



Pengaruh variasi jumlah sudu terhadap daya dan efisiensi turbin vortex

The effect of variation of the number of vacation turbine and the efficiency of vortex turbine

Tri Rachmanto, M.Sahlan, Nurpatricia*

Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jln. Majapahit No. 62 Mataram Nusa Tenggara Barat Kode Pos : 83125, Telp. (0370) 636087; 636126; ext 128 Fax (0370) 636087

Email: sahlan064@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received

Accepted

Available online

Keywords:

Microhydro, Vortex Turbine,

Number of Blades, Flow

Discharge, Efficiency



Hydroelectric power plants or commonly referred to as micro hydro which usually utilize water with high water fall heights. As for the low water fall heights have not been maximally utilized. This is a reference to take advantage of the flow of water that has a low fall height by changing into vortex flow. A vortex turbine is a small-scale water-powered power plant that uses the vortex or whirlpool rules. Vortex pond in laboratory scale and this research examines vortex turbine with 7 blades, 8 blades, 9 blades and 10 blades, in the form of blades which are curved blades. The results showed that turbine power at $0.008 \text{ m}^3/\text{s}$ flowrate was the highest power at blade 10 with power of 7,732 watts and flow rate of $0.009 \text{ m}^3/\text{s}$ highest power at sud 10 with power of 9,608 watts then flow rate of $0.010 \text{ m}^3/\text{s}$ power the highest is in the number of blades 10 with a power of 11,379 watts and in the discharge of $0.011 \text{ m}^3/\text{s}$ the highest power is in blades 9 with a power of 12.838 watts, and for the highest efficiency value occurs in the number of blades 10 at a discharge of $0.008 \text{ m}^3/\text{s}$ with an efficiency of 32, 93%.

PENDAHULUAN

Ketersediaan energi fosil belakangan ini semakin menurun, sehingga harganya cenderung naik. Kenaikan harga energi fosil mempengaruhi harga energi listrik, karena sebagian besar pembangkit listrik yang ada di Indonesia menggunakan energi fosil. Agar energi listrik tidak semakin mahal, maka perlu dilakukan upaya lain untuk mengatasinya.

Berbagai cara dan upaya terus dilakukan baik dengan mencari potensi energi baru maupun dengan mengembangkan teknologinya. Salah satu upaya yang sudah dilakukan adalah pemanfaatan air sebagai penghasil listrik.

Pada dasarnya prinsip kerja listrik tenaga air adalah mengupayakan atau mengubah energi yang terdapat pada air yang mengalir di dalam sungai atau laut menjadi energi mekanik dimana

kemudian energi mekanik inilah mampu diubah menjadi suatu bentuk pada energi listrik. Alat utama yang dibutuhkan dalam pembuatan kincir adalah turbin dan juga generator (Jasa dkk, 2015).

Pembangkit listrik tenaga air saat ini salah satu pilihan pemanfaatan sumber energi dan pemanfaatannya masih terus di kembangkan, pemanfaatan pembangkit listrik tenaga air bertujuan untuk mendapatkan tambahan energi dari alam dan sudah banyak dikembangkan di berbagai negara dan dalam skala besar dengan kebutuhan air yang sangat banyak. Jenis pembangkit listrik tenaga air sering disebut mikrohidro.

Mikrohidro yang biasanya memanfaatkan air dengan ketinggian jatuh air yang tinggi. Sedangkan untuk ketinggian jatuh air yang rendah belum maksimal termanfaatkan. Hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan aliran air yang memiliki ketinggian jatuh yang rendah dengan mengubah menjadi aliran *vortex*.

Turbin *vortex* adalah suatu pembangkit listrik bertenaga air skala kecil yang menggunakan kaidah *vortex* atau pusaran air. Turbin *vortex* mampu bekerja pada *head* yang rendah yaitu sekitar 0,7 m – 2 m. Turbin *vortex* pertama kali dirancang oleh peneliti Austria bernama Franz Zotloterer ketika beliau sedang mencari cara yang paling efisien untuk memanfaatkan air (Dhakal dkk, 2015).

DASAR TEORI

Turbin *vortex* adalah suatu pembangkit listrik bertenaga air skala kecil yang menggunakan kaidah *vortex* atau pusaran air. Turbin *vortex* mampu bekerja pada *head* yang rendah yaitu sekitar 0,7 m – 2 m. Turbin *vortex* pertama kali dirancang oleh peneliti Austria bernama Franz Zotloterer ketika beliau sedang mencari cara yang paling efisien untuk memanfaatkan air (Dhakal dkk, 2015).

