

Tingkat Kekasaran Permukaan Sudu dan Sudut Input Air terhadap Unjuk Kerja Turbin Vortex

(The Effect of Blade Surface Roughness and Water Inlet Angle due to Vortex Turbine Performance)

Debby Efriyasika¹, Ikhwanul Qiram^{2,*}, Gatut Rubiono^{3,*}

^{1,2,3}Fakultas Teknik Universitas PGRI Banyuwangi

Email korespondensi: ikhwanulqiram@unibabwi.ac.id*, g.rubiono@unibabwi.ac.id*

Abstract

The vortex turbine is a type of microhydro turbine that uses a vortex as the blade propulsion. The purpose of this study was to determine the effect of blade surface roughness and water flow input angle on the performance of the vortex turbine. This study used an experimental method with an 8 blades vortex turbine with 40 x 130 mm in dimension. Water flow input angles are varied as 0, 4, and 8°, the blade surface roughness was made using 16, 6, 50 mesh wire. Volume flow rate was maintained at 284.46 ml/s, 436.84 ml/s, 540.98 ml/s. Vortex turbine performance was measured based on the turbine rotation speed, torque, power, efficiency and electric voltage generated. The results showed that the blade surface addition roughness and water flow input angle had effect due to vortex turbine performance. The highest rotation speed of the vortex turbine was produced by blades without roughness with water flow input angle of 8° and with water capacity of 540.98 ml/s, at 4900.60 rpm. The torque, power, efficiency and highest voltage of the vortex turbine are produced by blades without roughness, water input angle of 8° with water capacity of 540.98 ml / s with the loading of 35 gr, respectively were 0.109 Nm, 56.16 watts, 5.29% and 4.26 volts. The higher rotation speed of the turbine without surface roughness, value of torque, power, efficiency and stress produced by the vortex turbine were greater than the blade using roughness even though the blade condition was heavier.

Keywords: Blade surface roughness, performance, turbine, vortex

Abstrak

Turbin vortex adalah salah satu jenis turbin mikrohidro yang menggunakan pusaran air sebagai penggerak sudunya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan pengaruh tingkat kekasaran permukaan sudu dan sudut input air terhadap unjuk kerja turbin vortex. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan turbin vortex tipe 8 sudu berdimensi 40x130 mm. Variasi sudut input air 0, 4, dan 8 derajat, Penambahan efek kekasaran pada permukaan sudu menggunakan kawat ram mesh 16, 6, 50. Debit aliran dikondisikan pada 284,46 ml/s, 436,84 ml/s, 540,98 ml/s. Performa turbin vortex diukur berdasarkan kecepatan putaran turbin, torsi, daya, efisiensi dan tegangan generator yang dihasilkan oleh turbin vortex. Hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan efek kekasaran dan sudut input air berpengaruh terhadap performa turbin vortex. Kecepatan putaran tertinggi turbin vortex dihasilkan oleh sudu tanpa kekasaran dengan sudut input air 8° pada kapasitas air 540,98 ml/dt sebesar 4900,60 rpm. Torsi, daya, efisiensi dan tegangan tertinggi turbin vortex dihasilkan oleh sudu tanpa kekasaran, sudut input air 8° pada kapasitas air 540,98 ml/s dengan pembebanan 35 gr masing-masing sebesar 0,109 N.m, 56,16 watt, 5,29 % dan 4,26 volt. Semakin tinggi kecepatan putaran turbin maka nilai torsi, daya, efisiensi dan tegangan yang dihasilkan oleh turbin vortex lebih besar dibandingkan sudu dengan menggunakan kekasaran walaupun kondisi sudu tersebut lebih berat.

Kata kunci: Kekasaran permukaan sudu, performansi, turbin, vortex

I. Pendahuluan

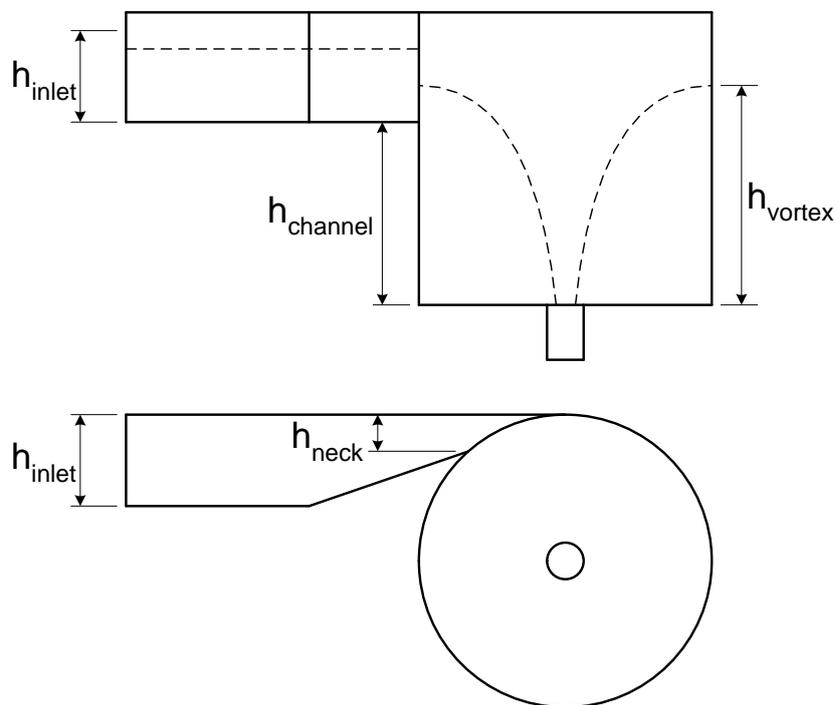
Energi listrik yang dibutuhkan oleh manusia dapat dihasilkan dari pembangkit listrik yang menggunakan beberapa sumber energi seperti pembangkit listrik tenaga air, uap, surya, bahan bakar minyak, nuklir dan sumber energi lainnya [1]. Energi listrik melalui berbagai cara yang berbeda demi terciptanya energi alternatif yang dapat meminimalkan penggunaan energi gas alam dan minyak bumi yang saat ini digunakan, agar jumlahnya tidak semakin menipis [2]. Energi air dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik. Hal ini dilakukan dengan merubah energi potensial dan energi mekanik, diubah menjadi energi kinetik dan selanjutnya menjadi energi listrik [3]. Salah satu peralatan yang mampu mengubah energi potensial air menjadi energi listrik adalah turbin vortex. Turbin vortex adalah salah satu jenis turbin mikrohidro yang menggunakan pusaran air sebagai penggerak sudunya. Turbin vortex bekerja pada *head* yang rendah yaitu 0,7 – 3 meter dengan debit 50 liter per detik [4].

Turbin vortex merupakan aliran pusaran yang dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak [1]. Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetik pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah sehingga poros akan berputar [3]. Kinerja turbin vortex dibantu dengan generator. Generator adalah bagian komponen dari turbin yang berfungsi sebagai penggerak melalui bantuan transmisi untuk menghasilkan energi listrik [5]. Beberapa parameter yang mempengaruhi kinerja turbin vortex yaitu, debit aliran, kekasaran permukaan sudu dan sudut input air. Pemanfaatan aliran air yang memiliki nilai *head* yang rendah dengan mengubahnya menjadi aliran vortex. Jumlah sudu mempengaruhi volume air yang masuk ke dalam celah turbin, sehingga membuat dorongan air yang menerpa turbin menjadi lebih besar yang berakibat meningkatnya putaran turbin yang dihasilkan [6].

