

Pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja 3D print turbin air tipe vortex

Alvin Dio Nugroho¹, Purbo Suwandono^{2*}, Dadang Hermawan³, Arief Rizki Fadhillah⁴

¹Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang
^{2,3,4}D3 Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang
Jl. Borobudur No. 35, Malang, Indonesia
*Corresponding author: purbo@widyagama.ac.id

Abstract

The potential of natural resources in the form of water energy is a renewable natural resource that is often used because it does not damage the environment and can be used continuously. This water flow has two types, namely laminar flow and turbulent flow, the forces generated from these two flows are also different. Turbulent flow tends to produce a greater force and can lift object masses better than laminar flow. Therefore, a vortex turbine has emerged which utilizes turbulent flow as a waterwheel drive, by directing laminar flow towards the cross section and converting it into turbulent flow by utilizing the force of gravity and The cross-sectional shape forms a whirlpool that can move a waterwheel and turn a turbine. The number of blades is very influential on the performance generated from the vortex turbine and affects the resulting output, be it voltage, current, rotational speed, torque and efficiency. In this study, the best results were shown on blades with a total of 6, at a rotational speed of 141.3 rpm; at the voltage shows the result of 0.28 volts; at current it produces 44 mA; at Torque (Nm) 0.22 Nm; and the efficiency is 76.5%.

Keywords: Renewable energy, vortex turbine, energy conversion, turbin blade.

Abstrak

Potensi sumber daya alam berupa energi air merupakan sumber daya alam terbaharukan yang sering digunakan karena sifatnya yang tidak merusak lingkungan serta dapat digunakan terus menerus. Dengan digunakannya sumber energi air sebagai pembangkit munculah aplikasi atau perangkat yang banyak digunakan yaitu turbin air. Aliran air ini memiliki dua jenis yaitu aliran laminar dan aliran turbulen, gaya yang dihasilkan dari dua aliran ini juga berbeda. Aliran turbulen cenderung menghasilkan gaya yang lebih besar dan dapat mengangkat massa benda lebih baik daripada aliran laminar. Oleh sebab itu munculah turbin vortex yang memanfaatkan aliran turbulen sebagai penggerak kincir air, dengan mengarahkan aliran laminar kearah penampang dan diubah menjadi aliran turbulen dengan memanfaatkan gaya gravitasi dan bentuk penampang membentuk pusaran air yang dapat menggerakkan kincir air dan memutar turbin. Jumlah sudu sangat berpengaruh pada performa yang dihasilkan dari turbin vortex dan mempengaruhi keluaran yang dihasilkan, baik itu tegangan, arus, kecepatan putaran, torsi dan efisiensi. Pada penelitian ini hasil terbaik ditunjukkan pada sudu dengan jumlah 6, pada kecepatan putaran menghasilkan 141,3 rpm; pada tegangan menunjukkan hasil 0,28 Volt; pada arus menghasilkan 44 mA; pada Torsi (Nm) 0,22 Nm; dan pada Efisiensi yaitu 76,5 %.

Kata kunci: energi terbarukan, turbin vortex, konversi energi, sudu turbin.

Pendahuluan

Potensi energi air sebagai pembangkit listrik yang mudah diaplikasikan di masyarakat menjadi salah satu cara yang

efisien untuk memanfaatkan sumber daya tersebut menjadi energi listrik.

Sumber daya yang sering digunakan oleh manusia adalah energi listrik. Tenaga air merupakan sumber yang digunakan oleh

pembangkit listrik untuk menggerakkan turbin dan generator, dan utamanya mikrohidro mempunyai tiga hal utama yaitu air sumber energi, turbin sebagai penangkap energi, dan generator

Air yang mengalir dengan debit tertentu dialirkan pada ketinggian tertentu melalui pipa cepat ke gedung instalasi (pembangkit listrik). Tekanan dan aliran air di dalam pipa dari pipa utama yang akan digunakan untuk kegiatan biasa juga dapat digunakan untuk memutar turbin mikrohidro untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik.

Pemanfaatan energi potensial yang terkandung dalam pendistribusian air minum ke pemukiman penduduk sebagai alternatif sumber tenaga listrik.

Potensi sumber daya alam berupa energi air merupakan sumber daya alam terbaharukan yang sering digunakan karena sifatnya yang tidak merusak lingkungan serta dapat digunakan terus menerus. Dengan digunakannya sumber energi air sebagai pembangkit munculah aplikasi atau perangkat yang banyak digunakan yaitu turbin air [1]

Turbin air memanfaatkan massa air dan mekanika fluida yang ditimbulkan untuk memutar sudu kincir air dan menggerakkan generator sehingga menimbulkan energi listrik yang dapat digunakan terus menerus. Banyak jenis-jenis turbin air yang digunakan sekarang, salah satu contohnya turbin francis, turbin pelton, turbin vortex dan lain-lain. Semua jenis turbin tersebut digunakan berdasarkan keadaan aliran air. Aliran air ini memiliki dua jenis yaitu aliran laminar dan aliran turbulen, gaya yang dihasilkan dari dua aliran ini juga berbeda. Aliran turbulen cenderung menghasilkan gaya yang lebih besar dan dapat mengangkat massa benda lebih baik daripada aliran laminar. sebab itu munculah turbin vortex yang memanfaatkan aliran turbulen sebagai penggerak kincir air, dengan mengarahkan aliran laminar kearah penampang dan diubah menjadi aliran turbulen dengan memanfaatkan gaya gravitasi dan bentuk penampang

membentuk pusaran air yang dapat menggerakkan kincir air dan memutar turbin. Aliran fluida yang jatuh tersebut ditangkap oleh sudu kincir air dan menggerakkan turbin sebagai pembangkit [2].

Beberapa peneliti telah mempelajari performansi turbin air tipe vortex Vico Rinanda melakukan penelitian optimasi desain turbin air tipe vortex dengan 5 variasi jumlah sudu pada efisiensi dan menyimpulkan tipe turbin yang paling optimal digunakan pada Baturaden Adventure Forest Purwokerto menggunakan runner dengan total 9 bilah yang menghasilkan output daya maksimum 20,35 kW dengan efisiensi 64%. Jenis roda dengan jumlah bilah 9 ini aman dari kavitas karena memiliki tekanan terendah sebesar 2481130 Pa lebih tinggi dari tekanan uap jenuhnya sebesar 2338,48 Pa [3].