Potensi energi air

Air merupakan sumber energi yang murah dan relatif mudah didapat, karena pada air tersimpan energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik. Pemanfaatan energi air banyak dilakukan dengan kincir air atau turbin air yang memanfaatkan adanya suatu air terjun ataupun aliran air disungai. Selain memanfaatkan air jatuh, energi air (*hydropower*) dapat diperoleh dari aliran air datar.

Debit air dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dimana:

Q = Debit air (m³/s)

V = Volume (m³)

t = Waktu (s)

Maka daya air bisa dirumuskan menjadi:

$$P_a = \rho \times g \times Q \times h_v$$

Dimana:

ρ = Massa jenis air (kg/m^3)

Q = Debit air (m^3/s)

g = Percepatan gravitasi $9,81(\text{m}/\text{s}^2)$

h_v = Tinggi vortex (m)

Torsi

Torsi biasa disebut juga momen atau gaya yang menyatakan benda berputar pada suatu sumbu. Torsi juga bisa didefinisikan ukuran keefektifan gaya tersebut dalam menghasilkan putaran atau rotasi mengelilingi sumbu tersebut (Ully dkk, 2017).

Besar torsi (T) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$T = F \times g \times r$$

Dimana:

$F = m_2 - m_1$

m_1 = Pembebanan massa 1 (kg)

m_2 = Pembenanan massa 2 (kg)

g = Percepatan gravitasi $9,81(\text{m}/\text{s}^2)$

r = Jari-jari poros (m)

Kecepatan sudut

Kecepatan sudut adalah perubahan posisi sudut benda yang bergerak melingkar tiap satu satuan waktu. Kecepatan sudut disebut juga dengan kecepatan angular dan disimbolkan ω (omega).

Untuk menghitung kecepatan sudut (ω) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$

Dimana:

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

n = Putaran turbin (rpm)

$\pi = 3,14$

Daya turbin

Untuk mengetahui daya pada turbin yang digunakan, maka menggunakan rumus sebagai berikut: (Prasetyo dkk, 2016).

$$P_t = T \times \omega$$

Dimana:

P_t = Daya turbin (watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

Efisiensi turbin

Untuk menyatakan performansi suatu mesin biasanya dinyatakan dalam efisiensi yang merupakan perbandingan antara efek manfaat yang digunakan dengan pengorbanan yang dilakukan (Ully dkk, 2017). Rumus efisiensi adalah sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\%$$

Dimana:

η_t = Efisiensi turbin (%)

P_t = Daya turbin (watt)

P_a = Daya Air (watt)

METODE PENELITIAN

Variabel bebas (independent variables)

Variabel bebas adalah variabel yang menyebabkan atau mempengaruhi variabel terikat. Adapun yang menjadi variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi jumlah sudu dan variasi debit aliran yaitu:

- Jumlah sudu 7,8,9 dan 10 sudu.
- Debit aliran 0,008 m³/s, 0,009m³/s, 0,010 m³/s, 0,011 m³/s

Variable terikat (dependent variables)

Variabel terikat adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas, dengan menganalisa variabel terikat, diharapkan dapat ditemukannya penyelesaian dari masalah, diantaranya sebagai berikut:

- Putaran turbin.
- Torsi.
- Daya turbin.
- Efisiensi turbin.

Pengambilan data diambil dengan prosedur pengujian sebagai berikut :

Persiapan

- Menyiapkan dan memasang semua instalasi yang dibutuhkan.
- Mengecek mesin konversi energi mikrihidro apakah sudah sesuai dengan perancangannya dan sesuai dengan fungsinya.

Pengaturan debit aliran

Debit aliran didapatkan dengan cara sebagai berikut :

- Untuk mendapatkan debit aliran sesuai dengan variabel maka perlu mendapatkan frekuensi yang sesuai dengan debit aliran.
- Pencarian dilakukan dengan cara mengubah putaran pompa dengan mengatur frekuensi pada potensiometer kemudian melakukan perhitungan debit aliran pada *flowmeter* yang berada di samping pompa.
- Perhitungan dilakukan dengan cara menghitung seberapa banyak putaran jarum yang berada pada *flowmeter*. Untuk skala jarum pada *flowmeter* yaitu 0 sampai dengan 9.