Beberapa penelitian sudah dilakukan untuk mengembangkan turbin vortex, salah satunya adalah kajian terkait sudu turbin. Penelitian-penelitian tersebut dilakukan untuk uji eksperimental pengaruh variasi jumlah sudu terhadap kinerja turbin reaksi aliran vortex dengan sudu berpenampang plat datar [6]; menggunakan variasi jarak sudu dengan saluran keluar basin [1]. Uji eksperimental juga dilakukan untuk kinerja turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang lurus dengan variabel luas optimum sudu [3]. Analisis telah dilakukan terhadap profil sudu turbin mikro hidro vortex untuk mendapatkan efisiensi optimum [7]. Optimasi desain dilakukan dengan 5 variasi jumlah sudu terhadap efisiensi [8]. Aliran turbulen juga dikaji pada turbin vortex dengan geometri yang kompleks [9]. Penelitian juga dilakukan dengan metode simulasi antara lain simulasi komputasi dinamika fluida (*Computational Fluid Dynamics – CFD*) untuk pembangkit listrik mini [10] dan pengaruh baffle pada turbin [11]. Simulasi komputer juga dilakukan untuk unjuk kerja dan medan aliran turbin vortex [12], pengaruh parameter-parameter geometri pada basin berbentuk kerucut [13], pemodelan skala [14] dan pemodelan CFD turbin vortex [15].

Penelitian turbin vortex juga dilakukan untuk aspek lain seperti pengaruh sudut inlet notch pada turbin reaksi aliran vortex terhadap daya dan efisiensi [16]. Uji eksperimental dilakukan untuk melihat pengaruh variasi pengaruh berbentuk spiral basin cone terhadap turbin reaksi aliran vortex [17], juga dilakukan untuk efisiensi turbin reaksi aliran vortex inlet involut dengan variasi diameter impeller [18]. Rancang bangun terkait turbin vortex telah dilakukan untuk turbin vortex dengan casing berpenampang lingkaran yang menggunakan sudu diameter 46 cm pada 3 variasi jarak antara sudu dan saluran keluar [19], pembuatan turbin vortex dengan sudu pipa belah tiga dengan sudut kemiringan sudu 45° [20] dan rancang bangun *Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP)* berbasis basin silinder [21]. Penelitian yang dilakukan untuk kajian eksperimen parameter kondisi operasional *Gravitational Vortex Hydropower (GVHP)* [22] dan pengembangan unjuk kerja

turbin vortex antara lain telah dilakukan untuk unjuk kerja dan medan aliran turbin air tipe gravitasi vortex [23]. Studi yang lain dilakukan untuk mengkaji pengaruh kecepatan putar dan bentuk sudu terhadap unjuk kerja turbin vortex [24], sedangkan sirip penghalang (*buffle*) di sudu turbin [25] dan material sudu turbin dikaji untuk efisiensi turbin vortex [26].



Gambar 1. Skema tampak depan dan tampak atas sistem turbin vortex [18]

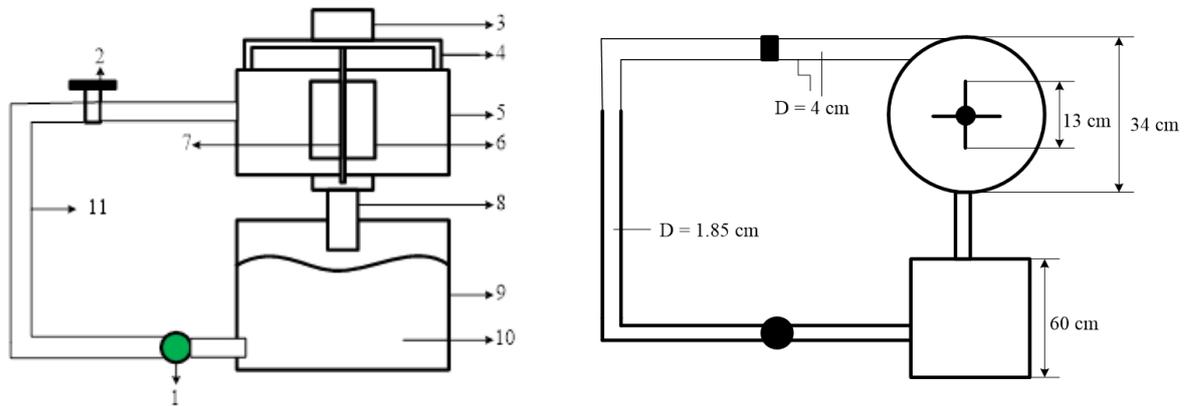
Penelitian-penelitian terdahulu masih belum mengkaji kekasaran permukaan sudu. Kekasaran permukaan sudu akan berpengaruh terhadap fenomena tumbukan antara aliran air dan vortex dengan permukaan sudu. Hal ini akan mempengaruhi transfer energi kinetik air di permukaan sudu sehingga berpengaruh terhadap daya dorong aliran air atau vortex terhadap sudu. Perubahan daya dorong akan berpengaruh terhadap putaran poros turbin, yang akan menentukan kinerja turbin vortex secara keseluruhan.

Dari uraian di atas, selanjutnya dilakukan penelitian tentang penambahan variasi jumlah sudu, debit aliran dan kekasaran permukaan bidang sudu yang akan memberikan pengaruh terhadap kinerja turbin vortex mikro hidro. Dengan memberikan kasar permukaan kawat ram mesh 6, 16, 50 dan memvariasi sudut input air 0° , 4° , 8° diduga akan mempengaruhi laju aliran air yang memicu daya dorong pada turbin untuk berputar sehingga putaran akan lebih optimal.

II. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di laboratorium, Sebuah sistem turbin vortex dibuat seperti dalam skema pada **Gambar 2** dan **3**. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi debit aliran menggunakan bukaan katub $\frac{1}{4}$ putaran, $\frac{1}{2}$ putaran, dan bukaan penuh, turbin vortex menggunakan 8 sudu, variasi sudut input air 0° , 4° , 8° , kekasaran permukaan sudu menggunakan kawat ram ukuran mesh 16, 6, dan 50. Sedangkan variabel terikat dalam penelitian ini adalah kecepatan putaran turbin (rpm), torsi (N.m), daya (watt), efisiensi (%), tegangan (volt) yang dihasilkan oleh turbin vortex. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi air untuk pengukuran debit aliran, kawat ram untuk kekasaran

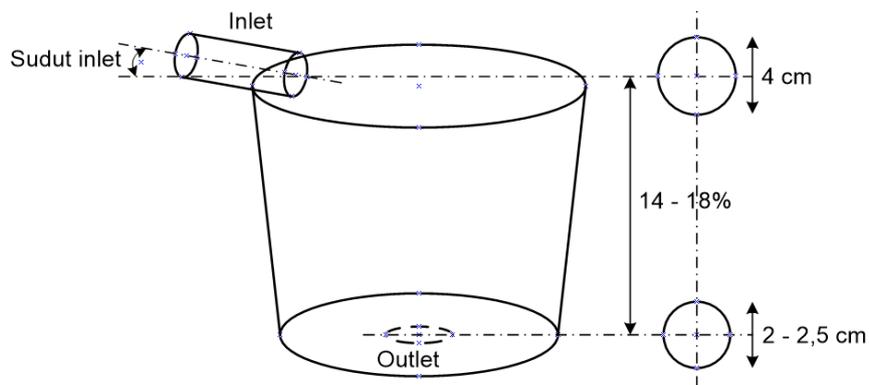
permukaan sudu, akrilik sebagai bahan untuk pembuatan sudu, basin sebagai rumah/wadah, pipa besi untuk tiang dari basin.



