

EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU BERPENAMPANG PLAT DATAR TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN REAKSI *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

Peggy Panji Nugroho

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: peggynugroho@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik serta menipisnya cadangan bahan bakar fosil, maka keadaan tersebut memaksa manusia untuk mencari energi alternatif (*renewable energy*) yang dapat diperbaharui yang dapat menggantikan bahan bakar fosil. Turbin air adalah salah satu alat yang dapat mengkonversi daya yang dimiliki air dan mengubahnya menjadi energi gerak sehingga menghasilkan listrik. Namun, daya yang dihasilkan turbin *crossflow* cenderung rendah sehingga perlu adanya pengembangan pada turbin *crossflow* dengan menggunakan variasi jumlah sudu plat datar. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan jumlah sudu berpenampang plat datar pada turbin *crossflow* poros horizontal. Jumlah sudu yang digunakan adalah 12, 15 dan 18 yang akan diuji dengan variasi kapasitas air sebesar 12.58 L/s, 11.01 L/s, dan 8.84 L/s dan variasi pembebanan 500 gram, 1000 gram, 1500 gram, dan seterusnya dengan peningkatan pembebanan 500 gram hingga putaran turbin berhenti. Hasil dari penelitian didapatkan turbin dengan jumlah 15 memiliki daya dan efisiensi yang paling optimal dari pada turbin dengan jumlah 12 dan 18. Daya tertinggi dimiliki oleh turbin dengan jumlah sudu 15 yang terjadi pada kapasitas 12.58 L/s dengan pembebanan 7000 gram, memiliki daya sebesar 3,136 Watt. Efisiensi tertinggi juga dihasilkan oleh jumlah sudu 15 pada kapasitas 12.58 L/s dengan pembebanan 7000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 58,23%. Hal ini dikarenakan pada jumlah 12 terlalu jauh jarak antar sudunya dan pada jumlah sudu 18 jarak antar sudu terlalu sempit sehingga mengurangi kapasitas penampungan air yang dimiliki untuk mengubah daya air menjadi putaran.

Kata kunci: Crossflow, Daya, Efisiensi, Jumlah Sudu, Turbin.

Abstract

Along with the increasing demand for electric power and the rapid depletion of fossil fuels, then the states are forcing people to look for alternative energy (renewable energy) that can be updated to replace fossil fuels. Water turbine is one tool that can convert water-owned power and convert it into mechanical energy to produce electricity. However, crossflow turbine generated power tends to be low so that the need for the development of the crossflow turbine blade using a variation of the flat plate. This study used an experimental method by varying the number of blades with flat plate on the horizontal axis crossflow turbine. The number of blades used are 12, 15 and 18 to be tested with a variety of water capacity of 12,58 L / s, 11,01 L / s, and 8,84 L / s and load variations 500 g, 1000 g, 1500 g, and so with increased loading of 500 grams to a turbine wheel stops. Results of this research showed the turbine with the number 15 has the most power and optimal efficiency of the turbine with the number 12 and 18. The highest power possessed by the turbine blade number 15 occurring at 12,58 L / s with a load of 7000 grams, has a power of 3.136 Watt. The highest efficiency is also generated by the number of blade 15 at 12,58 capacity L / s with a load of 7000 grams with the efficiency of 58,23% because the number 12 is too much distance between it blade and the amount of distance between the blade 18 of the blade is too narrow thus reducing the capacity of water reservoirs held at converting water into rounds.

Keywords: Crossflow, Power, Efficiency, Number of Blade, Turbine.

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan energi listrik serta menipisnya cadangan bahan bakar fosil, maka keadaan tersebut memaksa manusia untuk mencari energi alternatif (*renewable energy*) yang dapat diperbaharui yang dapat menggantikan bahan bakar fosil. Banyak energi alternatif yang dapat diperbaharui seperti pembangkit listrik tenaga air yang menjadi sumber energi yang berpotensi besar untuk dikembangkan saat ini. Terlebih dalam hal ini geografis Indonesia 63% wilayahnya terdiri dari laut menyimpan banyak potensi energi alternatif,

khususnya energi arus laut. Maka dari itu perlu dikembangkan suatu alat yang dapat mengubah potensi energi arus air menjadi energi listrik sehingga cocok digunakan untuk perairan Indonesia. Saat ini telah dikembangkan turbin arus air Darrieus yang efisien dapat mengambil energi dari arus air. Turbin ini menggunakan arus laut pasang surut, sungai ataupun kanal yang ada disekitarnya.

Menurut "Andi Ade Larasakti dkk, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar, 1 januari 2012", Indonesia mengalami lonjakan hebat dalam konsumsi energi. Dari tahun

2000 hingga tahun 2004 konsumsi energi primer Indonesia meningkat sebesar 5.2 % pertahunnya. Peningkatan ini cukup signifikan apabila dibandingkan dengan peningkatan kebutuhan energi pada tahun 1995 hingga tahun 2000, yakni sebesar 2.9 % pertahun. Dengan keadaan yang seperti ini, diperkirakan kebutuhan listrik Indonesia akan terus bertambah sebesar 4.6% setiap tahunnya, sehingga diperkirakan mencapai tiga kali lipat pada tahun 2030. Penelitian ini sangat penting mengingat potensi tenaga air tersebar hampir diseluruh Indonesia dan diperkirakan mencapai 75.000 MW, sementara dimanfaatkan untuk pembangkit baru sekitar 2,5% dari potensi yang ada. Untuk memenuhi kebutuhan listrik daerah pedesaan yang belum terjangkau PLN, dan mengingat tenaga air salah satu potensi sumber energi yang sangat besar namun pemanfaatannya masih dibawah potensinya. Maka penerapan PLTMH merupakan alternatif yang paling baik. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) telah dikembangkan diberbagai daerah pedesaan di Indonesia.