- d) Setelah mendapatkan putaran jarum dalam waktu 1 menit kemudian dibagi dengan 60 untuk mendapatkan nilai perdetik.
- e) Misalkan untuk debit aliran $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ didapat putaran jarum *flowmeter* sebanyak 4 kali putaran penuh kemudian jarum berhenti diangka 8 maka nilainya menjadi 4,8 kemudian di kali dengan 0,1 maka hasilnya akan menjadi $0,48 \text{ m}^3/\text{menit}$, untuk merubahnya menjadi perdetik perlu di bagi dengan 60 jadi hasilnya $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$.
- f) Apabila belum mendapatkan hasil sesuai debit aliran yang diinginkan maka kembali mengatur frekuensi pada potensiometer.
- g) Jika suda mendapatkan debit sesuai yang diinginkan maka penelitian bisa dilanjutkan.
- h) Untuk pengulangan pencarian debit dilakukan 3 kali pengulangan dalam 1 kali percobaan penelitian, dimana pengulangan ini dilakukan dengan cara pompa dimatikan selama 1 menit kemudian dihidupkan dan dilakukan penyetelan frekuensi sesuai dengan frekuensi sebelumnya.

Pengambilan data

- a. Memasang turbin dengan jumlah sudu 7
- b. Mengatur debit aliran agar mendapatkan debit $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$.
- c. Pengambilan data untuk jumlah sudu 7 dengan debit $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ di lakukan sebanyak 3 kali pengulangan.
- d. Kemudian merubah debit aliran menjadi $0,009 \text{ m}^3/\text{s}$, debit aliran $0,010 \text{ m}^3/\text{s}$ dan debit aliran $0,011 \text{ m}^3/\text{s}$ kemudian melakukan pengambilan data, dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan untuk sudu 7.
- e. Langkah pada poin b sampai poin d dilakukan juga untuk jumlah sudu 8, 9 dan 10.

PEMBAHASAN

Pada pengujian ini debit aliran didapatkan menggunakan pompa dengan merubah putaran pompa dengan mengatur frekuensi pada potensiometer untuk menghasilkan debit air sesuai dengan yang telah ditentukan yaitu $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,009 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,010 \text{ m}^3/\text{s}$, $0,011 \text{ m}^3/\text{s}$. Setelah mendapatkan debit aliran yang menjadi variabel penelitian maka dapat dilanjutkan dengan mengukur putaran dan torsi. Data hasil pengamatan yang dilakukan pada pengukuran kecepatan putaran poros dengan melakukan pembebanan

Perhitungan daya air.

$$P_a = \rho \times g \times Q \times H_v$$

$$= 997,13 \times 9,81 \times 0,008 \times 0,30$$

$$P_a = 23,473 \text{ watt}$$

Perhitungan torsi

$$T = F \times g \times r$$

$$= 6,5 \times 9,81 \times 0,012$$

$$T = 0,765 \text{ Nm}$$

Kecepatan sudut

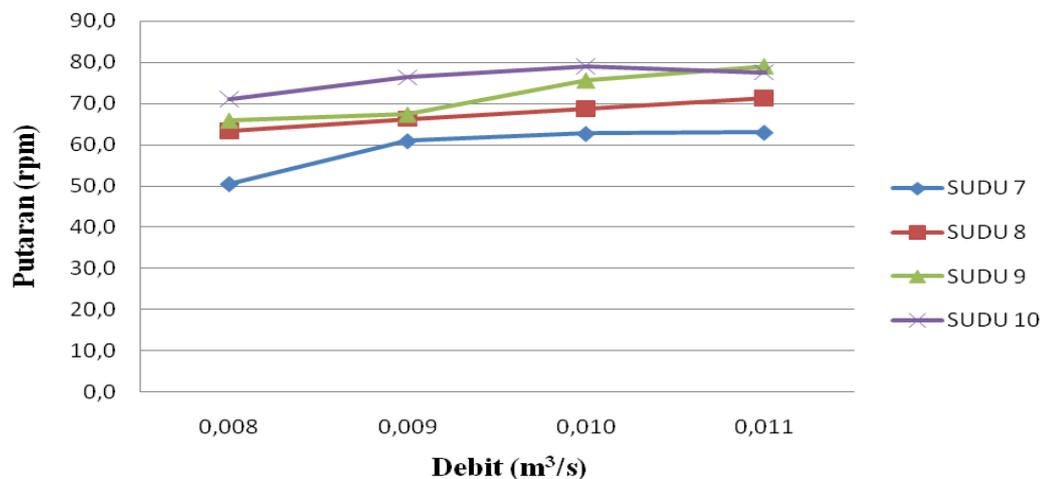
$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60}$$
$$= \frac{2 \times 3.14 \times 50,0}{60}$$
$$= 5,725 \text{ rad/s}$$