K.Umurani [4] melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu pada prototipe pembangkit listrik tenaga mikrohidro tipe spa terhadap kinerja turbin vortex Dari hasil analisis penelitian pada turbin spa jumlah sudu 6 dan 8 sudu dengan debit air 90 liter/menit, 110 liter/menit, 125 liter/menit, 135 liter/menit dan 150 liter/menit yang tertera pada lampiran, maka dapat disimpulkan bahwa : torsi terdapat pada jumlah sudu 6 dengan kapasitas 90 liter/menit dengan nilai torsi = 7.60858 kg.mm dan torsi maksimum didapatkan pada 8 sudu berkapasitas 150 liter/menit dengan nilai torsi = 10.06572 kg .mm. 2) Daya turbin terendah pada sudu 6 dengan debit 90 liter/menit dengan nilai = 0.2654549 Watt dan daya turbin tertinggi pada jumlah sudu 8 dengan debit 150 liter/menit dengan nilai = 1.03288761 Watt. 3) Daya hidrolik terendah pada jumlah sudu 6 dengan debit 90 liter/menit dengan nilai = 18,2466 Watt dan daya hidrolik tertinggi pada jumlah sudu 8 dengan debit 150 liter/menit dengan nilai = 30.411 Watt.

Sena Aripasetya [5] melakukan penelitian tentang pengaruh eksperimen kemiringan sudut sudu dengan penampang plat datar terhadap kinerja putaran turbin aliran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

daya maksimum yang diperoleh pada reaksi aliran memutar turbin ini berada pada sudut sudu sebesar $22,5^\circ$ yaitu pada kapasitas 7,9

L/s dengan daya tinggi yang diperoleh sebesar 29,77 Watt dengan beban 25000 gram. kapasitas 9,3092 L/s dengan daya yang diperoleh 32,77 Watt dengan beban 25000 g Kapasitas 11,0429 L/s dengan daya yang diperoleh 38,27 Watt pada beban 35000 g Kapasitas 13,4434 L/s dengan daya yang diperoleh sebesar 51,03 Watt pada beban 50.000 g. Turbin dengan kemiringan $7,5^\circ$ memiliki ketahanan terhadap beban yang tinggi, menjadi debit aliran sebesar 7,9

L/s dengan daya yang diperoleh sebesar 29,77 Watt pada beban hingga 38000 gram Laju alir sebesar 9,3092 L/s dengan diperoleh daya sebesar 32,77 Watt pada beban hingga 44000 g. Kapasitas 11,0429 L/s dengan daya yang diperoleh 38,27 Watt pada beban hingga 46000 g. Kapasitas 13,4434 L/s dengan daya yang diperoleh 51,03 Watt pada beban hingga 60000 g. Hal ini disebabkan arah aliran jatuh yang mengenai sudut sudu mendekati sudut tegak lurus. sehingga membuat putaran turbin lebih cepat dan tahan terhadap beban yang lebih besar dari sudut sudu turbin sebesar 0° .

Rizwan Ullah [6] melakukan penelitian mengenai Performance analysis of multi-stage gravitational water vortex turbine, hasil yang didapatkan adalah distorsi pusaran yang disebabkan oleh TS hanya mempengaruhi kecepatan rotasi BS; dengan demikian, profil bilah dari tahap atas harus dirancang untuk distorsi vortex minimal. Peningkatan jarak offset antara TS dan BS menghasilkan re-orientasi pusaran, yang meningkatkan kinerja BS. GWVT tiga tahap menentukan bahwa kinerja rotor di dekat UC lebih tinggi dari rotor di bawah, menunjukkan bahwa vortisitas permukaan yang tidak terdistorsi memiliki lebih banyak energi yang tersedia untuk pembangkit listrik.

Muhammad Tayyab [7] melakukan penelitian dengan judul *Investigation of thermal energy exchange potential of a*

gravitational water vortex, dan hasilnya adalah pembentukan pusaran yang kuat di bawah gravitasi terutama tergantung pada laju aliran masuk. Tidak ada pembentukan inti udara yang terjadi pada aliran yang lebih kecil tarif; namun, inti udara yang kuat di pusat terbentuk yang meluas ke dasar cekungan dengan laju aliran masuk yang lebih besar.

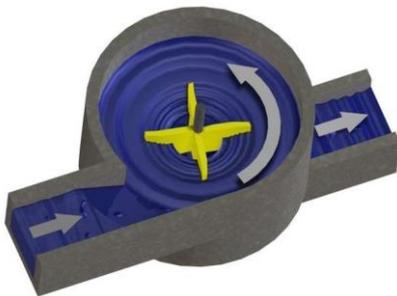
Berdasarkan uraian penelitian terdahulu diatas dapat dilihat bahwa telah banyak penelitian tentang turbin vortex, namun masih perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang bagaimana desain turbin vortex apabila dilakukan variasi jumlah sudu. Bahan dasar turbin vortex yang digunakan adalah Polyactic Acid (PLA) yang dicetak menggunakan 3D Printing. Pada penelitian ini, peneliti mendesain dan menerapkan sudu kincir air berdasarkan pada segitiga kecepatan, sebaik mungkin menangkap aliran fluida dengan memanfaatkan kemiringan sudu dan jumlah sudu yang dibuat. Peneliti mendesain sudu kincir air dengan kemiringan yang sudah diterapkan dan berpatok pada segitiga kecepatan, kemudian jumlah sudu yang dibuat pada setiap jenis sudu akan diteliti.

Tinjauan Pustaka

Turbin merupakan komponen terpenting dari sebuah pembangkit listrik. Aliran air diubah menjadi energi kinetik untuk memutar rotor, menggunakan belt, puli dan gearbox. Rotor yang dihubungkan dengan generator akan memodifikasi putaran yang diperoleh sehingga menjadi energi listrik. Pada dasarnya setiap turbin air harus memiliki sudu yang berfungsi untuk menerima energi kompresi (dalam turbin reaksi) atau momentum air (dalam impuls turbin). Baling-baling turbin jet memiliki desain. (profil) khusus sehingga mampu menyebabkan penurunan tekanan air saat melewati sudu-sudu. Dengan desain sudu-sudu seperti itu, tekanan keluar turbin sangat rendah dibandingkan dengan tekanan air yang masuk ke turbin Perbedaan tekanan air pada sisi inlet dan outlet turbin yang memberikan gaya dorong ke sudu-sudu

turbin dengan memutar turbin Turbin air yang beroperasi berdasarkan prinsip tekanan diferensial ini diklasifikasikan sebagai turbin reaksi. Ada dua jenis sudu dalam turbin reaksi, yaitu sudu tetap dan sudu bergerak.