Gambar 2. Skema alat tampak samping (kiri) dan tampak atas (kanan)

Keterangan gambar:

- | | |
|------------------------------|----------------------|
| 1. Pompa | 7. Poros sudu turbin |
| 2. Katub | 8. Saluran keluar |
| 3. Generator | 9. Tandon |
| 4. Tiang penyangga generator | 10. Air |
| 5. Basin | 11. Pipa |
| 6. Sudu turbin | |



Gambar 3. Ukuran Basin

Teknik pengambilan data sebagai berikut:

- Data debit aliran diukur menggunakan gelas ukur dan *stopwatch* dimana debit adalah volume yang terukur gelas ukur dibagi dengan waktu yang tercatat di *stopwatch*. Pengambilan data debit masing-masing dilakukan 5 kali.
- Data putaran poros turbin diukur menggunakan tachometer digital. Data putaran poros turbin digunakan untuk menghitung kecepatan angular poros turbin dengan persamaan:

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \quad (1)$$

Dimana ω adalah kecepatan angular dalam satuan rad/dt, π memiliki nilai 3,14 dan n adalah kecepatan putaran poros turbin dalam satuan rpm.

- c. Tinggi vortex diukur menggunakan mistar. Data tinggi vortex dan debit aliran digunakan untuk menghitung daya air menggunakan persamaan:

$$P_a = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_v \quad (2)$$

Dimana P_a adalah daya air dalam satuan watt, ρ adalah massa jenis air yang memiliki nilai 1000 kg/m^3 , Q adalah debit aliran dalam satuan m^3/detik , g adalah konstanta gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/dt}^2$ dan H_v adalah tinggi *vortex* dalam satuan meter.

- d. Pengukuran torsi menggunakan prinsip dinamometer. Data torsi digunakan untuk menghitung daya turbin menggunakan persamaan:

$$P_t = T \cdot \omega \quad (3)$$

Dimana P_t adalah daya turbin dalam satuan watt, T adalah torsi dalam satuan Nm, dan ω adalah kecepatan angular (rad/dt). Selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi turbin menggunakan persamaan:

$$n = \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana n adalah efisiensi turbin dalam satuan persen, P_t adalah daya turbin dalam satuan watt dan P_a adalah daya air (watt).

- e. Data voltase generator diukur menggunakan multimeter digital.

III. Hasil dan Pembahasan

3.1. Debit Aliran dan Berat Sudu

Tabel 1 menunjukkan data perubahan debit aliran pada variasi bukaan katup. Pengukuran menggunakan gelas penduga dan *stopwatch* untuk mendapatkan nilai debit aliran air. Pengambilan data dilakukan dengan 5 kali ulangan. Data di **Tabel 1** merupakan nilai rata-rata hasil ulangan. **Tabel 2** menunjukkan pengukuran berat sudu menggunakan neraca digital pada derajat kekasaran permukaan yang berbeda. Setiap variasi dilakukan masing-masing 5 kali pengukuran. **Tabel 2** merupakan nilai rata-rata hasil pengukuran.

Tabel 1. Debit Aliran pada tiap bukaan katup

No	Bukaan Katup	Debit (ml/det)
1	$\frac{1}{4}$	284,46
2	$\frac{1}{2}$	436,84
3	Penuh	540,98

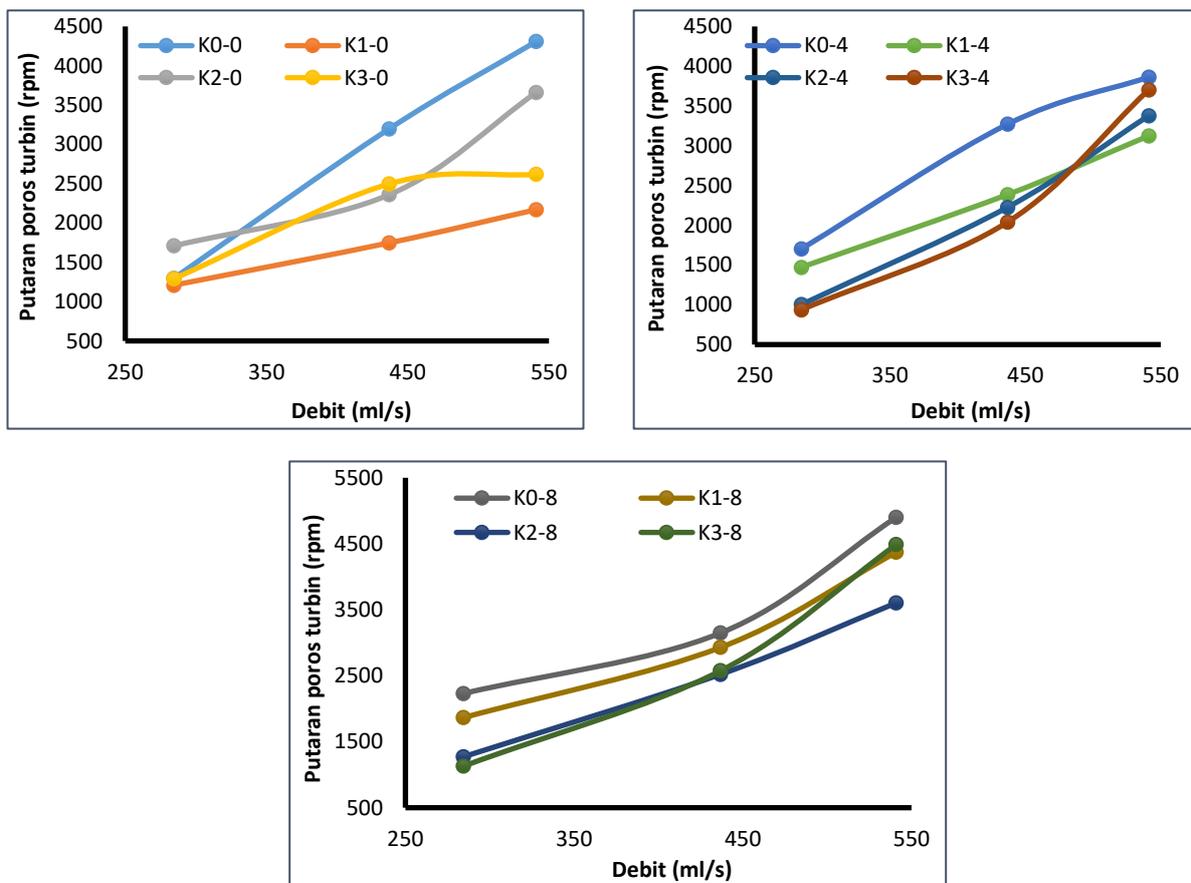
Tabel 2. Berat sudu (gram)