Pembangkit listrik tenaga *mikro hydro* (PLTMH) adalah salah satu upaya untuk menanggulangi masalah tersebut. PLTMH adalah pembangkit listrik yang dimana turbin digerakkan oleh debit air sehingga turbin mengeluarkan arus listrik dimana arus listrik tersebut akan digunakan untuk mencukupi kebutuhan rumah tangga. Di Indonesia sendiri sangatlah prospek untuk dibangunnya PLTMH karena di Indonesia sendiri terdapat banyak sungai yang bisa dimanfaatkan. Dalam penelitian PLTMH ada beberapa faktor yang harus diperhatikan. Salah satunya memperhatikan jumlah sudu dan debit aliran. Karena di setiap variasi jumlah sudu dan debit aliran mempunyai perbedaan gaya dan momentum pada turbin sehingga berpengaruh pada kinerja turbin.

Agus Rohermanto (2007) dalam penelitiannya tentang Pembangkit Listrik Mikro Hidro (PLTMH), "PLTMH mengandung makna, secara bahasa diartikan *mikro* adalah kecil dan *hydro* adalah air, maka dapat dikatakan bahwa *mikro hydro* adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang berskala kecil, karena pembangkit tenaga listrik ini memanfaatkan aliran air sungai atau aliran irigasi sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin dan memutar generator. Jadi pada prinsipnya dimana ada air mengalir dengan ketinggian minimal 2,5 meter dengan debit 250 liter/detik, maka disitu ada energi listrik". Selain dari pada itu *mikro hydro* tidak perlu membuat waduk yang besar seperti PLTA.

Sistem PLTMH memiliki komponen utama berupa reservoir, turbin air, generator listrik, serta instalasi perpipaan. Energi kinetik dari pancaran air diubah menjadi energi mekanik oleh turbin air yang merupakan penggerak mula sehingga menghasilkan putaran roda turbin. Energi mekanik itulah yang kemudian membuat generator bekerja dan menghasilkan listrik.

Turbin Cross-Flow adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbine). Prinsip kerja

turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki kadang disebut juga Turbin Michell-Ossberger (Haimperl, L.A., 1960).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Afryzal, Nikira Randy, Adiwibowo, Priyo Heru. (2017) dengan judul "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar" dengan memvariasi jumlah sudu 8, 10, 12 menggunakan poros vertikal dijelaskan bahwa daya tertinggi yang dihasilkan turbin reaksi aliran vortex terdapat pada turbin 8 sudu pada beban 25000 gr dengan kapasitas air sebesar 8,89 L/s diperoleh daya turbin sebesar 21,84 watt, dan efisiensi tertinggi yang dihasilkan turbin reaksi aliran vortex terdapat pada turbin dengan 8 sudu pada beban 20000 gr dengan kapasitas air sebesar 6,94 L/s diperoleh efisiensi turbin sebesar 44,3 %.

Riduan, Mujib, Adiwibowo, Priyo Heru (2016) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa jumlah sudu sangat berpengaruh terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin reaksi *crossflow*. Daya dan efisiensi turbin tertinggi terjadi pada sudu 12 apabila dibandingkan dengan sudu 6 dan sudu 8 pada kapasitas 7,49228 L/s dan pembebanan 2000 gram. Penelitian tersebut dibuat beberapa buah *runner* masing-masing memiliki 6 buah, 8 buah, dan 12 buah mata sudu. Sudu dipasang pada rangkaian turbin, dan diberikan variasi kapasitas dan pembebanan. Pemberian variasi kapasitas dan pembebanan dari proses pengujian didapatkan putaran turbin, kemudian dianalisis lebih lanjut untuk didapatkan daya dan efisiensi dari turbin air.

Penelitian Yasinta Sindy Pamesti (2018) yang berjudul "Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik poros horisontal dan vertikal "Variasi sudut pengarah aliran dengan sudut yang akan diteliti ini menggunakan sudut 5° 10° , 15° dan variasi debit aliran 50, 70 dan 90 m³/jam. Selain itu, turbin kinetik ini menggunakan variasi poros vertikal dan horizontal. Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa daya output yang dihasilkan turbin maksimal sebesar 1,53 Watt terjadi pada debit 90 m³/jam dengan sudut pengarah aliran 15° . Efisiensi tertinggi yaitu sebesar 18% terjadi pada debit aliran 50 m³/jam dengan sudut pengarah aliran sebesar 15° . Turbin dengan tipe poros horizontal memiliki nilai daya dan efisiensi yang sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan turbin poros vertikal.

Penelitian oleh Yesung Allo Padang, *at al.* (2014) yang berjudul "Analisis Variasi Jumlah Sudu Berengsel Terhadap Unjuk Kerja Turbin *Crossflow Zero Head*" didapatkan bahwa dengan menggunakan variasi jumlah sudu 4, 6, 12 dan pergerakan sudu berengsel dan sudu tetap menunjukkan hasil penelitian unjuk kerja turbin terbaik diperoleh saat jumlah sudu 12 dengan gerakan sudu tetap. Efisiensi sistem yang terbaik sebesar 0,47% diperoleh pada

kecepatan putar generator sebesar 89,9 rpm dan energi output generator sebesar 29,25 Watt.

Penelitian oleh Irawan, Iskandar (2016) yang berjudul “Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air *CrossFlow* Dengan Metode Taguchi” Dari faktor variasi jumlah sudu 18 buah, 20 buah dan 22 buah didapatkan hasil putaran yang optimum pada sudu (18 buah) dengan hasil putaran yang didapat sebesar 310,2 rpm. Dari faktor variasi bukaan katup 50%, 75% dan 100% didapatkan hasil putaran yang optimum (75%) dengan hasil putaran yang didapat sebesar 321,1 rpm. Dari faktor variasi luas pemasangan aliran 120 mm, 125 mm, dan 130 mm didapatkan hasil putaran optimum (120 mm) dengan hasil putaran yang didapat sebesar 295,7 rpm.