Turbin Vortex (*Whirlpool*) adalah turbin yang menggunakan vortex sebagai media perantara energi ke sumbu vertikal sehingga terjadi perbedaan tekanan antara sumbu dan media sekitarnya. perbedaan tekanan air dengan sumbu. Ini ditemukan oleh insinyur Austria Franz Zotloterer ketika mencoba menemukan cara untuk menganginkan air tanpa sumber daya eksternal.



Gambar 1. Turbin Vortex

Vortex Flow adalah massa fluida yang partikel-partikelnya bergerak melingkar dengan garis-garis aliran membentuk lingkaran-lingkaran konsentris. Pergerakan pusaran berputar disebabkan oleh perbedaan kecepatan antara lapisan fluida yang berdekatan. Dapat juga diartikan sebagai gerak fluida alami yang disebabkan oleh parameter kecepatan dan tekanan Vortex sebagai vortex yang merupakan pengaruh putaran rotasi dimana viskositas mempengaruhinya .

Aliran pusaran bebas Aliran pusaran terjadi bahkan jika tidak ada gaya yang diterapkan pada fluida. Karakteristik pusaran bebas adalah kecepatan tangensial partikel fluida yang berputar pada jarak tertentu dari pusat pusaran[8].

Hubungan kecepatan partikel fluida v terhadap jaraknya dari pusat putaran r dapat dilihat pada persamaan ini:

$$V = \frac{\tau}{2\pi r}$$

Dimana:

V = kecepatan tangensial fluida ($m\ s^{-1}$)

r = jari-jari putaran partikel fluida dari titik pusat (m)

τ = sirkulasi

Aliran pusaran paksa Ketika sebuah gaya diterapkan pada fluida dengan maksud untuk memutar aliran fluida. Hubungan antara kecepatan partikel fluida v dan jaraknya dari pusat rotasi r dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$V = r \cdot \omega$$

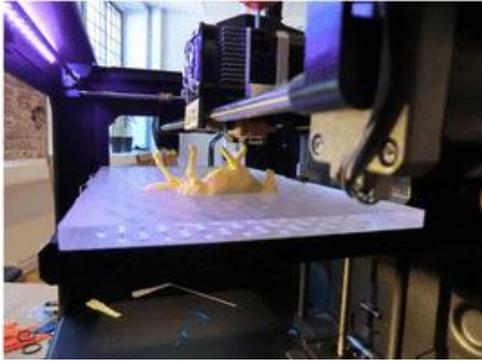
Dimana:

ω = kecepatan sudut

r = jari-jari putaran (m)

Pembangkit listrik tenaga air adalah salah satu dari lima sumber utama energi terbarukan. Energi ini dapat dimanfaatkan dan diubah menjadi listrik dan pembangkit listrik tenaga air tanpa meninggalkan emisi gas rumah kaca dari pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil. Tidak seperti sumber energi terbarukan lainnya, air akan terus tumbuh. menghasilkan energi secara terus menerus dan ketersediaannya terus menerus dihasilkan oleh siklus hidrologi. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dihasilkan dari energi potensial air yang diubah menjadi energi mekanik oleh turbin dan energi ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator dengan menggunakan ketinggian dan kecepatan [9].

Pencetakan 3D adalah teknologi yang pertama kali dibuat pada tahun 1980. Ini pertama kali dibuat oleh Chuck Hull dari 3D Systems Corp. Sejak itu, printer 3D terus berkembang dan banyak digunakan. Pencetakan 3D adalah teknologi pencetakan yang menggunakan mesin cetak khusus sehingga hasil yang diperoleh berbentuk 3D.



Gambar 2. Mesin 3D Print

Mesin cetak memiliki kecanggihan khusus, yaitu kemampuan untuk mencetak objek yang sama persis dengan gambar yang ada di software file, secara 3D (tidak lagi sebatas mencetak gambar di atas kertas). Hasil dari 3D printing ini digunakan dalam prototyping (model) dan industri pada umumnya. , seperti dalam arsitektur, dalam industri otomotif, militer, medis, dalam sistem informasi geografis hingga bioteknologi (penggantian jaringan tubuh manusia). Misalnya, dalam produksi sepatu salah satu merek terkemuka dunia, sol mulai menggunakan pencetakan 3D, yang tentu saja sangat dapat disesuaikan sesuai dengan pengguna sepatu [10].

Aliran air di saluran berdasarkan tekanan air tanah dapat menjadi aliran saluran terbuka atau aliran tabung Kedua jenis aliran serupa dalam banyak hal, tetapi berbeda dalam satu aspek penting: permukaan terbuka harus memiliki permukaan bebas yang ditentukan oleh tekanan atmosfer atau juga disebut atmosfer kecuali tekanan hidrolik, sedangkan pipa alirannya tidak, karena air harus memenuhi seluruh saluran. Aliran air yang melalui bendung merupakan aliran saluran terbuka.

Aliran laminar ($Re < 500$) Sifat fisis aliran ini adalah arah alirannya lurus dan tidak bersilangan (percobaan Osborn Reynolds).

Aliran transisi ($500 < Re < 1000$) Ciri fisik aliran ini adalah arah alirannya lurus, tetapi di tengah alirannya membelok, tetapi belum bersilangan.

Aliran turbulen ($Re > 1000$) Ciri fisik aliran ini adalah arah alirannya seakan dan tidak beraturan, turbulen [8].

Bilangan Reynolds dirumuskan sebagai :

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu}$$

Keterangan :

Re: bilangan reynolds

v : kecepatan aliran (m/dt)

R : jari-jari hidrolis (m)

ν : kekentalan kinematik (m^2 / dt)

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen. Penelitian eksperimental adalah metode sistematis yang berfungsi untuk membangun hubungan yang mengandung fenomena kausal. Penelitian eksperimental merupakan metode utama dari model penelitian yang menggunakan sistem pendekatan kuantitatif dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap unjuk kerja vortex turbin.

