin, nilai putaran generator, tegangan, arus, daya, torsi, dan efisiensi. Berdasarkan literatur terdapat rentang variasi jumlah sudu yang dikaji, yakni 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, dan 12 dengan keluaran PLTMH yang beragam seperti pada contoh yang telah disebutkan sebelumnya. Serta, penggunaan metode eksperimen pada literatur menghasilkan keberagaman hasil penelitian yang akan dibahas pada bagian hasil dan diskusi. Alat pengujian yang digunakan, yakni berupa *tachometer*, *voltmeter*, dan *amperemeter*. Selain itu, terdapat beberapa persamaan matematis yang digunakan pada berbagai literatur terkait yang dirangkum sebagai berikut.

- Debit Air

$$Q = V \times A \tag{1}$$

- Kecepatan Turbin Berdasarkan Debit

$$nq = n \times \frac{\sqrt{Q}}{H^{0,75}} \tag{2}$$

- Kecepatan Tangensial Masuk Sudu Sisi Luar Sudu

$$u_1 = u^1 \times \sqrt{2 \times g \times H} \tag{3}$$

- Kecepatan Tangensial Masuk Sudu Leher Poros

$$u_N = u^N \times \sqrt{2 \times g \times h} \tag{4}$$

- Diameter Luar Runner

$$D_1 = \frac{60 \times u_1}{\pi \times n} \tag{5}$$

- Diameter Leher Poros

$$D_N = \frac{60 \times u_N}{\pi \times n} \tag{6}$$

- Lebar Runner

$$B_x = \frac{D_1}{2} - \frac{D_N}{2} \tag{7}$$

- Jarak Antar Sudu

$$K = \frac{\pi \times D_N}{N} \tag{8}$$

- Luas Sudu Turbin

$$A = N \times 38,96 \tag{9}$$

- Daya Hidrolik

$$P_{hid} = Q \times \rho \times g \times H \times v \tag{10}$$

- Torsi

$$\tau = (W - S) \frac{D+d}{2} \tag{11}$$

- Kecepatan Angular/Sudut

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \tag{12}$$

- Daya Turbin

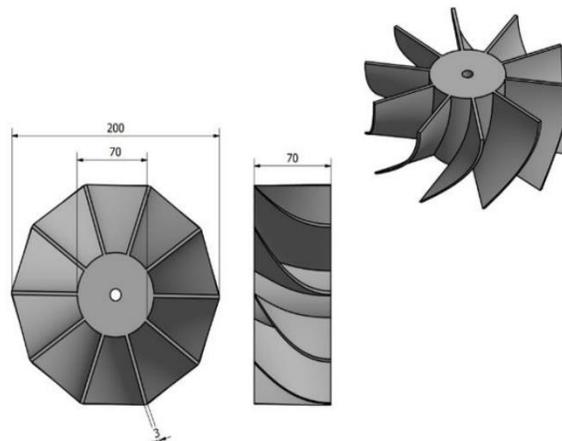
$$Pt = \tau \times \omega \tag{13}$$

- Efisiensi

$$Eff = \frac{Pt}{P_{hid}} \times 100\% \tag{14}$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada turbin *vortex* terdapat tiga tingkatan kekuatan turbin berdasarkan bentuk pusaran yang terbentuk, yakni *weak*, *critical*, dan *strong*. Dalam situasi tertentu turbin *vortex* juga bekerja dengan cara berbeda-beda yang diklasifikasikan menjadi tiga bagian, antara lain: *vortex* berotasi, *vortex* tidak berotasi, dan *vortex* dengan aliran kombinasi. Selain itu, terdapat beberapa komponen penting dari turbin *vortex*, di antaranya stator, sudu, rotor, dan bantalan. Dalam pengkajian ini akan lebih membahas mengenai sudu dan pengaruhnya terhadap keluaran PLTMH. Adapun visualisasi dari sudu pada turbin *vortex* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Sudu turbin *vortex* [11]

Turbin *vortex* menjadi terobosan teknologi terbaru di bidang potensi energi air, khususnya PLTMH. Adanya turbin *vortex* juga memberikan solusi untuk memanfaatkan aliran air dengan *head* rendah dengan menciptakan pusaran air. Adapun cara kerja dari turbin *vortex* adalah sebagai berikut.