Beberapa peneliti terdahulu banyak yang sudah melakukan inovasi, tetapi masih belum banyak peneliti yang melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu turbin *crossflow* dengan poros horizontal. Untuk mengembangkan penelitian tersebut, peneliti tertarik melakukan kajian dan meneliti bagaimana optimalisasi daya dan efisiensi dengan memvariasikan jumlah sudu pada turbin *crossflow* poros horizontal. Harapan dari penelitian eksperimen ini adalah menghasilkan turbin *crossflow* poros horizontal yang baik dari segi efektifitas dan daya yang dihasilkan sehingga dapat digunakan untuk skala kecil pada pemukiman yang dekat dengan sumber air sehingga energi potensial terbarukan tersebut dapat lebih dimanfaatkan.

METODE

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Menurut Sugiyono (2011:61) variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel dependen atau variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini:

- Variasi jumlah sudu pada *runner* turbin sebanyak: 12, 15 dan 18.



Gambar 1. Turbin

Variabel Terikat

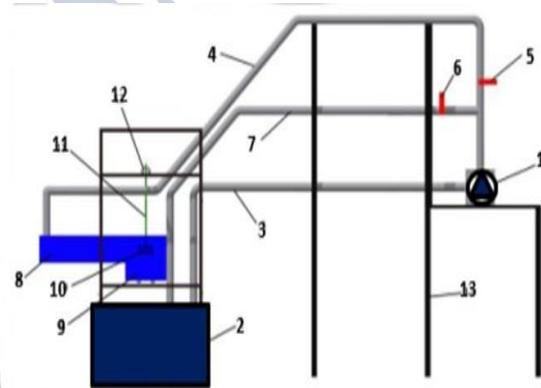
Menurut Sugiyono (2011:61) variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variasi terikat dalam penelitian ini meliputi:

- Daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *crossflow*

Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel independen terhadap dependen tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Dalam penelitian ini variabel yang di kontrol meliputi:

- *Fluida* kerja adalah air.
- Kapasitas atau debit aliran air selama pengujian.
- Kapasitas aliran air selama pengujian adalah 12, 583 L/s, 11,010 L/s, 8,884 L/s.
- Bukaan katup disesuaikan pada 130°, 140°, 150°.
- Pembebanan sebesar 500 g, 1000 g, 1500 g, dan 2000 g dan seterusnya hingga turbin berhenti berputar.



Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

Gambar 2. Desain Instalasi Alat Uji

Keterangan:

1. Pompa air
2. Bak penampungan air
3. Pipa penyalur *suction*
4. Saluran *discharge*
5. Katup pengaturan kapasitas
6. Katup utama
7. Katup *bypass*
8. Saluran *inlet*
9. Area *outlet*
10. Penempatan turbin
11. Posisi rangka poros
12. Posisi *Prony Brake*
13. Rangka utama PLTMH

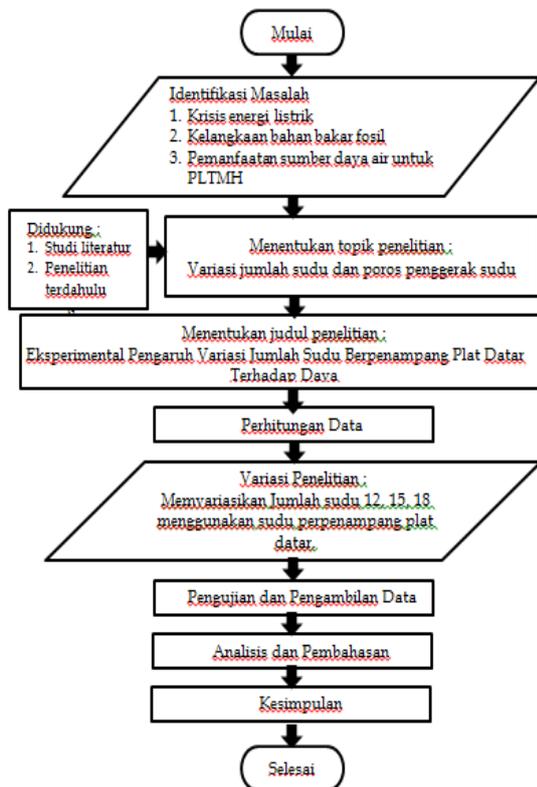
Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Tujuan yang diungkapkan dalam bentuk hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap pertanyaan penelitian. Data yang dikumpulkan ditentukan oleh variabel-variabel yang ada dalam hipotesis. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengukur atau menguji obyek yang diteliti dan mencatat hasil tersebut.

Teknik Analisa Data

Analisa data adalah suatu metode atau cara untuk mengolah sebuah data menjadi informasi sehingga dapat dipahami yang nantinya bisa dipergunakan untuk mengambil sebuah kesempatan dan menemukan solusi. Pada eksperimen teknik analisa data yang digunakan adalah dengan menggunakan metode analisis data kualitatif deskriptif. (Moleong, 2008:6) menjelaskan bahwa penelitian deskriptif adalah penelitian yang menggambarkan dan melukiskan keadaan obyek penelitian berdasarkan fakta-fakta pada saat pengujian. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data dengan alat ukur, maka hasil dari pengukuran dimasukkan ke dalam tabel, dihitung secara teoritis dan kemudian disajikan dalam bentuk grafik agar lebih dapat memahami. Hal ini dilaksanakan untuk memberi informasi mengenai kinerja alat yang paling optimal, hubungan antara variabel-variabel dan fenomena-fenomena apa saja yang terjadi selama pengujian dilakukan.

Flowchart Penelitian



Gambar 3. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh variasi jumlah sudu terhadap daya dan efisiensi pada turbin crossflow poros horizontal. Data yang didapatkan selama proses pengujian dimasukkan ke dalam tabel yang sebelumnya telah dibuat, data dalam penelitian ini meliputi besar sudut pada bukaan katup saluran pipa balik, tinggi ambang pada *V-Notch Weir*, tinggi ambang pada saluran kecepatan putar turbin, berat beban dan gaya yang dihasilkan neraca pegas. Hasil

penelitian kemudian disajikan ke dalam bentuk nilai dan grafik, tabel pengambilan data juga dilampirkan agar memudahkan dalam memahami grafik yang disajikan.