Daya turbin

$$P_t = T \times \omega$$
$$= 0,765 \times 5,725$$
$$= 4,038 \text{ watt}$$

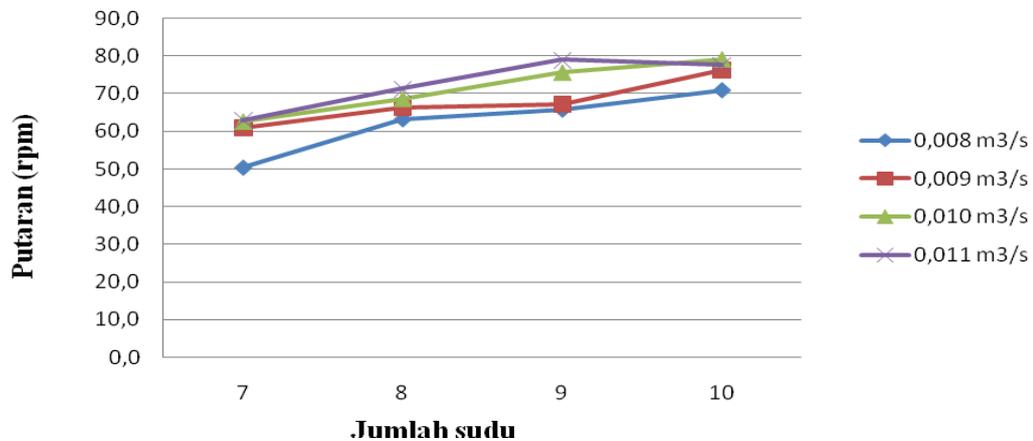
Efisiensi turbin

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\%$$
$$= \frac{4,038}{23,734} \times 100\%$$
$$= 17,202 \%$$

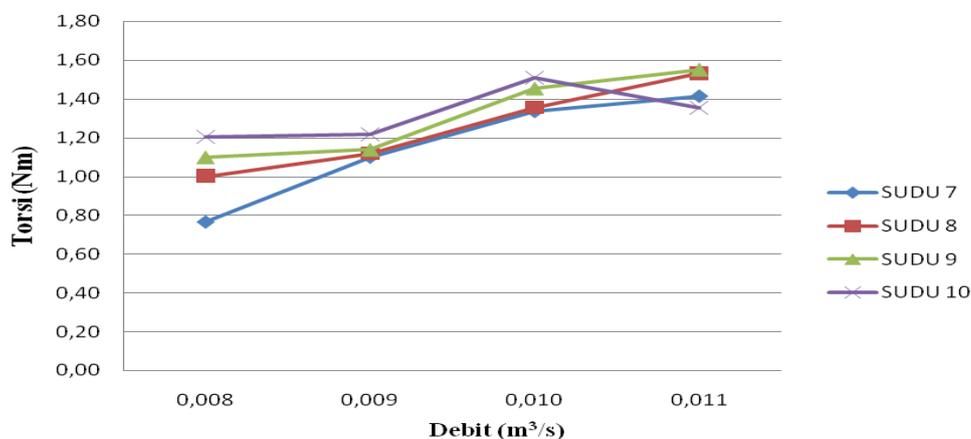


Dapat dilihat dari grafik hubungan putaran turbin dan debit aliran, untuk debit aliran 0,008 m³/s dilihat bahwa jumlah sudu 10 memiliki nilai tertinggi yaitu sekitar 71,0 rpm, kemudian diikuti dengan jumlah sudu 9 dengan putaran 65,8 rpm kemudian diikuti oleh jumlah sudu 8 yaitu 63,3 rpm dan putaran terkecil pada jumlah sudu 7 yaitu 50,4 rpm. Untuk debit aliran 0,009 m³/s dilihat bahwa sudu dengan jumlah sudu 10 memiliki nilai tertinggi yaitu sekitar 76,4 rpm, kemudian diikuti dengan jumlah sudu 9 dengan putaran 67,3 rpm kemudian diikuti oleh jumlah sudu 8 yaitu 66,2 rpm dan putaran terkecil pada jumlah sudu 7 yaitu 60,6 rpm. Kemudian debit aliran 0,010 m³/s dilihat bahwa sudu dengan jumlah sudu 10 memiliki nilai tertinggi yaitu sekitar 79,1 rpm, kemudian diikuti dengan jumlah sudu 9 dengan putaran 75,6 rpm kemudian diikuti oleh jumlah sudu 8 yaitu 68,7 rpm dan putaran terkecil pada jumlah sudu 7 yaitu 62,7 rpm.