No	Tanpa Kekasaran (K0)	Kekasaran Mesh 16 (K1)	Kekasaran Mesh 6. (K2)	Kekasaran Mesh 50 (K3)
1	5	6,5	6,5	6,5
2	5	6,5	6,5	6,5
3	5	6,5	6,5	6,5
4	5	6,5	6,5	6,5
5	4,5	6,5	6,5	6,5
Rata-rata	4,9	6,5	6,5	6,5

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran berat 5 buah sudu yang diambil secara acak. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa terdapat perbedaan berat antara sudu tanpa kekasaran dan sudu dengan kekasaran. Selisih berat kedua jenis sudu ini adalah 1,6 gram. Variasi sudut kekasaran menunjukkan berat sudu yang sama. Hal ini berarti bahwa proses penambahan kekasaran permukaan sudu tidak mempengaruhi berat akhir sudu. Dengan demikian, jika diperlukan penambahan kekasaran permukaan, bisa didesain level kekasaran yang menunjukkan kinerja turbin terbaik tanpa perlu mengkhawatirkan efek berat akhir turbin.

3.2. Kecepatan Putaran Turbin (Rpm)

Gambar 4 menunjukkan karakteristik putaran turbin mengikuti perubahan debit aliran untuk variasi sudu-sudu turbin yang dibahas, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1** dan **2**. Grafik di **Gambar 4** ditampilkan dalam 3 grafik untuk menunjukkan perbedaan hasil pengukuran yang terjadi. Setiap grafik menampilkan perbedaan berdasarkan kekasaran permukaan sudu. Kode K dengan angka, misalkan K0 dalam grafik merupakan variasi kekasaran dimana 0 menunjukkan nilai kekasarannya yang dalam hal ini berarti sudu tanpa kekasaran (halus). Angka berikutnya yang dipisahkan tanda hubung (-) menunjukkan sudut input aliran air. Sehingga misalkan untuk kode K1-0 berarti sudu dengan kekasaran 1 (mesh 16 sesuai **Tabel 2**) dan sudut input aliran air sebesar 0°. Pemisahan grafik berdasarkan kekasaran permukaan sudu dan sistem pengkodean ini juga berlaku untuk grafik-grafik di **Gambar 5**, **6** dan **7**.



Gambar 4. Kecepatan Putaran Turbin (Rpm) Berdasarkan Sudut Input Aliran Air.

Grafik pada **Gambar 4** menunjukkan bahwa semakin besar debit maka putaran poros turbin juga semakin besar. Hal ini disebabkan debit yang semakin besar maka volume air dalam satuan waktu yang menumbuk sudu-sudu turbin juga semakin besar. Besarnya tumbukan ini merupakan besarnya daya dorong air pada permukaan sudu-sudu turbin sehingga meningkatkan kecepatan putar poros turbin.

Nilai putaran maksimum terjadi pada variasi sudu K0 sudut input air ke basin 8° , debit 540,98 ml/s dengan kecepatan putaran turbin 4900,60 rpm dan putaran minimum terjadi pada variasi sudu K3 sudut input air ke basin 4° debit 284,46 ml/s dengan kecepatan putaran turbin 937,48 rpm. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan putaran (rpm) turbin *vortex* dipengaruhi oleh debit aliran, kekasaran permukaan sudu dan sudut input air ke basin. Laju aliran air dan sudut input air yang masuk menuju basin akan mempengaruhi kinerja turbin. Fenomena ini disebabkan karena semakin ringan sudu dan banyak volume air maka laju aliran air juga semakin cepat.

Penambahan efek kekasaran pada sudu turbin *vortex* juga mempengaruhi kecepatan putaran turbin (rpm). Kondisi ini disebabkan oleh berat sudu dan gaya hambat pada sudu dengan air yang melintasi permukaan sudu. Semakin besar nilai berat dan kekasaran permukaan maka akan semakin besar nilai hambatan yang dihasilkan. Semakin besar hambatan yang diberikan maka tekanan aliran *vortex* juga akan semakin menurun.

Hasil penelitian ini senada dengan hasil penelitian sebelumnya. Semakin besar nilai debit air maka semakin besar tegangan (daya) yang dihasilkan [25]. Perubahan debit mempengaruhi nilai daya air yang akan mempengaruhi putaran poros turbin [5]. Hal ini berkaitan dengan putaran poros turbin dan momen puntir (torsi) yang menjadi besaran-besaran yang diukur dalam pengujian. Variasi jarak antara sudu lubang keluar aliran mempengaruhi kinerja turbin yang dalam hal ini dipengaruhi perubahan debit aliran [17]. Dari aspek impeler, ukuran diameter mempengaruhi putaran poros turbin yang selanjutnya berpengaruh terhadap daya dan efisiensi turbin [16].

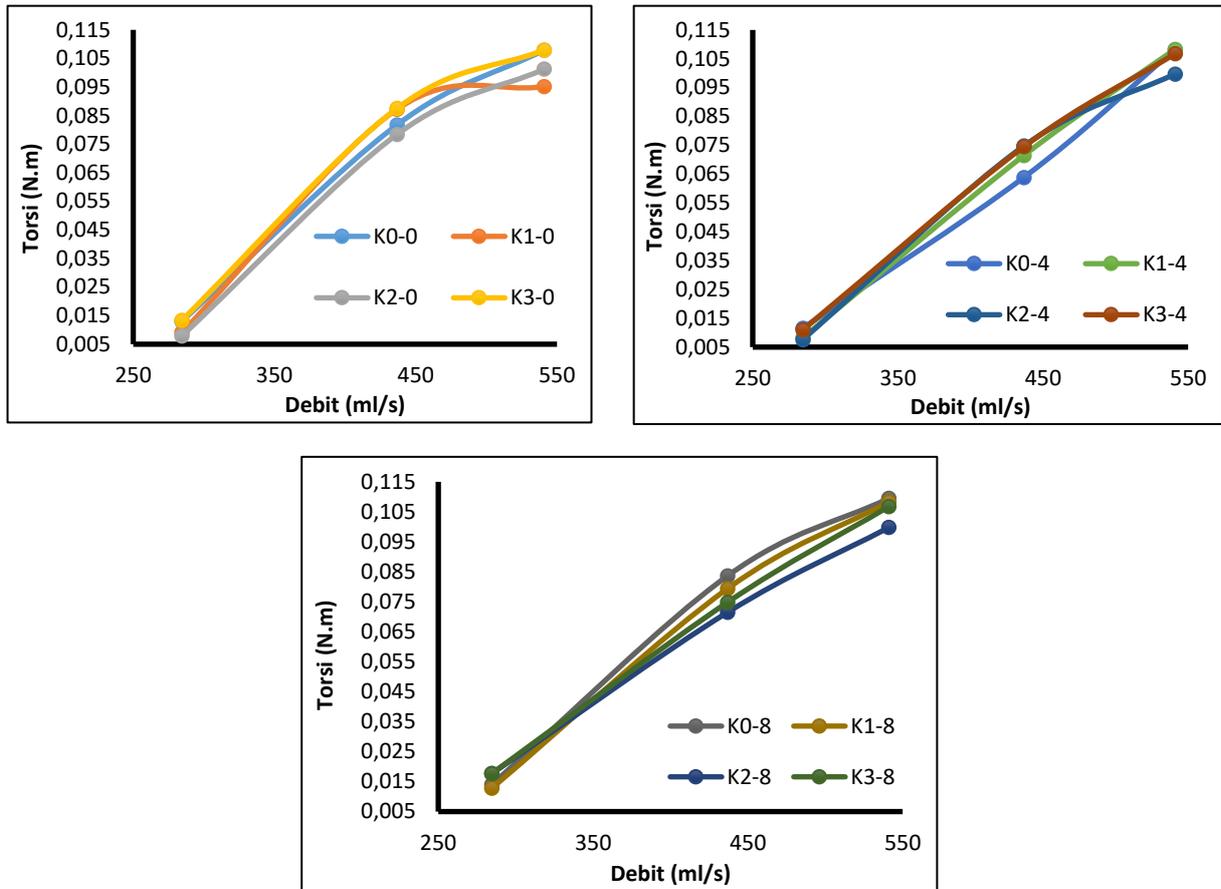
Laju aliran berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan pada turbin *vortex* dengan variasi kekasaran yang berbeda-beda. Nilai torsi tertinggi dihasilkan pada sudu K0 hal ini dipengaruhi oleh gaya dorong air terhadap sudu yang secara kinetik diubah menjadi gaya tarik poros terhadap beban statis yang diberikan. Nilai torsi yang ditunjukkan pada performa turbin *vortex* juga dipengaruhi oleh penambahan efek kekasaran permukaan, dimana hal ini akan semakin meningkatkan masa turbin sehingga kecepatan putaran berubah semakin kecil. Fenomena ini berbanding lurus dengan nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin.