- Air dari aliran sungai ataupun tepi sungai yang mengalir diarahkan menuju sirkulasi berupa tangki. Dimana dalam dasar tangki terdapat sebuah lubang lingkaran.
- Kemudian, untuk kekuatan aliran *vortex* atau pusaran dipengaruhi oleh lubang dasar tangki tersebut yang di dalamnya terdapat tekanan yang rendah dan kecepatan air di tempat masuk tangki.
- Pada energi potensial diubah menjadi energi kinetik rotasi yang terjadi pada inti *vortex* dan diproses melalui sumbu vertikal turbin.

Setelah itu, aliran air akan keluar dari saluran keluar dan kembali lagi ke sungai [12]. Selain itu, terdapat keunggulan yang dimiliki turbin *vortex*, di antaranya:

- Baik untuk dikembangkan pada daerah dengan *head* rendah.
- Dalam pengoperasiannya turbin *vortex*, tidak mengutamakan kontrol seperti turbin umumnya.
- Pada ekologi lingkungan, turbin *vortex* sangat ramah lingkungan dan tidak merusak habitat air yang ditinggalinya karena pengaruh tekanan pada proses konversi energinya aman untuk ekosistem air.
- Turbin *vortex* dapat menghasilkan daya yang besar berdasarkan debit yang dimiliki aliran air.
- Selain itu biaya perawatan tidak menguras biaya karena tidak membutuhkan perlakuan khusus, seperti pemasangan jaring halus untuk mencegah puing-puing masuk ke dalam turbin.

### 3.1 Parameter Perbandingan Variasi Jumlah Sudu

Setelah dilakukan pengkajian dasar mengenai turbin *vortex* hal selanjutnya adalah mengetahui bagaimana pengaruh variasi jumlah sudu terhadap keluaran PLTMH. Perbandingan variasi jumlah sudu didasarkan pada literatur jurnal yang didapatkan dengan rentang tahun 2018-2023. Di mana setelah melakukan pengkajian teoritis mengenai pengaruh variasi jumlah sudu akan diketahui keluaran yang dihasilkan dari PLTMH yang menggunakan turbin *vortex*. Adapun parameter perbandingan variasi jumlah sudu pada turbin *vortex* ditunjukkan pada Tabel 1.

No.	Jenis Turbin	Variasi Jumlah Sudu	Keluaran PLTMH yang Ditinjau	Referensi
1.	Turbin <i>Vortex</i>	4, 5, 6, 7, 8, dan 9	Torsi, Daya, Efisiensi, dan Kavitas	[13]
2.	Turbin <i>Vortex</i>	6, 8, dan 10	Daya dan Efisiensi	[14]
3.	Turbin <i>Vortex</i>	7, 8, 9, dan 10	Putaran Turbin, Torsi, Daya, dan Efisiensi	[15]
4.	Turbin <i>Vortex</i>	6 dan 8	Torsi dan Daya	[16]
5.	Turbin <i>Vortex</i>	2, 3, dan 4	Daya dan Efisiensi	[17]
6.	Turbin <i>Vortex</i>	3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	Kecepatan Putaran, Tegangan, Arus, Torsi, dan Efisiensi	[10]
7.	Turbin <i>Vortex</i>	3, 5, dan 9	Putaran Turbin Sebelum dan Sesudah Dikopel Generator, Putaran Generator, Tegangan, Arus, Daya Generator, Torsi, dan Efisiensi	[18]
8.	Turbin <i>Vortex</i>	6, 8, dan 10	Daya dan Efisiensi	[19]
9.	Turbin <i>Vortex</i>	4 dan 5	Daya dan Efisiensi	[20]
10.	Turbin <i>Vortex</i>	8, 10, dan 12	Nilai Putaran Turbin, Nilai Putaran Generator, Tegangan, Arus, Daya Keluaran Generator, Torsi, dan Efisiensi	[11]