1. Desain sudu

a. Sudu dengan jumlah 3 - 10

Perancangan sudu turbin menggunakan software solidwork, desain tersebut kemudian diconvert menggunakan aplikasi Cura, sehingga dapat diaplikasikan kedalam mesin 3D print, proses pencetakan menggunakan material berbahan dasar filament PLA.

b. Perhitungan sudu terhadap segitiga kecepatan

Dasar kinematika dari aliran gas yang menumbuk sudut turbin salah satunya adalah segitiga kecepatan. Pemahaman mengenai segitiga kecepatan akan berpengaruh dan membantu dalam pemahaman proses konversi pada sudu-sudu turbin air atau pada jenis turbin yang lain.

Perhitungan :

Rumus :

$$s = v \times t \text{ (jarak x jumlah sudu)}$$

$$s = \text{jarak}$$

$$v = \text{kecepatan}$$

$$t = \text{waktu}$$

c. Perhitungan sudu terhadap momen inersia

Momen inersia merupakan kecenderungan benda untuk mempertahankan kan putaran.

Pada hasil pengukuran maka berat yang didapatkan sebagai berikut, pada sudu 3 ; 24,5 gram, sudu 4 ; 28,6 gram, sudu 5 ; 32,8 gram, sudu 6 ; 37,4 gram, sudu 7 ; 41,9 gram, sudu 8 ; 45,7 gram, sudu 9 ; 50,2 gram, sudu 10 ; 54,2 gram. Momen inersia yang berkerja pada sudu sebagai berikut : :

Rumus :

$$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2$$

$I = \text{inersia}$

$m = \text{massa}$

$r = \text{jari - jari}$

Benda tegar yang berbentuk pejal memiliki penyebaran massa yang merata di setiap titik beratnya. Jumlah momen inersia benda tegar diperoleh melalui hasil penjumlahan dari momen inersia semua elemen massa yang terdapat pada benda tegar. Penjumlahan diperoleh melalui operasi integral. Nilai dari momen inersia dipengaruhi oleh bentuk benda, massa benda, dan letak sumbu putar dari benda

d. Instalasi turbin vortex



Gambar 3. Instalasi Turbin Vortex

Pembuatan turbin vortex menggunakan material plat stainless steel dan beberapa komponen menggunakan filament 3D print yang terhubung menjadi satu. Turbin vortex memiliki spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 1. Spesifikasi Instalasi Turbin Vortex

No	Spesifikasi	Keterangan
1	Pompa (0,45 liter/menit)	1 buah
2	Generator 12 Volt	1 buah
3	Sudu turbin 3D print	8 buah
4	Penahan turbin	1buah

2. Teknik pengambilan data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan diluar ruangan dengan menggunakan pompa yang menghasilkan debit 0,45 liter/menit :

1. Percobaan dilakukan 4 cara yaitu pengambilan keluaran dari turbin air vortex meliputi output, torsi,rpm, tegangan ,daya, dan efisiensi. Setiap macam percobaan dilakukan selama satu jam dan dibagi dari 5, 10, 20,30,45,dan 60 menit pada setiap jumlah sudu.
2. Melakukan pencatatan terhadap parameter pengukuran meliputi; kecepeatan putaran (rpm) dengan menggunakan alat ukur tachometer, pengukuran tegangan (Volt) dengan alat ukur multimeter,pengukuran arus (ampere) dengan amperemeter, pengukuran daya, dan pengukuran efisiensi
3. Pengambilan data ini dilakukan selama 3 hari untuk masing-masing variabel jenis material pada sudu dengan jumlah berbeda, sudu dengan jumlah 3;4;5;6;7;8;9;10.

Hasil dan Pembahasan

Pemanfaatan pusaran air sebagai sumber energi utama yang menggerakkan sumbu vertikal adalah cara kerja turbin Vortex sehingga terdapat perbedaan antara tekanan dan sumbu disekelilingnya. turbin ini dapat diaplikasikan di daerah tertentu dengan head yang relatif rendah. Dengan pemanfaatan pusaran dan gravitasi air yang maksimal dapat menghasilkan perbedaan tekanan pada sumbu. Pusaran air tersebut dapat memutar sudu, lalu energi pusaran

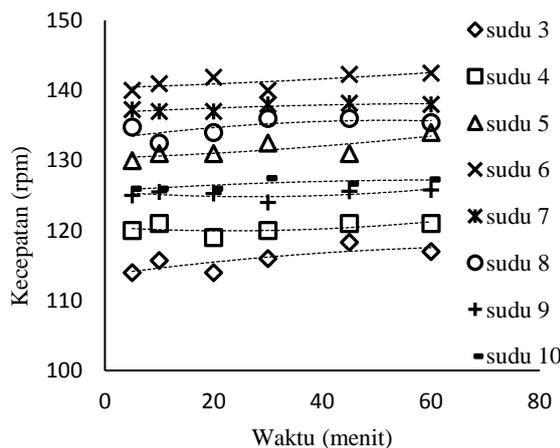
tersebut diubah menjadi energi mekanik yang memutar poros [11].

Pada hasil dan pembahasan disini dijelaskan berdasarkan hasil penelitian berupa data torsi (N/m), kecepatan putaran (rpm), tegangan (Volt) , daya (watt), efisiensi (%).

Tabel 2. Data penelitian kecepatan putaran Data rpm dengan beban motor 12 Volt

Waktu (menit)	Jumlah Sudu							
	3	4	5	6	7	8	9	10
5	114	120	130	140	137,3	134,8	125	126
10	115,7	121	131	141	137	132,5	125,5	126
20	114	119	131	141,9	137	134	125,3	126
30	116	120	132,5	140	138	136	124	127,5
45	118,3	121	131	142,3	138,2	136	125,6	126,7
60	117	121	134	142,5	138	135,4	125,8	127,3
Rata-rata	115,8	120,3	131,5	141,2	137,5	134,7	125,2	126,5

Pada tabel 2 memperlihatkan posisi tertinggi sudu turbin keluaran berupa kecepatan putaran (rpm) ada pada sudu dengan jumlah 6 dengan hasil 141,3 rpm, sudu dengan hasil paling rendah ada pada sudu dengan jumlah 3 dengan hasil 115,8. Sudu 6 menghasilkan kecepatan tertinggi dikarenakan momen inersia yang mencapai batas paling optimal, serta jumlah sudu yang dapat menangkap energi aliran fluida paling baik, dan sudah dibuktikan dengan perhitungan segitiga kecepatan



Gambar 4. Data grafik keluaran kecepatan putaran

Pada gambar 4 pengambilan data menggunakan alat pengukur kecepatan atau disebut dengan tachometer, pengukuran dilakukan pada as poros yang menghubungkan antara blade dan generator

dc 12 Volt secara vertical yang sudah dipasang tanda sensor. Tanda sensor tersebut memantulkan cahaya yang dihasilkan dari tachometer dan ditangkap lagi dengan sensor cahaya pada sensor penangkap di dalam alat ukur.