Dalam proses analisa data di ambil rata-rata data dari tiga kali proses percobaan, hal ini dimaksudkan agar data yang diperoleh benar-benar sesuai dengan kondisi yang terjadi atau valid. Data tersebut didapatkan dari pengujian turbin *crossflow* poros horizontal dengan sudu berpenampang plat datar dan variasi jumlah sudu sebanyak 12, 15, dan 18. Data yang dihasilkan digunakan untuk perhitungan efisiensi dan daya yang dihasilkan turbin.

Sebelum melakukan perhitungan daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin maka perlu diketahui terlebih dahulu kapasitas air dan kecepatan aliran air.

- Menghitung Kapasitas Air (Q)

Daya air dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan:

$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot tg \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}} \quad (\text{Fox et al, 2012:648})$$

Keterangan:

- Q = Kapasitas air (m³/s)
- Cd = Coefficient of Discharge
- θ = Sudut pada *V-notch weir* (°)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)
- H = Tinggi ambang (m)

- Menghitung Luas Penampang Aliran (A)

Luas penampang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A = t \cdot l \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

- A = Luas penampang saluran (m²)
- T = Tinggi ambang pada ujung keluaran pengarah (m)
- l = Lebar keluaran pengarah (m)

- Menghitung Kecepatan Aliran (V)

Kecepatan Aliran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V = \frac{Q}{A} \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

- V = Kecepatan Aliran (m/s)
- Q = Kapasitas Aliran (m³/s)
- A = Luas Penampang saluran (m²)

- Menghitung Daya Air yang Mengalir (Pa)

Daya air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Pa = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (\text{Fox et al., 2012:504})$$

Keterangan:

- Pa = Daya air (Watt)
- ρ = Massa jenis Fluida (kg/m³)
- A = Luas penampang saluran (m²)
- V = Kecepatan Aliran (m³/s³)

- Menghitung Torsi Turbin (T)

Torsi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T = F \cdot r \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

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

Keterangan:

- T = Torsi (N.m)
- F = Gaya (N)

- r = Jari-jari poros putaran
- m_{beban} = Masa Beban (kg)
- m_{neraca} = Massa pada neraca (kg)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)

- Menghitung Kecepatan Anguler Turbin
Kecepatan anguler turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K. Gupta, 2005:10})$$

Keterangan:

- ω = Kecepatan anguler turbin (rad/s)
- n = Putaran (rpm)

- Menghitung Daya Turbin (Pt)
Daya turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P_t = T \cdot \omega \quad (\text{Pritchard, P.J, 2011:504})$$

Keterangan:

- P_t = Daya turbin (Watt)
- T = Torsi (N.m)
- ω = Kecepatan anguler (rad/s)

- Menghitung Efisiensi Turbin (η)
Efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

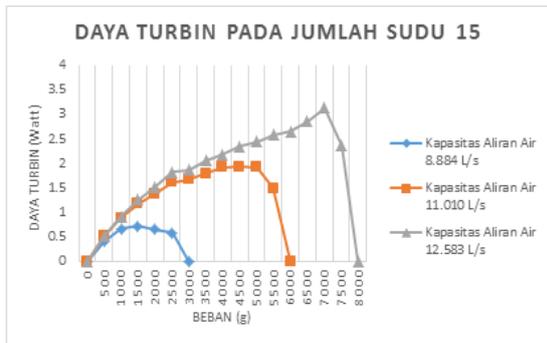
$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \quad (\text{Pritchard, P.J, 2011: 505})$$

Keterangan:

- η = Efisiensi turbin
- P_t = Daya turbin (Watt)
- P_a = Daya air (Watt)

Pembahasan

Pengaruh Variasi Kapasitas Air Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin pada jumlah sudu 15

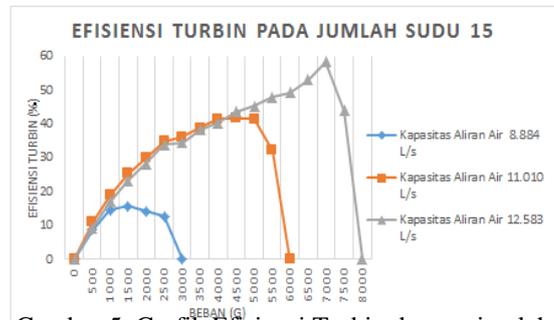


Gambar 4. Grafik Daya Turbin pada jumlah sudu 15

Berdasarkan gambar 4, turbin dengan jumlah sudu 15 menghasilkan daya yang semakin meningkat sebanding dengan bertambahnya kapasitas aliran air yang mengalir. Seperti yang terlihat pada gambar gambar 4, bahwa kapasitas aliran air 8,884 L/s mengalami peningkatan pembebanan 1500 gram dengan daya yang dihasilkan turbin sebesar 0,712 Watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 3000 gram. Daya turbin dengan kapasitas aliran air 11,010 L/s mengalami peningkatan pada pembebanan 4500 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,933 Watt, lalu

daya yang dihasilkan menurun dan berhenti pada pembebanan 6000 gram. Daya turbin dengan kapasitas aliran air 12,583 L/s mengalami peningkatan pada pembebanan 7000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 3,136 Watt, lalu daya yang dihasilkan menurun dan berhenti pada pembebanan 8000 gram.