Berdasarkan Tabel 1 dapat diketahui bahwa keseluruhan variasi jumlah sudu berpengaruh pada keluaran PLTMH. Keluaran tersebut menjadi peninjauan dari hasil penelitian yang telah

dilakukan sebelumnya. Pada penelitian dari [Rinanda and Permatasari \[13\]](#) dapat diketahui dengan jumlah sudu 4, 5, 6, 7, 8, dan 9 berpengaruh pada torsi, yakni ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar, yakni pada jumlah sudu 9 sebesar 2.851,81 Nm. Kemudian, ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka daya yang dihasilkan akan semakin besar, yakni pada jumlah sudu 9 sebesar 20,35 kW. Serta, ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin meningkat, yakni pada jumlah sudu 9 sebesar 64%. Selain itu, ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka kavitas yang dihasilkan akan semakin kecil, yakni pada jumlah sudu 9 sebesar 2481130 Pa lebih besar dari tekanan uapnya (2338,48 Pa) sehingga aman dari kavitas.

[Al Farisi, et al. \[14\]](#) mengungkapkan bahwa penggunaan jumlah sudu 6, 8, dan 10 dapat berpengaruh pada daya yang dihasilkan, ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin besar maka daya yang dihasilkan akan semakin tinggi, yakni pada jumlah sudu 10 sebesar 19,58 Watt. Jumlah sudu juga mempengaruhi efisiensi, ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin besar maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin meningkat, yakni pada jumlah sudu 10 sebesar 29,93% dengan pembebanan 3,315 kg dan debit 10,14 l/s. Pada penelitian lainnya melaporkan bahwa putaran turbin dipengaruhi oleh jumlah sudu yang digunakan, penggunaan sudu 7, 8, 9 dan 10 menghasilkan putaran yang tinggi seiring meningkatnya variasi jumlah sudu tetapi memiliki titik optimum sehingga pada sudu 10 mengalami penurunan putaran turbin karena ketika terjadi penambahan jumlah sudu maka massa turbin semakin besar dan debit yang besar akan mengakibatkan volume air pada basin bertambah sehingga turbin sulit untuk berputar. Selain mempengaruhi nilai daya dan efisiensi jumlah sudu juga mempengaruhi torsi yang dihasilkan, ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar tetapi memiliki jumlah sudu optimum terhadap torsi. Pada penelitian [Rachmanto, et al. \[15\]](#) memperoleh hasil pada jumlah sudu 10 dengan debit 0,011 m<sup>3</sup>/s mengalami penurunan nilai torsi yang disebabkan dengan penambahan jumlah sudu maka massa turbin semakin besar serta debit yang besar akan mengakibatkan volume air pada basin cepat bertambah yang mengakibatkan turbin akan terendam sehingga pada jumlah sudu 10 semakin sulit untuk berputar dan beban rem kecil. Sementara itu, ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka daya turbin yang dihasilkan akan semakin besar, sejalan dengan semakin besar variasi debit yang digunakan, yakni pada jumlah sudu 10. Akan tetapi, pada jumlah sudu 10 tersebut dengan debit 0,011 m<sup>3</sup>/s mengalami penurunan daya turbin karena putaran turbin dan torsi yang juga mengalami penurunan. Selain itu, pada jumlah sudu 10 dengan debit 0,008 m<sup>3</sup>/s menjadi nilai efisiensi tertinggi karena bertambahnya debit akan mempengaruhi tinggi pusaran yang dihasilkan dan *head* menjadi lebih besar [15].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan [Umurani, et al. \[16\]](#) dapat diketahui bahwa jumlah sudu 6 dan 8 berpengaruh pada torsi yang dihasilkan, Ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka torsi yang dihasilkan akan semakin besar yakni pada jumlah sudu 8 sebesar 10,06 kg.mm. Selain itu, ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka daya yang dihasilkan akan semakin besar, yakni pada jumlah sudu 8 sebesar 30,41 Watt. Pada penelitian ini juga diberikan variasi debit dengan rentang 90 l/min, 110 l/min, 125 l/min, 135 l/min, dan 150 l/min akan tetapi berbeda dengan penelitian dari Tri Rachmanto. Hal ini dapat disebabkan karena variasi jumlah sudu yang digunakan berbeda. Pada penelitian dari [Faizal, et al. \[17\]](#) dapat diketahui dengan jumlah sudu 2, 3, dan 4 berpengaruh pada daya yang dihasilkan, yakni ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka daya yang dihasilkan akan semakin besar, yakni pada jumlah sudu 4 sebesar 9,72 Watt. Kemudian, ketika jumlah sudu yang divariasikan semakin banyak maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin besar, yakni pada jumlah sudu 4 sebesar 65,77%.