Terlihat pada tabel data dan grafik kecepatan putaran bahwa sudu dengan jumlah 3 memiliki hasil keluaran kecepatan putaran (rpm) dengan nilai paling rendah yaitu 115,8 rpm, mengalami kenaikan pada sudu dengan jumlah 4 dengan keluaran arus 120,3 rpm, mengalami kenaikan secara signifikan pada sudu dengan jumlah 5 pada keluaran tegangan 131,5 rpm, dan kenaikan berhenti pada sudu dengan jumlah 6 dengan keluaran tegangan 141,3 rpm, trendline turun dari sudu dengan jumlah 6 ke sudu dengan jumlah 7 dengan hasil keluaran 137,6 rpm. Dan seterusnya sampai dengan sudu dengan jumlah 10 dengan keluaran 126,5.

Sudu dengan jumlah 6 memiliki hasil keluaran tertinggi yaitu 141,3 rpm, pada uji coba spesimen sudu terhadap kecepatan putaran, sudu dengan jumlah 6 memiliki performa terbaik.

Tabel 3. Data penelitian keluaran torsi

Waktu (menit)	Data pengukuran torsi (N/m)							
	Jumlah sudu							
	3	4	5	6	7	8	9	10
5	4,5	9,6	10,7	15,3	13	12,5	12,8	12,3
10	4,7	9,2	10,3	15,6	12,5	12,5	12	12,3
20	4,3	9,6	11,5	15,7	12,9	12	12	12,7
30	4,1	9,3	10	14,3	13,5	11,9	11,7	12,6
45	4,5	9,9	10,3	15,6	13,7	12,9	12,7	11,9
60	4,5	9	10,1	15,7	13,7	12,4	12,3	11,8
Rata-rata	0,053	0,11	0,14	0,22	0,18	0,16	0,15	0,15

Perhitungan :

Rumus :

$$T = \text{weight (g)} \times \text{distance (m)} \times \text{Kecepatan rad/s (w)}$$

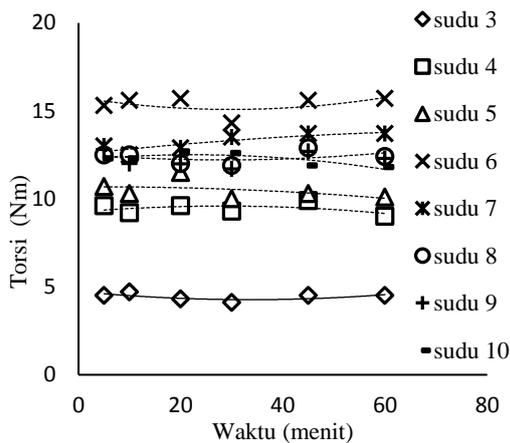
Perhitungan :

$$T = 0,0044333 \text{ kg} \times 0,1 \times (\text{Kecepatan sudut rad/s})$$

$$T = 0,004433(\text{kg}) \times 0,1(\text{m}) \times 12,3 \text{ rad/s}$$

$$T = 0,053 \text{ Nm (hasil dari pengukuran torsi)}$$

sudu 3)



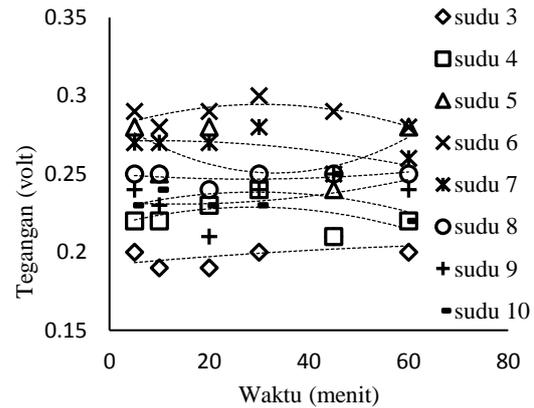
Gambar 5. Grafik data keluaran torsi (Nm)

Pada gambar 5, sudu dengan jumlah 3 menghasilkan keluaran torsi dengan hasil 0,053 Nm, sudu dengan jumlah 4 dengan hasil 0,11 Nm, sudu dengan jumlah 5 dengan hasil 0,1 Nm, sudu dengan jumlah 6 dengan hasil 0,22 Nm, sudu dengan jumlah 7 dengan hasil 0,18 Nm mengalami penurunan pada sudu dengan jumlah 7 dan seterusnya. Pada sudu dengan jumlah 8 dengan hasil 0,16 Nm, sudu dengan jumlah 9 dengan hasil 0,15 Nm, dan terakhir pada sudu dengan jumlah 10 dengan hasil 0,15 Nm.

Torsi paling tinggi dihasilkan oleh sudu dengan jumlah 6 dikarenakan momen inersia dan kemampuan sudu menangkap energi air yang dihasilkan pada sudu dengan jumlah 6 adalah yang paling optimal diantara sudu lain.

Tabel 4. Data penelitian keluaran tegangan

Data pengukuran tegangan (Volt)								
Waktu (menit)	Jumlah Sudu							
	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,20	0,22	0,28	0,29	0,27	0,25	0,24	0,23
10	0,19	0,22	0,25	0,28	0,27	0,25	0,23	0,24
20	0,19	0,23	0,28	0,29	0,27	0,24	0,21	0,23
30	0,20	0,24	0,25	0,3	0,28	0,25	0,24	0,23
45	0,21	0,21	0,24	0,29	0,25	0,25	0,25	0,25
60	0,20	0,22	0,28	0,28	0,26	0,25	0,24	0,22
Rata-Rata	0,19	0,22	0,26	0,28	0,26	0,25	0,23	0,23



Gambar 6. Grafik data keluaran tegangan

Pada gambar 6, pengambilan sample tegangan menggunakan beban motor DC 12 Volt, pengukuran menggunakan Avometer dan dan keluaran diukur melalui kutub positif dan negative yang dihasilkan dari keluaran motor dc 12 Volt. Motor dc tersebut bisa menghasilkan tegangan dikarenakan prinsipnya yang hamper sama dengan generator DC (*Direct Current*) yang merupakan sebuah mesin yang digunakan untuk menghasilkan arus listrik searah.