Dari gambar 4, dapat disimpulkan bahwa kapasitas aliran air 12,583 L/s pada pembebanan 7000 gram memiliki nilai daya tertinggi yaitu 3,136 Watt. Hal ini disebabkan meningkatnya kapasitas aliran yang diberikan sehingga gaya dorong yang diberikan sanggup membuat turbin berputar meski pembebanan semakin meningkat, namun pada titik tertentu terjadi penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan semakin besarnya pembebanan yang diberikan sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

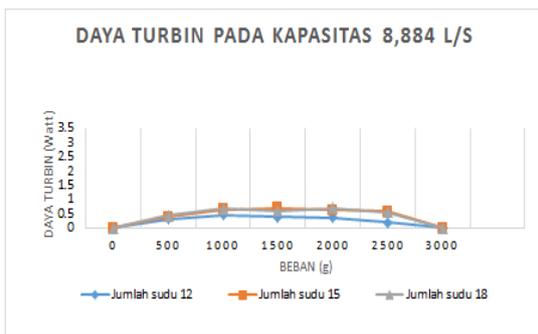


Gambar 5. Grafik Efisiensi Turbin dengan jumlah sudu 15

Berdasarkan gambar 5, turbin dengan jumlah sudu 15 menghasilkan efisiensi yang semakin meningkat sebanding dengan bertambahnya kapasitas aliran air yang mengalir. Seperti yang terlihat pada gambar grafik 4.7, bahwa kapasitas aliran air 8,884 L/s mengalami peningkatan pembebanan 1500 gram dengan efisiensi yang dihasilkan turbin sebesar 18,72 % lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 3000 gram. Daya turbin dengan kapasitas aliran air 11,010 L/s mengalami peningkatan pada pembebanan 4500 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 41,71 % lalu daya yang dihasilkan menurun dan berhenti pada pembebanan 6000 gram. Daya turbin dengan kapasitas aliran air 12,583 L/s mengalami peningkatan pada pembebanan 7000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 58,23 % lalu daya yang dihasilkan menurun dan berhenti pada pembebanan 8000 gram.

Dari gambar 5, dapat disimpulkan bahwa kapasitas aliran air 12,583 L/s pada pembebanan 7000 gram memiliki nilai daya tertinggi yaitu 58,23%. Hal ini disebabkan meningkatnya kapasitas aliran yang diberikan sehingga gaya dorong yang diberikan sanggup membuat turbin berputar meski pembebanan semakin meningkat, namun pada titik tertentu terjadi penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan semakin besarnya pembebanan yang diberikan sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

- Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Turbin Pada Tiap Kapasitas.

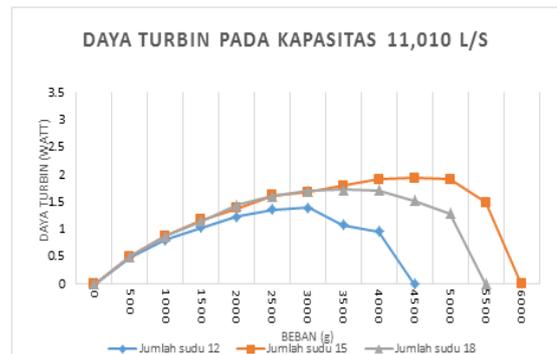


Gambar 6. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 8,884 L/s

Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat bahwa turbin dengan jumlah sudu 15 mengalami peningkatan daya secara bertahap hingga pembebanan gram 1500 gram dan mengalami penurunan pada pembebanan 2000 gram sampai 2500 gram hingga berhenti di pembebanan 3000 gram, hal ini dikarenakan pada kapasitas tersebut turbin dengan jumlah sudu 15 dapat menampung lebih banyak daya air sehingga dapat berputar hingga pembebanan yang tinggi, sedangkan penurunan daya turbin karena semakin besar pembebanan sehingga dibutuhkan daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat pula grafik yang dihasilkan oleh turbin dengan jumlah sudu 12, 15, dan 18. Daya turbin dengan jumlah sudu 12 mengalami peningkatan hingga pembebanan 1000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,460 Watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 3000 gram. Daya turbin dengan jumlah sudu 15 terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 1500 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,712 Watt, lalu daya yang dihasilkan berangsur-angsur menurun hingga berhenti pada pembebanan 3000 gram. Daya turbin dengan jumlah sudu 18 mengalami peningkatan hingga pembebanan 2000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 0,707 Watt, lalu daya yang dihasilkan mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 3000 gram.

Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 15 dan kapasitas aliran 8,884 L/s pada pembebanan 1500 gram memiliki nilai daya tertinggi yaitu 0,712 Watt. Hal ini terjadi karena kapasitas air yang meningkat akan menyebabkan putaran turbin semakin cepat sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar, sedangkan penurunan daya disebabkan karena peningkatan pembebanan sehingga gaya dorong yang diperlukan untuk memutar turbin menjadi semakin besar.

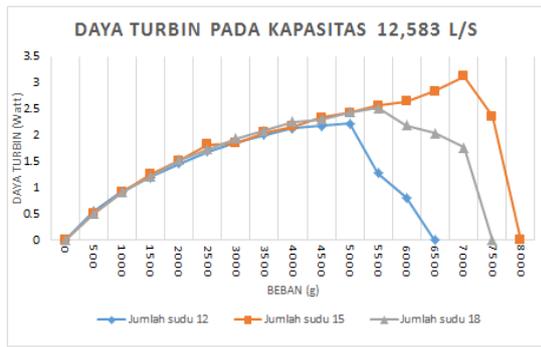


Gambar 7. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 11,010 L/s

Berdasarkan gambar 4.2 turbin dengan jumlah sudu 15 mengalami peningkatan daya secara bertahap hingga pembebanan 4500 gram dan setelah itu daya turbin cenderung menurun lalu berhenti pada pembebanan 6000 gram, pada grafik diatas kapasitas yang diatur sebesar 11,010 L/s mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin dengan jumlah sudu 15. Pada kapasitas tersebut, variasi yang dilakukan terhadap jumlah sudu mengalami peningkatan nilai daya turbin. Meningkatnya kapasitas aliran air cenderung meningkatkan gaya dorong guna menggerakkan turbin sehingga turbin dapat bertahan dengan pembebanan tinggi.