Variasi penggunaan jumlah sudu yang dikemukakan oleh Nugroho, et al. [10] dapat diketahui dengan jumlah sudu yang lebih banyak, yakni 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, dan 10 akan berpengaruh pada keluaran PLTMH. Dalam hal ini jumlah sudu yang paling maksimum adalah jumlah sudu 6 karena besarnya hambatan yang ada pada jumlah sudu ini tidak begitu mempengaruhi keluaran dibandingkan dengan jumlah sudu lainnya. Dimana pernyataan pada semakin banyaknya jumlah sudu yang divariasikan maka akan semakin besar keluaran yang dihasilkan hanya berlaku pada jumlah sudu 3 sampai dengan 6. Setelah itu, pada jumlah sudu 7 sampai dengan 10 mulai mengalami penurunan kembali karena pengaruh hambatan dari banyaknya jumlah sudu yang divariasikan. Pada jumlah sudu 6 mendapatkan kecepatan 141,3 rpm, tegangan 0,28 volt, arus 44mA, torsi 0,22 Nm, dan efisiensi 76,5%. Pada penelitian dari Agustha, et al. [18] dapat diketahui dengan jumlah sudu 3, 5, dan 9 berpengaruh pada keluaran PLTMH. Dalam penelitian ini semakin banyak jumlah sudu akan meningkatkan kinerja *prototype* PLTMH. Dimana dalam sistem dengan jumlah sudu 9 dan debit 4,5 l/s mendapatkan keluaran maksimum, yakni putaran turbin sebelum dan sesudah dikopel generator masing-masing 303,8 rpm dan 230,5 rpm, putaran generator sebesar 653,5 rpm, tegangan 8,29 volt, arus 0,046 A, dan daya generator 0,387 Watt dengan torsi 0,0393 Nm, serta efisiensi sebesar 2,92%. Pada penelitian dari Rasyid [19] dapat diketahui dengan jumlah sudu 6, 8, dan 10 berpengaruh pada semakin besarnya daya dan efisiensi yang dapat dihasilkan ketika jumlah sudu ditambahkan, yakni jumlah sudu 10. Pada jumlah sudu 10 dengan tinggi impeller sebesar 215 mm akan menghasilkan daya mekanik sebesar 25,2028 Watt, daya dinamo atau generator 7,775 Watt, dan efisiensi yang dapat dicapai pada turbin, yakni 65,39%.