Prinsip kerja generator sinkron berdasarkan induksi elektromagnetik, setelah rotor diputar oleh penggerak mula (*prime mover*), maka kutub-kutub pada rotor akan berputar. Apabila kumparan kutub disuplai oleh tegangan searah, pada permukaan kutub akan timbul medan magnet yang berputar [12].

Terlihat pada gambar 4, data tegangan dan grafik pengambilan tegangan bahwa sudu dengan jumlah 3 memiliki hasil keluaran tegangan yang paling rendah yaitu 0,19 Volt, mengalami kenaikan pada sudu dengan jumlah 4 dengan keluaran tegangan 0,22 Volt, mengalami kenaikan secara signifikan pada sudu dengan jumlah 5 pada keluaran tegangan 0,26 Volt, dan kenaikan berhenti pada sudu dengan jumlah 6 dengan keluaran tegangan 0,28 Volt, trendline turun dari sudu dengan jumlah 6 ke sudu dengan jumlah 7 dengan hasil keluaran 0,26 Volt. Dan seterusnya sampai dengan sudu dengan jumlah 10 dengan keluaran 0,22 Volt

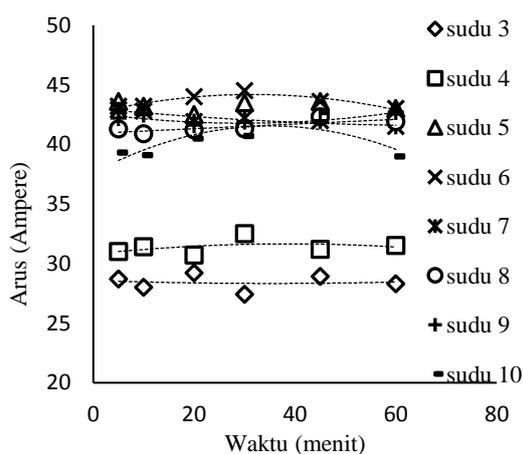
Sudu dengan jumlah 6 memiliki hasil keluaran tertinggi yaitu 0,28 Volt, pada uji

coba specimen sudu terhadap tegangan, sudu dengan jumlah enam memiliki performa terbaik.

Tabel 5. Data penelitian keluaran arus

Data pengukuran arus dengan beban lampu LED 1 buah (mA)								
Waktu (menit)	Jumlah Sudu							
	3	4	5	6	7	8	9	10
5	28,7	31	43,6	44,2	42,9	41,3	42,2	39,3
10	28	31,4	43,2	43,2	42,8	40,9	42,5	39,1
20	29,2	30,7	42,5	44	41,9	41,2	41,6	40,5
30	27,4	32,5	43,5	44,5	42,2	41,3	41,9	40,7
45	28,9	31,2	43,6	43,6	42	42,3	42	42,7
60	28,3	31,5	43	44,7	41,5	41,9	42,7	39
Rata-Rata	28,4	31,3	43,2	44	42,2	41,5	42,1	40,2

Terlihat pada tabel 5 data arus (Ampere) dan grafik pengambilan data arus, bahwa sudu dengan jumlah 3 memiliki hasil keluaran arus yang paling rendah yaitu 28,4 mA, mengalami kenaikan pada sudu dengan jumlah 4 dengan keluaran arus 31,3 mA, mengalami kenaikan secara signifikan pada sudu dengan jumlah 5 pada keluaran tegangan 43,2 mA, dan kenaikan berhenti pada sudu dengan jumlah 6 dengan keluaran tegangan 44 mA, trendline turun dari sudu dengan jumlah 6 ke sudu dengan jumlah 7 dengan hasil keluaran 42,2 mA. Dan seterusnya sampai dengan sudu dengan jumlah 10 dengan keluaran 40,2 mA



Gambar 7. Grafik data keluaran arus (mA)

Pada Grafik di atas, pengambilan sample arus menggunakan beban satu buah lampu led yang disusun secara seri dengan motor dc 12 volt dan diukur dengan

menggunakan amperemeter digital. Pengukuran menggunakan Amperemeter digital dan dan keluaran diukur melalui kutub positif dan negative yang dihasilkan dari kedua kutub.

Sudu dengan jumlah 6 memiliki hasil keluaran tertinggi yaitu 44 mA, pada uji coba spesimen sudu terhadap Arus, sudu dengan jumlah enam memiliki performa terbaik.

Sudu 6 memiliki performa terbaik dikarenakan sudu dengan jumlah blade 6 dari hasil penelitian terlihat menghasilkan distribusi arus yang lebih tinggi dengan baik pada setiap sudu turbin. Dikarenakan putaran sudu yang lebih cepat dan menghasilkan arus pada keluaran led yang diukur melalui Avometer.

Tabel 6. Data penelitian hasil output

Jumlah sudu	Voltage	Current	HP
3	0,19	0,028	0,00532
4	0,23	0,031	0,00713
5	0,26	0,042	0,01092
6	0,26	0,043	0,01118
7	0,25	0,042	0,0105
8	0,24	0,041	0,00984
9	0,23	0,042	0,00966
10	0,23	0,039	0,00897

Tabel 7. Data Penelitian Hasil Input

P = g.Q.H.ρ	
Q = debit air	0,0075 liter/detik
g = percepatan gravitas	9,8
H = tinggi relatif (pada sudu)	15 = 0,15
ρ = massa jenis air	997

Rumus :

$$P = g.Q.H.\rho$$

Perhitungan :

$$P = 9,8 \times 0,0075 \times 0,15 \times 997$$

$$P = 10,99 \text{ Watt (Input air)}$$

- Kemudian Output / Input * dengan nilai 100%
- Contoh Perhitungan pada sudu 3
- Rumus Efisiensi = output / input x 100%
- Efisiensi = (3,9 / 10,99).100% = 35,7 %