Dari grafik tersebut juga dapat dilihat, daya turbin pada jumlah sudu 12 mengalami peningkatan nilai daya hingga pembebanan 3000 gram dengan daya turbin sebesar 1,400 Watt, setelah itu daya turbin menurun dan berhenti pada pembebanan 4500 gram. Daya turbin dengan jumlah sudu 15 juga mengalami peningkatan hingga pembebanan 4500 gram dengan nilai daya sebesar 1,933 Watt, setelah itu daya turbin mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 6000 gram. Selanjutnya, pada variasi jumlah sudu 18 daya turbin mengalami peningkatan hingga pembebanan 3500 gram dengan nilai daya sebesar 1,731 Watt, setelah itu daya menurun terus-menerus dan berhenti pada pembebanan 5500 gram.

Dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 15 dan kapasitas aliran air 11,010 L/s pada pembebanan 4500 gram memiliki nilai daya tertinggi, yaitu 1,933 Watt. Kapasitas aliran yang meningkat menyebabkan putaran turbin meningkat sehingga daya yang dihasilkan turbin juga semakin besar, begitupun sebaliknya, penurunan daya disebabkan karena pembebanan yang semakin besar sehingga diperlukan gaya dorong yang semakin besar pula agar turbin mampu bergerak.



Gambar 8. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 12,583 L/s

Berdasarkan gambar 8, dapat dilihat bahwa turbin dengan variasi jumlah sudu 15 mengalami peningkatan daya hingga puncaknya pada pembebanan 7000 gram, setelah itu daya turbin turun dan berhenti pada pembebanan 8000 gram. Kapasitas yang meningkat cenderung mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin *crossflow* dengan variasi jumlah sudu 15. Bertambahnya kapasitas aliran berarti memperbesar gaya dorong yang diberikan untuk memutar turbin, sehingga turbin masih berputar meski pembebanan semakin berat dan nilai daya yang dihasilkan turbin semakin besar.

Dari gambar 8, juga dapat dibandingkan daya yang dihasilkan tiap variasi jumlah sudu, turbin dengan jumlah sudu 12 mengalami peningkatan daya hingga pembebanan 5000 gram dan daya yang dihasilkan sebesar 2.229 Watt, lalu mengalami penurunan hingga berhenti berputar pada pembebanan 6500 gram. Turbin dengan jumlah sudu 15 mengalami peningkatan daya hingga pembebanan 7000 gram dan daya yang dihasilkan sebesar 3,136 Watt, setelah itu putaran turbin langsung menurun hingga berhenti pada pembebanan 8000 gram. Pada turbin dengan jumlah sudu 18, daya yang dihasilkan turbin terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 5500 gram dengan daya yang dihasilkan turbin sebesar 2,521 Watt lalu mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 7000 gram.

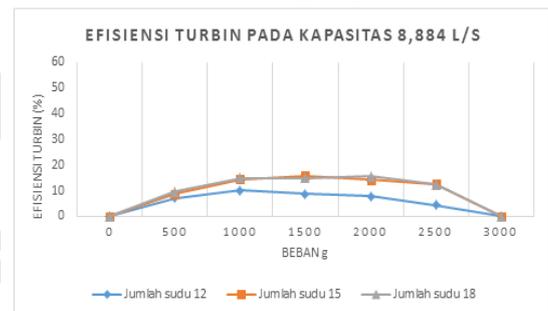
Dari gambar diatas dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 15 pada kapasitas aliran 12,583 L/s dan pembebanan 7000 gram memiliki nilai daya tertinggi, yaitu 3,136 Watt. Hal ini disebabkan meningkatnya kapasitas aliran yang diberikan, sehingga gaya dorong yang diberikan sanggup membuat turbin berputar meski pembebanan semakin meningkat, namun pada titik tertentu terjadi penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan semakin besarnya pembebanan yang diberikan sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin.

Berdasarkan gambar 6, 7 dan 8 dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan jumlah sudu pada turbin reaksi *crossflow* poros horizontal memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Pada gambar (6.) dengan diberikan kapasitas aliran 8,884 L/s, variasi

jumlah sudu tidak menghasilkan daya yang begitu besar namun daya yang dihasilkan turbin cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena pada kapasitas tersebut turbin tidak terendam dan luasan area penampang aliran tidak sepenuhnya mengenai luasan sudu turbin, sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin agar berputar dan mengasilkan daya yang tinggi. Seiring penambahan kapasitas aliran yang diatur dengan membuka katup saluran balik pada skema pompa terlihat pada gambar (7.) bahwa daya yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan daripada kapasitas aliran sebelumnya, variasi yang diberikan pada jumlah sudu juga cenderung mengalami peningkatan terhadap nilai daya yang dihasilkan turbin. Kenaikan daya yang dihasilkan turbin juga terus terjadi pada gambar (8.), penambahan kapasitas menyebabkan luas penampang aliran semakin tinggi sehingga turbin terendam hingga hampir setengah dari diameter turbin. Variasi yang dilakukan pada jumlah sudu juga mengalami peningkatan daya di kapasitas aliran ini, bahkan pembebanan yang diberikan agar putaran turbin berhenti hingga mencapai 8000 gram.

Dari analisis yang diberikan diatas dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 15 pada turbin reaksi *crossflow* memiliki nilai daya tertinggi, yaitu 3,136 Watt. dilanjutkan dengan variasi jumlah sudu 18 dan daya terendah dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 12. hal ini dikarenakan pada jumlah 12 terlalu jauh jarak antar sudunya dan pada jumlah sudu 18 jarak antar sudu terlalu sempit sehingga mengurangi kapasitas penampungan air yang dimiliki untuk mengubah daya air menjadi putaran.

- Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pada Tiap Kapasitas.