Gaya sirkulasi *vortex* air memiliki pengaruh yang lebih dominan terhadap kecepatan putar poros turbin dibandingkan geometri atau bentuk sudu turbin. Ketika beban diaplikasikan maka aliran balik akan mengurangi gangguan sudu terhadap *vortex* sehingga menghasilkan performa yang lebih baik [22]. Sudu dengan pelat pengganggu (*baffle*) dapat meningkatkan torsi poros turbin dan meningkatkan efisiensinya. *Baffle* berfungsi menahan sejumlah massa air menjadi pendorong sudu yang lebih optimal [23]. Kekasaran permukaan yang divariasikan dalam penelitian ini menunjukkan fenomena yang serupa dengan *baffle*.

3.3. Torsi

Gambar 5 menunjukkan karakteristik torsi turbin mengikuti perubahan debit, yang dihitung berdasarkan data-data pada **Tabel 1** dan **2**. Gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran air maka torsi yang dihasilkan poros turbin juga semakin besar. Besarnya debit yang meningkatkan putaran poros turbin akan meningkatkan kecepatan angular sudu turbin. Putaran poros turbin yang semakin besar akan meningkatkan kecepatan angular sesuai hubungan di Persamaan (1). Hal ini tentu saja akan memperbesar

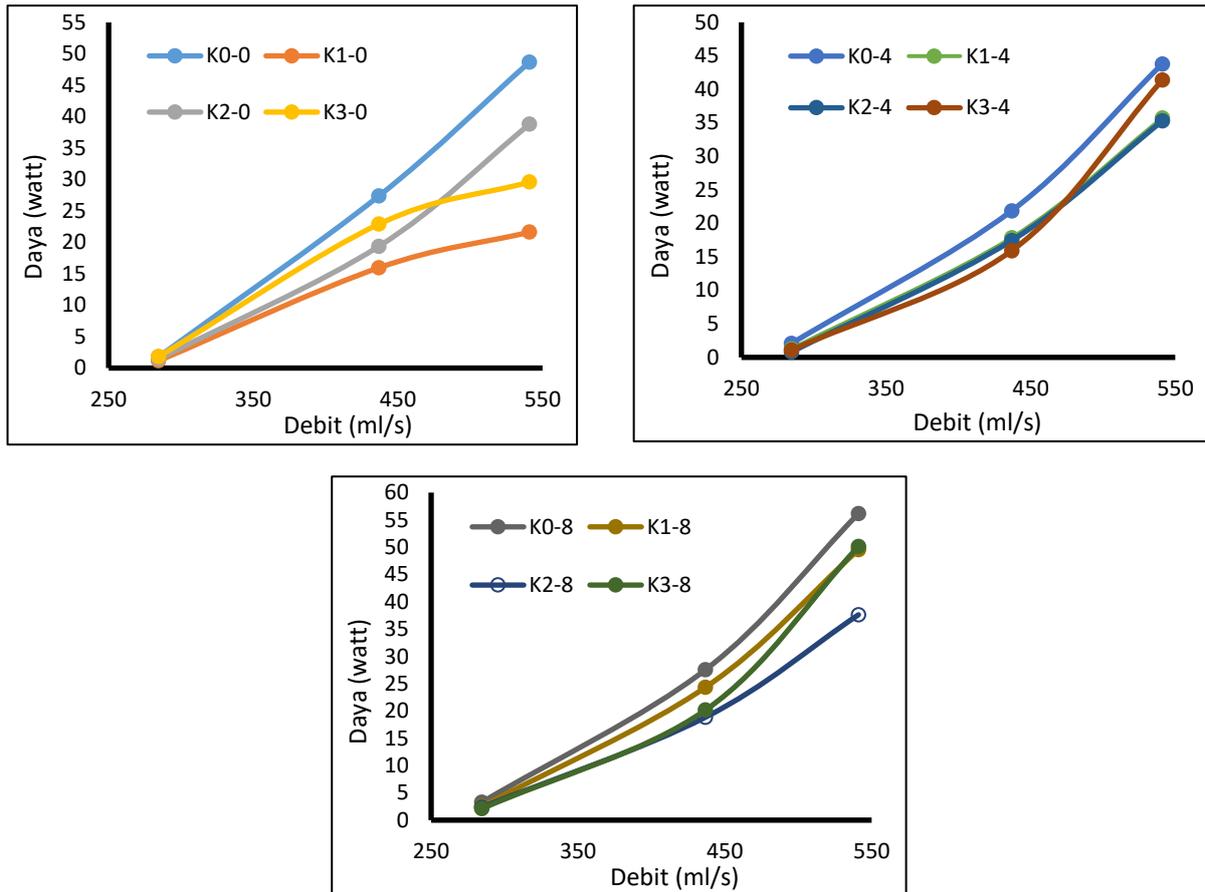
torsi poros turbin karena torsi merupakan fungsi dari kecepatan angular sesuai dengan persamaan (2).



Gambar 5. Grafik Torsi Berdasarkan Sudut Input Aliran Air.