Terakhir debit aliran 0,011 m³/s dilihat bahwa jumlah sudu 9 memiliki nilai tertinggi yaitu sekitar 79,0 Rpm, kemudian diikuti dengan jumlah sudu 10 dengan putaran 77,6 rpm kemudian diikuti oleh jumlah sudu 8 yaitu 71,3 rpm dan putaran terkecil pada jumlah sudu 7 yaitu 63,0 rpm.



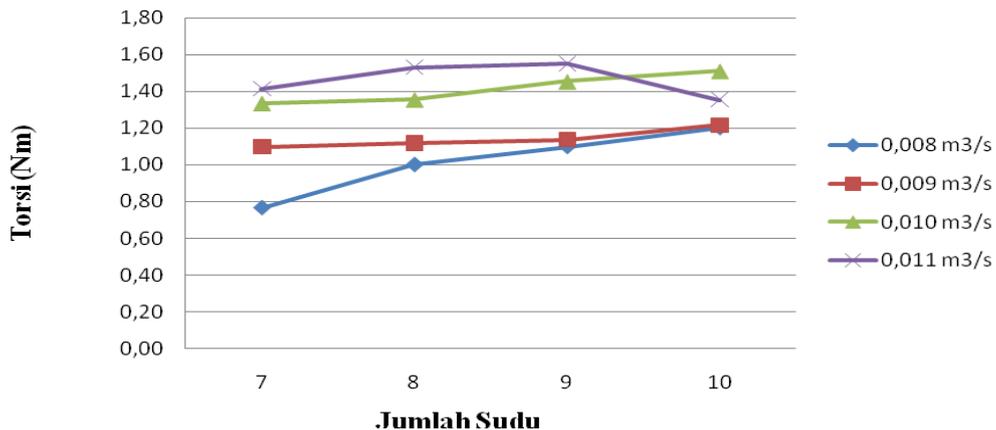
Pada grafik hubungan putaran dan jumlah sudu ini bisa dilihat bahwa semakin bertambahnya jumlah sudu maka semakin tinggi putarannya di setiap debit aliran, tetapi pada sudu 10 mengalami penurunan pada debit 0,011m³/s, ini di karenakan semakin bertambahnya jumlah sudu sehingga menyebabkan massa dari turbin sudu 10 semakin berat dan bertambahnya debit aliran sehingga bertambahnya volume air yang berada dalam basin akan membuat badan turbin ini terendam sepenuhnya sehingga menyebabkan putaran pada sudu 10 ini berat untuk berputar.



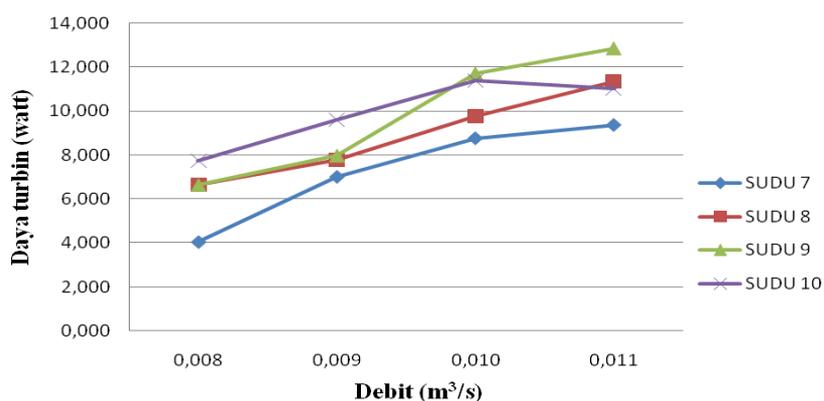
Dari grafik hubungan torsi dan debit aliran pada debit aliran 0,008 m³/s, bisa dilihat bahwa jumlah sudu 10 dengan nilai torsi tertinggi yaitu 1,202 Nm, di ikuti dengan jumlah sudu 9 dengan nilai torsi sebesar 1,100 Nm dan jumlah sudu 8 nilai torsinya sebesar 1,000 Nm dan yang paling terendah adalah pada jumlah sudu 7 yaitu sebesar 0,765 Nm, ini berarti semakin bertambahnya jumlah sudu maka akan semakin tinggi juga nilai torsinya ini berlaku pada debit aliran 0,008 m³/s. Untuk debit aliran 0,009 m³/s sama seperti debit aliran sebelumnya dimana nilai torsi tertinggi pada jumlah sudu 10 dengan nilai torsi sebesar 1,216 Nm dan nilai torsi terendah pada jumlah sudu 7 dengan nilai torsi sebesar 1,009 Nm ini juga berarti disetiap penambahan jumlah sudu maka nilai torsinya pun akan ikut mengalami kenaikan dan pada debit 0,010 m³/s nilai torsi tertinggi pada jumlah sudu 10 dengan nilai torsi sebesar 1,510 Nm dan nilai torsi terendah pada jumlah sudu 7 dengan nilai