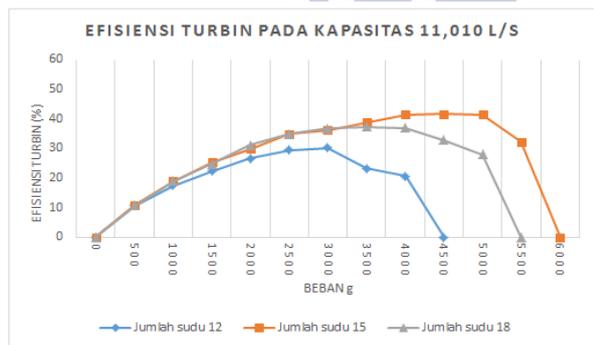
Gambar 9. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 8,884 L/s

Berdasarkan gambar 9, dapat diketahui bahwa turbin dengan jumlah sudu 15 mengalami kenaikan nilai efisiensi hingga pembebanan 1500 gram, setelah itu nilai efisiensi menurun hingga putaran berhenti dipembebanan 3000 gram. Hal ini karena nilai efisiensi berhubungan dengan nilai daya dan torsi yang dihasilkan oleh turbin. Apabila daya turbin mengalami penurunan maka efisiensi turbin juga akan menurun.

Dari gambar diatas juga dapat dibandingkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 12 mengalami

peningkatan efisiensi hingga pembebanan 1000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 10,17 %, setelah itu efisiensi turbin menurun hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 3000 gram. Turbin dengan jumlah sudu 15 mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 1500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 15,73%, setelah itu nilai efisiensi turbin menurun hingga berhenti pada pembebanan 3000 gram. Turbin dengan jumlah sudu 18 efisiensi turbin juga meningkat hingga pembebanan 2000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 15,62%, lalu turbin berhenti pada pembebanan 3000 gram.

Dari gambar 9, dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 15 memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan kapasitas aliran 8,884 L/s dengan nilai efisiensi sebesar 18,72% pada pembebanan 1500 gram. Hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin, karena dalam mencari nilai efisiensi daya turbin dikalikan dengan daya air lalu dikali 100 persen. Dari rumusan itu juga dapat dilihat bahwa kapasitas aliran mempengaruhi peningkatan daya yang dihasilkan turbin karena adanya putaran dan torsi yang meningkat.



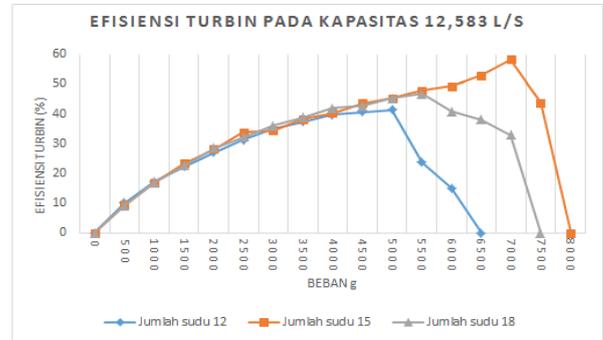
Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 11,010 L/s

Berdasarkan pada gambar 10, dapat dilihat bahwa nilai efisiensi turbin dengan jumlah sudu 15 mengalami peningkatan dibanding kapasitas sebelumnya, nilai efisiensi dari variasi jumlah sudu 15 terus meningkat hingga pembebanan 4500 gram. Hal ini disebabkan karena kapasitas aliran yang diatur lebih besar dengan nilai sebesar 11,010 L/s sehingga daya meningkat dan efisiensinya juga ikut meningkat.

Dari gambar diatas juga dapat diketahui bahwa turbin dengan variasi jumlah sudu 12 mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 3000 gram, nilai efisiensi yang dihasilkan turbin sebesar 30,21%, setelah itu daya turbin mengalami penurunan hingga berhenti pada pembebanan 4500 gram.

Pada turbin dengan variasi jumlah sudu 15, nilai efisiensi terus meningkat hingga pembebanan 4500 gram dengan efisiensi sebesar 41,71%, nilai efisiensi setelah itu menurun hingga turbin berhenti pada pembebanan 6000 gram. Selanjutnya pada turbin dengan variasi jumlah 18 nilai efisiensi turbin juga terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 3500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 37,35%, setelah itu nilai efisiensi juga menurun hingga turbin berhenti pada pembebanan 5500 gram.

Dari gambar 10, dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 15 pada turbin dan kapasitas aliran sebesar 11,010 L/s memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai 41,71% pada pembebanan 4500 gram, hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin karena nilai efisiensi berasal dari perhitungan daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikali 100 persen.



Gambar 11. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 12,583 L/s

Berdasarkan pada gambar 11, dapat dilihat bahwa nilai efisiensi turbin dengan jumlah sudu 15 mengalami peningkatan di titik maksimalnya dibanding kapasitas sebelumnya, nilai efisiensi dari variasi jumlah sudu 15 terus meningkat hingga pembebanan 7000 gram. Hal ini disebabkan karena kapasitas aliran yang diatur lebih besar dengan nilai sebesar 12,583 L/s sehingga daya meningkat dan efisiensinya juga ikut meningkat.

Berdasarkan pada gambar 11, pula dapat dibandingkan bahwa turbin dengan variasi jumlah sudu 12 terus mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 5000 gram dan nilai efisiensi sebesar 41,39%, setelah itu nilai efisiensi mengalami penurunan hingga berhenti pada pembebanan 6500 gram. Turbin dengan variasi jumlah sudu 15 juga mengalami peningkatan secara berangsur angsur nilai efisiensi hingga pembebanan 7000 gram dan nilai efisiensi sebesar 58,23%, setelah itu nilai efisiensi dari turbin ini turun hingga berhenti berputar pada pembebanan 8000 gram. Terakhir adalah variasi turbin jumlah sudu 18 yang mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 5500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 46,80%, lalu nilai efisiensi turbin juga turun hingga berhenti pada pembebanan 7500 gram.

Dari gambar tersebut disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 15 dan kapasitas 12,583 L/s memiliki nilai efisiensi tertinggi pada pembebanan 7000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 58,23%. Hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin pada kapasitas aliran yang sama karena pada dasarnya nilai efisiensi dihasilkan dari daya air dibagi dengan daya turbin lalu dikali dengan 100%.