Nilai torsi maksimum terjadi pada variasi sudut K0 sudut input air ke basin 8°, debit 540,98 ml/s dengan torsi 0,109 N.m dan torsi minimum terjadi pada variasi sudut K2 sudut input air ke basin 4°, debit 284,46 ml/s dengan torsi 0,008 N.m. Seiring dengan meningkatnya nilai torsi turbin yang disebabkan oleh meningkatnya kecepatan putaran turbin (rpm) maka daya poros pada turbin juga ikut meningkat, fenomena ini di dapat dimana untuk memperoleh daya turbin melalui kecepatan angular turbin dikalikan dengan torsi yang dihasilkan oleh turbin. Penambahan efek kekasaran pada permukaan sudu akan menyebabkan nilai daya yang dihasilkan oleh turbin berdasarkan debit aliran akan turun. Fenomena ini disebabkan karena nilai torsi sudu dengan penambahan nilai kekasaran turun, hal ini yang menyebabkan nilai daya pada pada turbin menjadi turun karena nilai daya yang dihasilkan oleh turbin berbanding lurus dengan nilai torsi dan kecepatan putaran (rpm) yang dihasilkan oleh turbin.

Hal ini senada dengan hasil penelitian referensi [8] dimana semakin banyak jumlah sudu maka daya output yang dihasilkan semakin besar. Jumlah sudu meningkatkan putaran poros turbin dan selanjutnya meningkatkan torsi. Torsi merupakan besaran turunan yang dihitung berdasarkan besaran-besaran yang diukur [17]. Tinggi turbin juga berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan akibat putaran porosnya [19]. Sudut kemiringan sudu berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan dimana sudut kemiringan yang lebih besar cenderung menghasilkan torsi yang lebih besar pula [4].



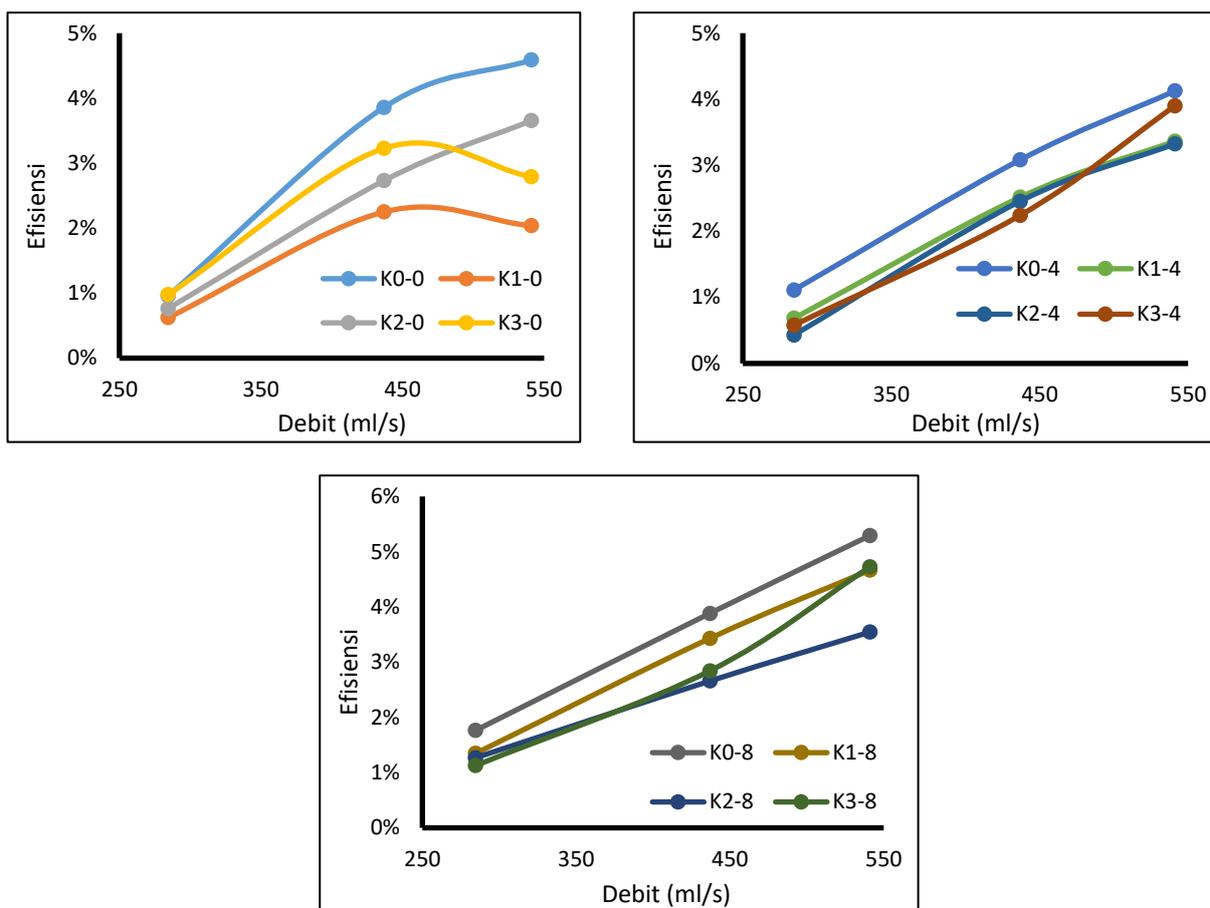
Gambar 6. Daya Turbin Berdasarkan Sudut Input Aliran Air

3.4. Daya Turbin

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar debit maka daya turbin akan semakin besar pula. Hal ini sesuai dengan peningkatan putaran poros turbin. Nilai daya maksimum terjadi pada variasi sudut K0 sudut input air ke basin 8°, debit 540,98 ml/s dengan daya 56,16 watt dan daya minimum terjadi pada variasi sudut K3 sudut input air ke basin 4°, debit 284,46 ml/s dengan daya 1,07 watt. Debit yang semakin besar berarti aliran yang terjadi juga semakin besar, baik dari segi volume yang mengalir maupun kecepatannya. Peningkatan debit air ini akan memberikan gaya dorong yang lebih besar terhadap sudu turbin sehingga putaran poros turbin juga akan meningkat.

3.5. Efisiensi

Grafik pada Gambar 7 menunjukkan bahwa nilai efisiensi maksimum terjadi pada variasi sudut K0 sudut input air ke basin 8°, debit 540,98 ml/s dengan efisiensi 5,29% dan efisiensi minimum terjadi pada variasi sudut K2 sudut input air ke basin 4°, debit 284,46 ml/s dengan efisiensi 0,43%. Dengan meningkatnya daya turbin maka nilai efisiensi yang dihasilkan akan semakin besar, fenomena ini disebabkan oleh nilai daya turbin terhadap debit air yang diberikan. Selain itu efek kekasaran juga berpengaruh terhadap nilai efisiensi. Efisiensi akan semakin rendah karena torsi yang diberikan berpengaruh terhadap daya turbin. Begitupun sebaliknya semakin rendah tingkat kekasaran maka torsi dan daya turbin akan meningkatkan nilai efisiensi.