Tabel 8. Data perhitungan efisiensi

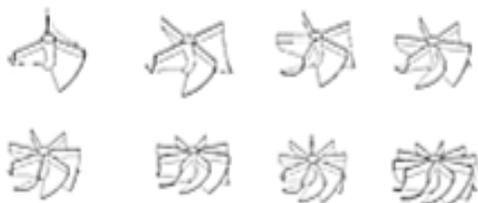
Jumlah sudu	Watt	Output/Input	Efisiensi
3	3,9	0,357798165	35,7798
4	5,3	0,486238532	48,6239
5	8,1	0,743119266	74,3119
6	8,3	0,76146789	76,1468
7	7,8	0,71559633	71,5596
8	7,3	0,669724771	66,9725
9	7,2	0,660550459	66,055
10	6,6	0,605504587	60,5505

Terlihat pada tabel 8 bahwa sudu dengan jumlah sudu 3 memiliki efisiensi paling rendah, kemudian efisiensi paling tinggi ada pada sudu dengan jumlah 6. Hasilnya adalah sudu 3 dengan efisiensi 36,4 %, sudu 4 dengan efisiensi 48,8 %, sudu 5 dengan efisiensi 74,7 %, sudu 6 dengan efisiensi 76,5 %, sudu 7 dengan efisiensi 71,86%, sudu 8 dengan efisiensi 67,3, sudu 9 dengan efisiensi 66,1 % dan terakhir pada sudu 10 dengan efisiensi 61,39 %. Terbukti bahwa sudu dengan jumlah 6 memiliki potensi paling baik diantara yang lain. Dari masukan energi 100%, sudu yang paling baik menangkap energi adalah pada sudu dengan jumlah 6 yaitu sebesar 76,5 %.

Efisiensi meningkat pada sudu jumlah 3 sampai dengan sudu dengan jumlah 6 dikarenakan pada jarak tersebut energi yang bisa dipergunakan dari jumlah 100 %, yang paling baik adalah 76,5 % pada sudu dengan jumlah 6. Sudu menurun dari 6 ke 10 dikarenakan hambatan yang berkerja pada sudu semakin membesar, jika hambatan semakin membesar maka beban yang diterima juga semakin besar, sehingga efisiensi pada sudu dengan jumlah 7 sampai 10 semakin menurun.

Momen Inersia dan perhitungan sudu terhadap segitiga kecepatan

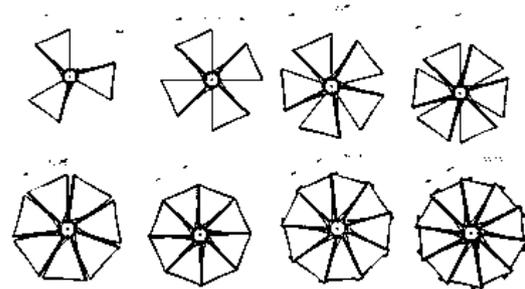
a. Sudu dengan jumlah 3 – 10



Gambar 8. Sudu dengan jumlah 3 – 10

Perancangan sudu turbin menggunakan software solidwork, desain tersebut kemudian diconvert menggunakan aplikasi Cura, sehingga dapat diaplikasikan kedalam mesin 3D print, proses pencetakan menggunakan material berbahan dasar filament PLA.

b. Perhitungan sudu terhadap segitiga kecepatan



Gambar 9. Jarak antar sudu

Rumus :

$$s = v \times t \text{ (jarak x jumlah sudu)}$$

Perhitungan :

$$s = \frac{115,8}{60} \times 60 / (102,85 \times 3)$$

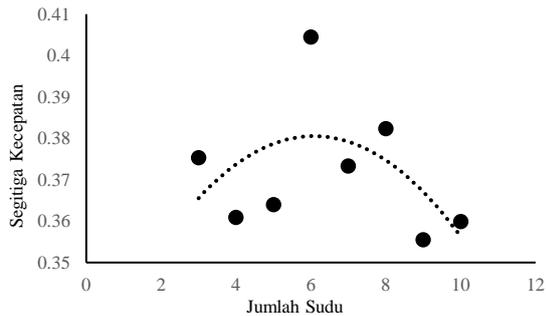
$$s = 115,8 / 308,55$$

$$s = 0,37 \text{ m/s (Hasil dari sudu 3)}$$

Tabel 9. Data penelitian keluaran kecepatan putaran

Jumlah Sudu	Kecepatan Putaran (m/s)	Nilai (Nm)
3	115,8	0,37
4	120,3	0,36
5	131,5	0,36
6	141,3	0,40
7	137,6	0,37
8	134,7	0,38
9	125,2	0,35
10	126,5	0,35

Pada Tabel 9, data kecepatan diambil dari hasil percobaan pada turbin vortex yang dialiri debit air 0,45 liter/menit, kemudian dimasukkan kedalam rumus segitiga kecepatan dan dibagi dengan diameter yang sudah dikali dengan banyaknya setiap jenis sudu. Hasil menunjukkan pada teori segitiga kecepatan, pada sudu 6 dengan nilai tertinggi yaitu 0,40 m/s².



Gambar 10. Grafik perhitungan sudu terhadap segitiga kecepatan

Pada Gambar 10 menunjukkan grafik sudu dengan jumlah 6 mendapatkan nilai tertinggi dikarenakan jarak antar sudu yang berada pada posisi paling optimal, terhadap aliran fluida. Sudu dengan efisiensi kinerja paling baik ada pada sudu dengan jumlah 6 dengan hasil $0,40 \text{ m/s}^2$.

c. Perhitungan sudu terhadap momen inersia



Gambar 11. Prototipe sudu

Pada gambar 11, sudu turbin terbuat dari material utama berbahan dasar Filament PLA yang dibentuk menggunakan mesin 3D Print dengan diameter 120 mm dan ketinggian 40 mm.