torsi sebesar 1,334 Nm ini juga berarti disetiap pertambahan jumlah sudu maka nilai torsinya pun akan ikut mengalami kenaikan .

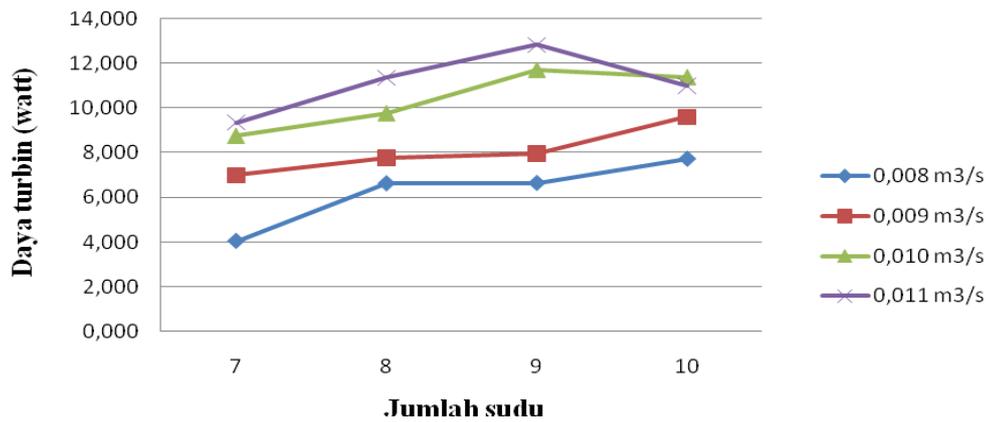
Berbeda dengan debit aliran sebelumnya yang menyatakan bahwa setiap pertambahan jumlah sudu maka nilai torsinya akan semakin meningkat, pada debit aliran 0,011 m³/s ini nilai torsi tertinggi yaitu pada jumlah sudu 9 dengan nilai torsi sebesar 1,550 Nm, di ikuti oleh jumlah sudu 8 yaitu sebesar 1,530 Nm dan di ikuti oleh jumlah sudu 7 dengan torsi sebesar 1,410 Nm dan torsi yang paling kecil adalah jumlah sudu 10 dengan nilai torsi 1,354 Nm..