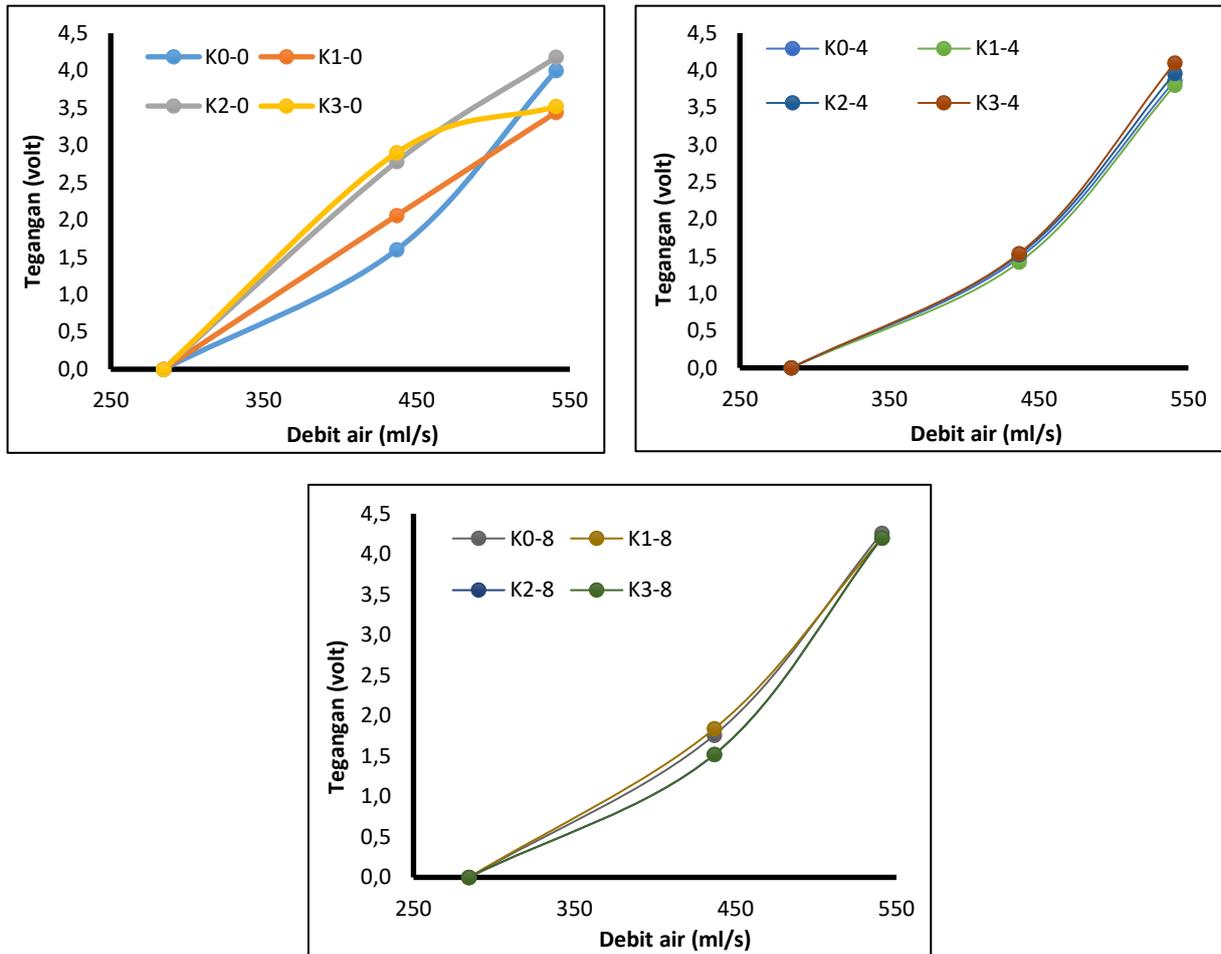
Gambar 7. Grafik Efisiensi Turbin Berdasarkan Sudut Input Aliran Air

3.6. Tegangan Output (volt)

Gambar 8 merupakan grafik tegangan output yang didapat dari pengukuran di generator menggunakan multimeter digital. Gambar tersebut menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum terjadi pada variasi sudut K0 sudut input air ke basin 8°, debit 540,98 ml/s dengan tegangan 4,26 volt dan tegangan minimum terjadi pada semua variasi sudut sudut input air ke basin 0°, 4° dan 8° debit 284,46 ml/s dengan tegangan 0,00 volt. Putaran, torsi dan daya turbin akan mempengaruhi putaran generator yang dihubungkan pada puli turbin, sehingga semakin besar nilai putaran, torsi dan daya yang dihasilkan oleh turbin mengakibatkan nilai tegangan yang dikeluarkan oleh generator akan semakin tinggi. Nilai tegangan terkecil yang dihasilkan generator dipengaruhi oleh laju aliran air, semakin sedikit nilai laju aliran air yang masuk ke basin berbanding lurus dengan luas permukaan sudu yang tetumbuk oleh air sehingga nilai putaran, torsi dan daya yang dihasilkan oleh turbin menjadi turun, fenomena ini menyebabkan turbin tidak mampu memutar generator.

Torsi, daya turbin dan efisiensi turbin merupakan besaran turunan yang dihitung berdasarkan besaran-besaran yang diukur yaitu putaran poros turbin dan momen puntir [17]. Debit aliran mempengaruhi efisiensi dimana semakin besar debit aliran maka efisiensi akan meningkat [8]. Debit yang semakin besar akan meningkatkan torsi dan efisiensi daya listrik yang dihasilkan [24]. Di sisi lain, pembebanan turbin menunjukkan bahwa semakin besar beban maka efisiensi cenderung menurun [8]. Diameter sudu turbin dan pembebanan berpengaruh terhadap putaran poros dan efisiensi turbin [16] karena putaran poros merupakan representasi kecepatan angular sudu turbin yang akan menentukan efisiensinya

[7]. Jumlah sudu juga berpengaruh terhadap efisiensi dimana semakin banyak jumlah sudu maka efisiensi cenderung semakin meningkat [8].



Gambar 8. Grafik Tegangan Output Berdasarkan Sudut Input Aliran Air

Kekasaran permukaan sudu berpengaruh terhadap unjuk kerja turbin vortex. Hal ini sesuai dengan hasil-hasil penelitian yang mengkaji pengaruh kekasaran permukaan terhadap aliran fluida. Semakin kasar permukaan sebuah saluran, maka nilai koefisien gesek semakin besar [27]. Tingginya koefisien gesek antara fluida dengan dinding pipa berpengaruh secara langsung kepada besarnya penurunan tekanan dan pada akhirnya pada besarnya energi yang diperlukan untuk mengalirkan fluida [28]. Penurunan tekanan ini selanjutnya akan berpengaruh terhadap daya dorong air terhadap sudu turbin vortex yang diteliti sehingga akan mempengaruhi performansi turbin secara keseluruhan.

IV. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh tingkat kekasaran permukaan sudu dan sudut input air terhadap unjuk kerja turbin vortex. Kinerja turbin ditinjau berdasarkan kecepatan putaran turbin, torsi, daya turbin, tegangan output serta efisiensi yang dihasilkan.
2. Debit air, sudut aliran dan kekasaran permukaan berpengaruh terhadap kecepatan putaran turbin.

3. Debit air, sudut aliran dan kekasaran permukaan juga berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.

4.2. Saran/Rekomendasi

Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan untuk memberikan kekasaran permukaan yang lain seperti kertas gosok (ampelas) atau memberikan variasi dimensi saluran masuk dan saluran keluar.