Momen inersia merupakan kecenderungan benda untuk mempertahankan kan putaran. Pada hasil pengukuran maka berat yang didapatkan sebagai berikut, pada sudu 3 ; 24,5 gram, sudu 4 ; 28,6 gram, sudu 5 ; 32,8 gram, sudu 6 ; 37,4 gram, sudu 7 ; 41,9 gram, sudu 8 ; 45,7 gram, sudu 9 ; 50,2 gram, sudu 10 ; 54,2 gram. Momen inersia yang berkerja pada sudu sebagai berikut :

Rumus :

$$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2$$

Perhitungan :

$$I = \frac{1}{2} 0,0245 \cdot 0,05^2$$

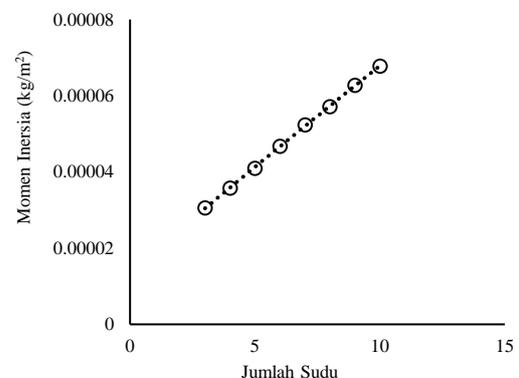
$$I = \frac{1}{2} 0,0245 \times 0,0025$$

$$I = 0,00003062 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{hasil momen inersia pada sudu jumlah 3})$$

Tabel 10. Data perhitungan momen Inersia

Jumlah Sudu	Massa (kg)	Jari jari (m)	Momen Inersia (kg/m ²)
3	0,0245	0,05	0,000030625
4	0,0286	0,05	0,00003575
5	0,0328	0,05	0,000041
6	0,0374	0,05	0,00004675
7	0,0419	0,05	0,000052375
8	0,0457	0,05	0,000057125
9	0,0502	0,05	0,00006275
10	0,0542	0,05	0,00006775

Dari tabel 10, momen inersia terkecil dihasilkan dari sudu turbin yang memiliki massa benda paling kecil, sedangkan momen inersia terbesar dihasilkan dari sudu dengan massa benda paling besar. Dari hasil pengukuran sudu dengan jumlah 3 memiliki momen inersia paling kecil yaitu $0,000030 \text{ kg/m}^2$ dan sudu dengan jumlah 10 memiliki $0,000067 \text{ kg/m}^2$.



Gambar 12. Grafik perhitungan sudu terhadap momen inersia

Pada Gambar 12 menunjukkan grafik momen inersi semakin naik dikarenakan massa sudu dari jumlah 3 yaitu ; 24,5 gram, kemudian diikuti massa benda yang semakin berat diawali dari sudu dengan jumlah 4;5;6;7;8;9;10. Grafik yang terlihat semakin naik, membuktikan momen inersia akan semakin besar jika massa benda yang bekerja pada putaran semakin berat.

Sehingga semakin berat massa benda sudu tidak menjadikan kinerja putaran sudu semakin optimal, hal itu pun berlaku juga jikalau massa sudu semakin ringan maka optimasi kinerja sudu tidak optimal.

Kesimpulan

Kenaikan tertinggi yang terjadi pada setiap keluaran berhenti pada sudu yang berjumlah 6. Jumlah sudu sangat berpengaruh pada performa yang dihasilkan dari turbin vortex dan mempengaruhi keluaran yang dihasilkan, baik itu tegangan (Volt), arus (Ampere), kecepatan putaran (RPM), torsi (Nm) dan efisiensi. Hasil terbaik ditunjukkan pada sudu dengan jumlah 6, pada kecepatan menghasilkan 141,3 RPM; pada tegangan menunjukkan hasil 0,28 Volt; pada arus menghasilkan 44 mA; pada 0,22 Nm; dan pada Efisiensi yaitu 76,5 %. Performa terbaik dan memiliki nilai paling tinggi ada pada sudu dengan jumlah tertinggi pada hasil pengujian alat sudu terhadap kinerja turbin membuktikan bahwa keluaran tegangan, arus, kecepatan, Torsi, dan Efisiensi adalah pada sudu dengan jumlah 6. Ini dikarenakan energi yang masuk 100 % dapat dipanen oleh sudu dengan efisiensi 76,5 %. Dipengaruhi karena optimalnya besaran hambatan yang bekerja pada sudu 6.

Referensi

- [1] I. Hanggara and H. Irvani, "Potensi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) Di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang Jawa Timur," 2017. [Online]. Available: <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?ar>
- [2] "Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil Dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya."
- [3] V. Rinanda, R. Permatasari, J. Teknik, and M. Fakultas, "Optimasi Desain Turbin Air Tipe Vortex Dengan 5 Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi," 2018.
- [4] 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, Sep. 2020, doi: 10.30596/rmme.v3i2.5272.
- [5] E. Pengaruh *et al.*, "Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Data Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex."
- [6] 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, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.111788.
- [7] M. Tayyab, T. A. Cheema, M. S. Malik, A. Muzaffar, M. B. Sajid, and C. W. Park, "Investigation of thermal energy exchange potential of a gravitational water vortex," *Renewable Energy*, vol. 162, pp. 1380–1398, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.08.097.
- [8] S. Dan, S. K. Gibran, S. Gultom, Z. Lubis, and P. G. Sembiring, "Rancang Bangun Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Yang Menggunakan Sudu Diameter 46 Cm Pada 3 Variasi Jarak Antara," *Jurnal Dinamis*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [9] K. Kerja, A. Santosa, K. Danang, G. Sakti, H. Hardiyanto, and S. Berliani, "Mendorong Pemanfaatan Air dan Energi Air yang Lebih Baik," 2015. [Online]. Available: <http://www.kemitraan.or.id>
- [10] A. Gebhardt, J. Kessler, and L. Thurn, *3D printing : understanding additive manufacturing*.
- [11] R. B. Astro, Y. Dala Ngapa, S. Goda Toda, and A. Nggong, "Potensi Energi Air Sebagai Sumber Listrik Ramah Lingkungan Di Pulau Flores," 2020.

- [12] Z. Anthony, *Mesin Listrik Dasar ITP Press*. 2018. [Online]. Available: <http://www.press.itp.ac.id>
- [13] Halim, G., Asroni, A., & Budiyanto, E. (2022). Analisa kerja mesin CNC laser cutting CO2 2 axis berbasis MACH3 pada variasi pemotongan. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 3(1), 28-36.
- [14] Rudiyanto, R., Budiyanto, E., Kurniawan, R., & Sumosusilo, J. (2020). Pengaruh diameter sudu terhadap kinerja turbin angin berporos horizontal. *ARMATUR: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur*, 1(1), 17-24.