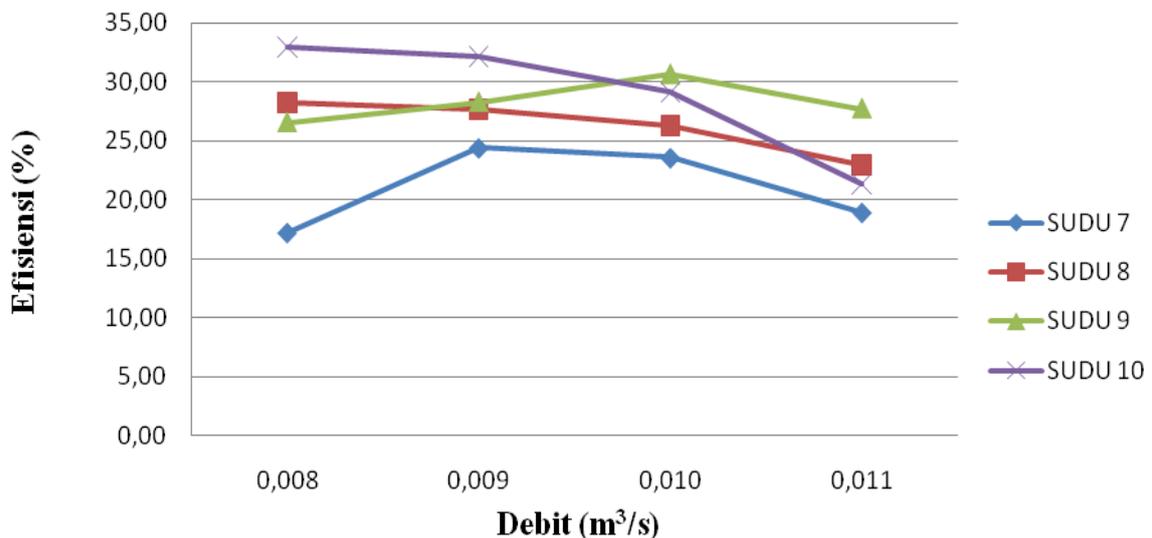
Pada grafik hubungan torsi dan jumlah sudu ini bisa dilihat bahwa semakin bertambahnya jumlah sudu maka semakin besar nilai torsi di setiap pertambahan debit aliran akan tetapi pada sudu 10 mengalami penurunan pada debit 0,011 m³/s ini di karenakan semakin bertambahnya jumlah sudu sehingga menyebabkan massa dari turbin sudu 10 semakin berat sehingga beban pegeraman semakin kecil untuk menghentkan putaran poros turbin yang menyebabkan nilai torsi menurun pada sudu 10 ini.



Pada grafik hubungan daya turbin dan debit aliran terlihat bahwa semakin banyak jumlah sudu dan semakin besar debit aliran maka daya turbin juga semakin besar. Tetapi berbeda dengan sudu 10 yang mengalami penurunan daya pada debit 0,011 m³/s, ini dikarenakan nilai dari putaran poros turbin dan torsi menurun.



Pada grafik hubungan jumlah sudu dan daya turbin ini juga sama halnya dengan nilai pada putaran dan torsi yang menyatakan semakin bertambahnya jumlah sudu maka nilai dari daya turbin semakin meningkat ini di karenakan nilai torsi dan nilai putaran juga semakin bertambah tetapi pada sudu 10 mengalami penurunan dikarenakan nilai torsi dan putaran kecil.



Pada grafik hubungan efisiensi dan debit aliran pada debit 0,008 m³/s, efisiensi tertinggi terdapat pada sudu dengan jumlah sudu 10 dengan efisiensi sebesar 32,93 %, kemudia di ikuti oleh jumlah sudu 8 dengan nilai efisiensi sebesar 28,23%, dan jumlah sudu 9 sebesar 26,55 % dan sudu yang memiliki nilai efisiensi terendah yaitu jumlah sudu 7 dengan nilai efisiensi 17,20 %. Pada 0,009 m³/s, efisiensi tertinggi masih sama seperti debit sebelumnya yaitu jumlah sudu 10 dengan nilai efisiensi sebesar 32,10 % diikuti oleh jumlah sudu 9 dengan nilai efisiensi sebesar 28,30 % dan diikuti oleh jumlah sudu 8 dengan nilai efisiensi 27,63 % dan nilai sudu terendah yaitu pada jumlah sudu dengan nilai efisiensi sebesar 24,39 dan pada debi 0,010 m³/s ini efisiensi tertinggi terjadi pada sudu 9 yaitu 30,69 % dan di ikuti oleh jumlah sudu 10 kemudian jumlah sudu 8 dan terakhir pada jumlah sudu 7 dengan nilai efisiensi sebesar 23,55 % dan pada debit 0,011 m³/s jumlah sudu 9 memiliki nilai efisiensi tertinggi di ikuti jumlah sudu 8 di ikuti jumlah sudu 10 dan efisiensi terkecil terjadi pada jumlah sudu 7 yaitu sebesar 18,91 %.

Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya kapasitas air maka tinggi *vortex* yang terbentuk pun juga semakin tinggi yang menyebabkan nilai head air semakin besar sehingga nilai dari daya air pun semakin bertambah besar.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian turbin *vortex* yang telah sebagaimana dilakukan maka dari itu dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk hubungan putaran turbin dan debit aliran menyatakan semakin besar debit aliran dan semakin banyak jumlah sudu maka akan semakin tinggi nilai putaran, tetapi untuk jumlah sudu 10 dengan debit aliran $0,011 \text{ m}^3/\text{s}$ mengalami penurunan, ini di karenakan semakin bertambahnya jumlah sudu maka massa turbin semakin berat dan semakin besar debit aliran maka volume air yang berada didalam basin turbin semakin bertambah menyebabkan turbin terendam sepenuhnya oleh air yang berakibat turbin dengan jumlah sudu 10 berat untuk berputar.
2. Untuk nilai torsi semakin besar debit aliran dan semakin banyak jumlah sudu maka nilai torsi akan semakin tinggi , tetapi untuk jumlah sudu 10 dengan debit aliran $0,011 \text{ m}^3/\text{s}$ mengalami penurunan, ini di karenakan semakin bertambahnya jumlah sudu maka massa turbin semakin berat dan semakin besar debit aliran maka volume air yang berada didalam basin turbin semakin bertambah menyebabkan turbin terendam sepenuhnya oleh air yang berakibat turbin dengan jumlah sudu 10 berat untuk berputar sehingga beban pengerem kecil.
3. Untuk daya turbin sendiri semakin besar debit aliran dan semakin banyak jumlah sudu maka nilai daya akan meningkat di karenakan nilai putaran bertambah dan nilai torsi juga bertambah, pada sudu 10 mengalami penurunan di karenakan putaran turbin dan torsinya kecil.
4. Efisiensi tertinggi terjadi pada jumlah sudu 10 pada debit aliran $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$ dan efisiensi terkecil terjadi pada jumlah sudu 7 dengan debit aliran $0,008 \text{ m}^3/\text{s}$. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya kapasitas air maka tinggi *vortex* yang terbentuk pun juga semakin tinggi yang menyebabkan nilai head air semakin besar sehingga nilai dari daya air pun semakin bertambah besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Afryzal, N.R., Adiwibowo, P.H., 2017, *Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar*, Jurusan Teknik Mesin Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Dhakal, S., Timilsina, A. B., Dhakal, R., Fuyal, D., Bajracharya, R.T., Pandit P.H., Amatya, N., 2015, *Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant*, Department of Mechanical Engineering, Central Campus, Institute of Engineering, Tribhuvan University, Pulchowk, Nepal.
- Dietzel, F., Sriyono, Dakso, 1993, *Turbin Pompa Dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- Gibran, Gultom, s., Lubis, Z., Pramio, G. S., 2014, *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, Volume.4, No.2 Juni 2017, ISSN 0216-7492. 4. Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- Jasa, Priyadi, Purnomo., 2015. *Peningkatan Efisiensi Turbin Dengan Pembaharuan Desain Turbin Banki Untuk Mikro Hidro Di Daerah Tropis*. Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Juliadi, S., 2018. *Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Cross Flow Dengan Variasi Jumlah Sudu*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Khan, N.H., 2016, *Blade Optimization of Gravitational Water Vortex Turbine*, Tesis MT, Teknik Mesin, Ghulam Ishaq Khan Institute of Engineering Sciences and Technology.
- Munson, Bruce, R., Young, Donald, F., Okiishi, Theodore, H. 2006. *Fundamentals Of Fluid Mechanics Sixth Edition*. Jhon Wiley & Sons Inc.
- Prasetyo, W.D., 2018, *Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil Dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya*, Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta 2018.
- Rinanda, V., Permatasari, P., 2016, *Optimasi Desain Turbin Air Tipe Vortex Dengan 5 Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi*, Seminar Nasional Cendekiawan ke 4 Tahun 2018 ISSN (P) : 2460 - 8696, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti.
- Uly, D.N., Bernadus, W., Purnawarman, G., 2017, *Pengaruh Pemasangan Sudu Pengarah dan Variasi Jumlah Sudu Rotor Terhadap Performance Turbin Angin Savonius Tipe L*, Journal of Flywheel, PNK, Volume 8, Nomor 1, p. 27-28.
- Widodo, S., Suharno, K., Mujiarto, S., Rasyidi, N.R., *Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Terhadap Daya Yang Dihasilkan* Journal Of Mechanical Engineering, Vol. 2, No. 2, September 2018 p-ISSN: 2598-7380 e-ISSN: 2613-9847, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar.
- Triswanto, H., Adiwibowo, P.H., 2017, *Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Kelengkungan Dengan Sudu Tipe U Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex*, Jurusan Teknik Mesin Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Zotloterer, F., 2004. *Zotloterer Gravitational Vortex Power Plan*
<http://www.zotloterer.com/welcome/gravitation-water-vortex-power-plants/zotloterer-turbine/> di akses desember 2019