Daftar Pustaka

- [1]. Firdaus, A., Priyo, *Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex dengan Variasi Jarak Sudu dengan Saluran Keluar Basin*, JTM. 2017, **5(2)**: 113-121
- [2]. Baskoro, Bagus, M., Priyo, *Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Basin Cone Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex*, JTM, 2017, **05(02)**: 81-91
- [3]. Maulana, T., Heru, P., *Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lengkung L dengan Variasi Sudut pada Ujung Sudu*, JTM, 2019, **7(03)**: 109-120.
- [4]. Suwoto, G., Supriyo, *Pembuatan Turbin Vortex dengan Sudu Pipa Belah Tiga dengan Sudut Kemiringan Sudu 45°*, Jurnal Teknik Energi, 2018, **14(3)**: 72-77.
- [5]. Aripasetya, S., Adiwibowo, P. H., *Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex*, JTM, 2018, **6(1)**: 105-115
- [6]. Randy, N., Priyo, *Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex dengan Sudu Berpenampang Plat Datar*, JTM. 2017, **05(02)**: 147-157.
- [7]. Syafitri, N. F., Permatasari, R., *Analisis Profil Sudu Turbin Mikro Hidro Vortex Untuk Mendapatkan Efisiensi Optimum*, Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan ke 4, 2018, Buku 1: "Teknik, Kedokteran Hewan, Kesehatan, Lingkungan dan Lanskap": 535-541
- [8]. Rinanda, V. Permatasari, R., *Optimasi Desain Turbin Air Tipe Vortex dengan 5 Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi*, Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan ke 4, 2018, Buku 1: "Teknik, Kedokteran Hewan, Kesehatan, Lingkungan dan Lanskap": 785-790
- [9]. Hu, X., Zhang, L., *Vortex Cascade Features of Turbulent Flow in Hydro-Turbine Blade Passage with Complex Geometry*, Water, 2018, **10**: 1-18
- [10]. Shabaraa, H.M, Yaakoba, O. B, Ahmeda, Y. M, Elbatran, A.H, 2015, *CFD Simulation of Water Gravitation Vortex Pool Flow for Mini Hydropower Plants*, Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), 2015: 77-81
- [11]. Wichian, P., Suntivarakorn, R., *The Effect of Turbine Baffle Plates on the Efficiency of Water Free Vortex Turbine*, Energy Procedia, 2016, 100: 198-202
- [12]. Nishi, Y., Inagaki, T., *Performance and Flow Field of a Gravitation Vortex Type Water Turbine*, Hindawi International Journal of Rotating Machinery, 2017, Article ID 2610508: 1-11
- [13]. Bajracharya, T. R, Shakya, S. R, Timilsina, A. B, Dhakal, J, Neupane, S., Gautam, A., Sapkota, A., *Effects of Geometrical Parameters in Gravitational Water Vortex Turbines with Conical Basin*, Hindawi Journal of Renewable Energy, 2020, Article ID 5373784: 1-16
- [14]. Sedai, A., Yadav, B. K, Kumal, B. B, Khatiwada, A., Dhakal, R., *Performance analysis of Gravitational water vortex power plant using scale-down model*, Proceeding of Curent Research in Hydropower Technologies, CRHT X, Katmandu University, 2020: 1-10

- [15]. Powalla, D., Hoerner, S., Cleynen, O., Müller, N., Stamm, J., Thévenin, D., *A Computational Fluid Dynamics Model for a Water Vortex Power Plant as Platform for Etho- and Ecohydraulic Research*, *Energies* 2021, 14, 639. <https://doi.org/10.3390/en14030639>: 1-14
- [16]. Achmad, H., Priyo, *Pengaruh Sudut Inlet Notch Pada Turbin Reaksi Aliran Vortex Terhadap Daya dan Efisiensi*, *JTM*, 2017, **5(02)**: 61-69
- [17]. Fajaruddin, Priyo, *Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Pengarah Berbentuk Spiral Basin Cone Terhadap Turbin Reaksi Aliran Vortex*, *JTM*, 2017, **5(02)**: 159-168
- [18]. Sudrajad, W. F. B., Rahmanto, R. H., Handoyo, Y., *Uji Eksperimen Efisiensi Turbin Reaksi Aliran Vortex Inlet Involut dengan Variasi Diameter Impeller*, *Prosiding Seminar Nasional Sinergi, Energi & Teknologi*, 2019: 165-174
- [19]. Gibran, Gultom, S., Lubis, Z., Sembiring, P. G., *Rancang Bangun Turbin Vortex dengan Casing Berpenampang Lingkaran yang Menggunakan Sudu Diameter 46 cm pada 3 Variasi Jarak Antara Sudu dan Saluran Keluar*, *Jurnal Dinamis*, 2017, **4(2)**: 36-46
- [20]. Suwoto, G., Supriyo, *Pembuatan Turbin Vortex Dengan Sudu Pipa Belah Tiga Dengan Sudut Kemiringan Sudu 45°*, *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, 2017, **14(3)**: 72-77
- [21]. Nafi', M. I., Basri, M. H., Iskawanto, H. S., Indarto, B., Salim, A. T. A., *Rancang Bangun Gravitation Water Vortex Power Plant (GWVPP) Berbasis Basin Silinder*, *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)*, 2020, **5(1)**: 27-34
- [22]. Power, C., McNabola, A., Coughlan, P., *A Parametric Experimental Investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex Hydropower (GVHP)*, *Journal of Clean Energy Technologies*, 2016, **4(2)**: 112-119
- [23]. Nishi, Y., Inagaki, T., *Performance and Flow Field of a Gravitation Vortex Type Water Turbine*, *Hindawi International Journal of Rotating Machinery*, 2017, Article ID 2610508: 1-11
- [24]. Kueh, T. C., Beh, S. L., Ooi, Y. S., Rilling, D. G., *Experimental Study to The Influences of Rotational Speed and Blade Shape on Water Vortex Turbine Performance*, *Proceeding of Fifteenth Asian Congress of Fluid Mechanics (15ACFM)*, IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, 2017, **822**: 1-7
- [25]. Sritram, P., Treedet, W., Suntivarakorn, R., *Effect of Turbine Materials on Power Generation Efficiency from Free Water Vortex Hydro Power Plant*, *Proceeding of 4th Global Conference on Materials Science and Engineering (CMSE 2015)*, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2015, **103**: 1-7
- [26]. Hakim, M. L., Yuniarti, N., Sukir, Damarwan, E. S., *Pengaruh Debit Air Terhadap Tegangan Output pada Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro*, *Jurnal Edukasi Elektro*, 2020, **4(1)**: 75-81
- [27]. Andayani, D. A., Nuryanti, S. Z., Asmadi, Candra, R., *Pengaruh Jenis Lapisan Kekasaran Permukaan Pipa Terhadap Koefisien Gesek*, *Jurnal Ilmiah TEKNIKA*, 2019, **5(2)**: 181-194
- [28]. Subagyo, R., Wardana, I. N. G., Widodo, A, Siswanto, E, *Analisis Diameter Gelembung Pada Kerugian Tekanan Aliran Fluida*, *Rotor* 2016, **9(2)**: 121-124