Berdasarkan gambar 9, 10 dan 11 dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan jumlah sudu pada turbin reaksi *crossflow* poros horizontal memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Nilai efisiensi meningkat karena adanya peningkatan pembebanan

yang dilakukan saat pengujian, pembebanan menyebabkan torsi pada turbin semakin besar sehingga daya yang dihasilkan turbin pun akan semakin besar. Namun perlu diperhatikan saat pembebanan semakin besar maka gaya akan semakin besar hingga dapat menghentikan putaran turbin, sehingga saat turbin berhenti tidak menghasilkan daya dan efisiensi. Penambahan kapasitas pun tidak selamanya menghasilkan daya dan efisiensi yang tinggi, hal ini disebabkan karena luasan penampang aliran yang semakin tinggi justru menahan putaran turbin saat terkena gaya dari aliran air.

Pada gambar (9) dengan mengatur kapasitas aliran pada 8,884 L/s, variasi jumlah sudu tidak menghasilkan nilai efisiensi yang begitu besar namun efisiensi yang dihasilkan turbin cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena pada kapasitas tersebut turbin tidak terendam dan luasan area penampang aliran tidak sepenuhnya mengenai luasan sudu turbin, sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin agar berputar dan mengasilkan daya yang tinggi. Seiring penambahan kapasitas aliran yang diatur dengan membuka katup saluran balik pada skema pompa terlihat pada gambar (10) bahwa efisiensi yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan daripada kapasitas aliran sebelumnya, variasi yang diberikan pada jumlah sudu juga cenderung mengalami peningkatan terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan turbin. Kenaikan nilai efisiensi yang dihasilkan turbin juga terus terjadi pada gambar (11) penambahan kapasitas menyebabkan luas penampang aliran semakin tinggi sehingga turbin terendam hingga hampir separuh dari diameter turbin. Variasi yang dilakukan pada jumlah sudu juga mengalami peningkatan nilai efisiensi di kapasitas aliran ini, bahkan pembebanan yang diberikan agar putaran turbin berhenti hingga mencapai 8000 gram.

Dari analisis yang diberikan diatas dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 15 pada turbin reaksi *crossflow* memiliki nilai efisiensi yang paling tinggi dengan efisiensi mencapai 58,23%, dilanjutkan dengan variasi jumlah sudu 18 dan daya terendah dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 12. Ketika kapasitas aliran 12,583 L/s jumlah sudu 15 buah memiliki nilai daya yang paling tinggi dibanding dengan jumlah sudu yang lain. Hal ini dikarenakan bahwa semakin banyak jumlah sudu dan semakin tinggi kapasitas aliran berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan turbin, sedangkan penurunan daya diakibatkan dari pembebanan yang semakin meningkat sehingga dibutuhkan gaya yang lebih besar untuk menggerakkan turbin. Pada jumlah 12 terlalu jauh jarak antar sudunya dan pada jumlah sudu 18 jarak antar sudu terlalu sempit sehingga mengurangi kapasitas penampungan air yang dimiliki untuk mengubah daya air menjadi putaran.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi rasio sudu berpenampang datar terhadap daya dan efisiensi turbin reaksi *crossflow* poros horizontal maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

- Daya tertinggi diperoleh turbin dengan variasi jumlah sudu 15 yakni sebesar 3,136 Watt pada kapasitas 12,583 L/s dan memiliki ketahanan pembebanan tertinggi yakni dengan pembebanan hingga 7000 gram.
- Efisiensi turbin tertinggi diperoleh turbin dengan variasi jumlah sudu 15 dengan efisiensi sebesar 58,23% pada kapasitas 12,583 L/s.

Saran

Setelah dilakukan penelitian, pengujian, pembahasan dan analisis mengenai pengaruh variasi jumlah sudu plat datar terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

- Mengingat manfaat yang diperoleh, turbin *crossflow* poros horizontal ini harusnya dapat dikembangkan. Namun, dalam pengembangannya perlu diperhatikan pula kapasitas aliran dan lebar saluran yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afryzal, Nikira Randy. Adiwibowo, Priyo Heru. (2017) "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar"
- Arikunto. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. Jakarta : PT. Rineka Cipta.
- Haimerl, L.A. 1960. "*The Cross Flow Turbine*". Jerman Barat
- Irawan, H., & Iskendar. (2016). Analisis Pagaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air Cross Flow dengan Metode Taguchi. *Jurnal Teknik Mesin UNISKA*, Vol. 02 (1).
- Khurmi, R S., J.K. Gupta. 2005. *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Larasakti, Andi ade, dkk. 2012, Pembuatan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Banki Daya 200 Watt *Jurnal Mekanikal* Vol. 3, No, 1 Tahun 2012. Jurusan Teknik Mesin. Univesitas Hasanuddin, Makassar.
- Lexy, J Moleong. (2008). *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.

Munson, Bruce, R., Young, Donald, F., Okiishi, Theodore, H., 2006. "Fundamental of Fluid Mechanics Fifth Edition". Jhon Wiley & Sonc Inc.

Mockmore, and Merryfield (1949:13) Segitiga Percepatan Turbin *Crossflow*

Padang, Y. A., Okariawan, I. I., & Wati, M. (2014). Analisis Variasi Jumlah Sudu Beregsel Terhadap Unjuk Kerja Turbin Cross Flow Zero Head. *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 4 (1).

Pramesti, Y. S. (2018). Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik. *Jurnal Mesin Nusantara*, Vol. 1 (1): Hal. 51-59.

Pritchard, Philip J., Leylegian, Jhon C. 2011. *Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition*. Danver: Jhon Wiley & Sonc Inc.

Riduan, Mujib. Adiwibowo, Priyo Heru (2016). "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Reaksi *Crossflow* Poros Vertikal Dengan Sudu Setengah Silinder". Surabaya. Universitas Negeri Surabaya.

Rohermanto, A. (2007). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Pembangkit Listrik*, Vol.4 (1) : 28-36.

Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Tim. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

<http://cink-hydro-energy.com/id/turbin-crossflow/>
diakses pada tanggal 8 januari 2019

<https://edoc.site/makalah-crossflow-pdf-free.html>
diakses pada tanggal 8 januari 2019