Daya dan efisiensi dapat dipengaruhi oleh jumlah sudu seperti pada penelitian dari Nursadilah [20] dapat diketahui dengan jumlah sudu 4 dan 5 berpengaruh pada daya dan efisiensi yang dihasilkan. Ketika jumlah sudu semakin banyak divariasikan maka daya dan efisiensi akan semakin besar, yakni pada jumlah sudu 5 dengan bukaan katup 100% dan debit 9,71 l/s menghasilkan 292,59 Watt dan efisiensi sebesar 7,05%. Serta, pada penelitian dari Prasetyo and Rahmadian [11] dapat diketahui dengan jumlah sudu 8, 10, dan 12. Dimana pada penelitian terbaru ini terdapat pembaharuan pada jumlah sudu turbin yang digunakan, yakni jumlah sudu 12. Dari penelitian yang dilakukan jumlah sudu 12 menghasilkan keluaran paling baik. Pada putaran turbin sebelum dikopel dan sesudah dikopel generator masing-masing menghasilkan nilai sebesar 210,5 rpm dan 143,0 rpm dari generator sebesar 70,4 rpm. Kemudian, tegangan 8,28 volt, arus 0,35 A, daya generator 2,89 Watt, torsi 0,39 Nm, dan efisiensi yang mampu mencapai 99,89%.

Sehingga, dari literatur jurnal yang dikaji dapat diketahui jumlah sudu sangat berpengaruh pada keluaran PLTMH. Namun, dalam beberapa penelitian yang telah disebutkan terdapat beberapa penelitian yang menjadi perhatian lebih lanjut karena keluaran yang dihasilkan berbanding terbalik dengan teori. Hal ini dikarenakan keluaran PLTMH juga dipengaruhi oleh faktor lainnya, seperti debit air. Kemudian, kondisi penelitian pada saat pengujian turbin *vortex* juga perlu diperhatikan kembali disertai alat pengujian yang lebih akurat dan menghasilkan hasil pengujian yang lebih valid.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan literatur jurnal yang diulas dan dikaji secara teoritis, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Turbin *vortex* merupakan turbin yang bekerja melalui pusaran air dan dapat digunakan pada aliran air dengan *head* rendah untuk mengoptimalkan fungsi dari PLTMH.
2. Dalam turbin *vortex* terdapat beberapa komponen, salah satunya adalah sudu. Dimana sudu ini memiliki ragam variasi jumlah yang divariasikan untuk mendapatkan keluaran PLTMH yang optimum.

3. Dari literatur jurnal yang didapatkan hampir keseluruhan menyatakan bahwa, semakin banyak jumlah sudu yang ditambahkan maka akan semakin optimum keluaran yang dihasilkan oleh PLTMH. Akan tetapi, terdapat sebagian kecil jurnal yang diulas dan menyatakan hal berkebalikan. Hal ini dikarenakan keluaran PLTMH juga dipengaruhi oleh faktor lainnya, seperti debit yang menjadi gaya reaksi dari sudu turbin.
4. Sehingga, dalam memodifikasi turbin *vortex* dengan variasi jumlah sudu perlu memperhatikan massa jenis dari sudu, debit yang ada pada aliran, dan kondisi lingkungan sekitarnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM. (2021). *Peta Potensi Energi Hidro di Indonesia*. [Online] Available: [https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi\\_hidro/peta-potensi-energi-hidro-indonesia-2020](https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_hidro/peta-potensi-energi-hidro-indonesia-2020)
- [2] I. Kumara, W. Ariastina, I. Sukerayasa, and I. Giriantari, "On the potential and progress of renewable electricity generation in Bali," in *2014 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, 2014: IEEE, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICITEED.2014.7007944.
- [3] P. D. Sari and I. Kumara, "The development of Jatiluwih micro-hydro power plants to support tourism destinations," in *2018 International Student Conference on Electrical and Computer Engineering (ISCECE), Bali, Indonesia*, 2018, pp. 9-14.
- [4] D. P. A. Laksana, I. A. D. Giriantari, and I. N. S. Kumara, "Redesain Turbin 175 KW Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Mekar Sari Buleleng Bali," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 19, no. 2, pp. 241-248, 2020.
- [5] M. F. R. Hakim and P. H. Adiwibowo, "Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus dengan Variasi Tinggi Sudu," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, pp. 85-95, 2018.
- [6] G. Suwoto and Supriyo, "Pembuatan Turbin Vortex Dengan Sudu Pipa Belah Tiga Dengan Sudut Kemiringan Sudu 45," *Eksergi*, vol. 14, no. 3, pp. 72-77, 2019.
- [7] A. B. Timilsina, S. Mulligan, and T. R. Bajracharya, "Water vortex hydropower technology: a state-of-the-art review of developmental trends," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 20, no. 8, pp. 1737-1760, 2018/10/01 2018, doi: 10.1007/s10098-018-1589-0.
- [8] R. Ullah, T. A. Cheema, A. S. Saleem, S. M. Ahmad, J. A. Chattha, and C. W. Park, "Performance analysis of multi-stage gravitational water vortex turbine," *Energy Conversion and Management*, vol. 198, p. 111788, 2019/10/15/ 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111788>.
- [9] M. Tayyab, T. A. Cheema, M. S. Malik, A. Muzaffar, M. B. Sajid, and C. W. Park, "Investigation of Thermal Energy Exchange Potential Gravitational Water Vortex," *Renewable Energy*, vol. 162, pp. 1380-1398, 2020.
- [10] A. D. Nugroho, P. Suwandono, D. Hermawan, and A. Rizki, "Pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja 3D print turbin air tipe vortex," *Jurnal Turbo*, vol. 11, no. 1, pp. 95-108, 2022.
- [11] H. B. Prasetyo and R. Rahmadian, "Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Menggunakan Turbin Vortex," *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, vol. 12, no. 2, pp. 65-73, 2023.
- [12] W. D. Prasetyo, "Rancang bangun turbin vortex skala kecil dan pengujian pengaruh bentuk penampang sudu terhadap daya," *Sarjana Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta*, 2018.

- [13] V. Rinanda and R. Permatasari, "Optimasi Desain Turbin Air Tipe Vortex Dengan 5 Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi," in *PROSIDING SEMINAR NASIONAL CENDEKIAWAN*, 2018, pp. 785-790.
- [14] A. Al Farisi, Y. Handoyo, and T. Rokhman, "Analisis Variasi Jumlah Sudu Turbin Berpenampang Pelat Datar pada Turbin Air Aliran Vortex dengan Tipe Saluran Masuk Involute," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 72-78, 2019.
- [15] T. Rachmanto, M. Sahlan, and Nurpatia, "Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Vortex," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. (Naskah), pp. 45-55. [Online]. Available: <https://perpustakaan.ft.unram.ac.id/index.php?p=fstream-pdf&fid=1966&bid=8668>.
- [16] K. Umurani, A. M. Siregar, and S. Al-Amin, "Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Kinerja," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 3, no. 2, pp. 103-111, 2020.
- [17] Y. N. Faizal, D. S. Wijayanto, and Y. Estriyanto, "Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Dan Jarak Sudu Dengan Saluran Keluar Terhadap Daya Output Listrik Turbin Vortex," *NOZEL Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, vol. 3, no. 4, pp. 275-281, 2021.
- [18] K. R. Agustha, L. Jasa, and I. M. Suartika, "Pengaruh variasi jumlah sudu terhadap efisiensi pada prototype pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dengan menggunakan turbin vortex," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 9, no. 3, pp. 24-34, 2022.
- [19] I. Rasyid, "Pengaruh Tinggi Impeller Dan Variasi Jumlah Sudu Pada Impeller Terhadap Kinerja Turbin Vortex," Sarjana Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Islam Riau, Pekanbaru, 2022. [Online]. Available: <https://repository.uir.ac.id/13557/>
- [20] M. Nursadilah, "Uji eksperimental kinerja turbin reaksi aliran vortex tipe sudu melengkung dengan variasi jumlah sudu skala laboratorium," Sarjana Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Pontianak, Pontianak, 2022.