

EKSPERIMENTAL PENGARUH TIPE SUDU BERPENAMPANG L DENGAN VARIASI KEMIRINGAN SUDUT SUDU DENGAN LUBANG TERHADAP KINERJA TURBIN REAKSI ALIRAN *VORTEX*

Mahmuda Fitriana

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: mahmudafitriana@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Kebutuhan manusia dalam memenuhi kebutuhan listrik dengan menggunakan energi terbarukan maupun yang tidak terbarukan semakin banyak. Tenaga air merupakan jenis energi terbarukan yang memiliki potensi terbesar dibandingkan dengan sumber-sumber energi terbarukan lainnya. Potensi tenaga air di Indonesia mencapai 75,861 MW. *Microhydro* atau sering dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga *Microhydro* (PLTMH), pembangkit ini menghasilkan energi listrik dibawah 100 KW. Hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan aliran sungai dengan mengubahnya menjadi aliran *vortex*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari variasi sudut sudu pada sudu berpenampang L pada turbin reaksi aliran *vortex*. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan analisis data kualitatif deskriptif dengan memvariasikan kemiringan sudut sudu dengan lubang berpenampang L sebesar 10° , 20° , 30° , dan sudut lurus 0° , dimensi sudu L yaitu panjang sudu 150 mm, tebal sudu 2 mm, lebar sudu 90 mm dengan pembebanan 5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg, 25 kg, 30 kg, 35 kg, 40 kg, 45kg, dan 50 kg sampai berhenti debit aliran yang digunakan yaitu 8,069 L/s, 9,413 L/s, 10,803 L/s, dan 12,341 L/s untuk mendapatkan daya dan efisiensi. Hasil penelitian didapatkan kemiringan sudut sudu turbin paling optimal sebesar 10° pada kapasitas 10,803 L/s menghasilkan daya sebesar 34,172 Watt pada pembebanan 30 kg. Efisiensi tertinggi didapatkan pada kemiringan sudut sudu 10° dengan kapasitas 10,803 L/s menghasilkan efisiensi sebesar 45,41% pada pembebanan 25 kg. Variasi kemiringan sudut sudu dengan lubang antara sudu dan poros turbin berpengaruh terhadap kenaikan daya pada turbin reaksi *vortex*. Hal ini disebabkan karena arah jatuh aliran yang mengenai sudut sudu mendekati sudut tegak lurus sehingga rpm dan torsi yang dihasilkan lebih tinggi dari pada turbin dengan kemiringan sudut sudu lainnya.

Kata kunci: Turbin *Vortex*, Sudu berpenampang L, Kemiringan Sudut Sudu

Abstract

Human needs in meeting electricity needs by using renewable and non-renewable energy are increasing. Hydropower is a type of renewable energy that has the greatest potential compared to other renewable energy sources. This becomes a reference for utilizing river flow by converting it to vortex flow. The purpose of this study was to determine the effect of blade angle variations on the L-section blade on the vortex flow reaction turbine. This study used an experimental method with descriptive qualitative data analysis by varying the angle of the blade angle with the L-section hole at 10° , 20° , 30° and a straight angle of 0° , blade dimension L is blade length 150 mm, blade thickness 2 mm, blade width 90 mm with loading 5 kg, 10 kg, 15 kg, 20 kg, 25 kg, 30 kg, 35 kg, 40 kg, 45 kg, and 50 kg flow discharge used is 8,069 L / s, 9,413 L / s, 10,803 L / s, and 12,341 L / s to obtain power and efficiency. The results of the study found the most optimal turbine blade angle of 10° with 125 mm^2 hole area at a capacity of 10,803 L / s produces a power of 34,172 Watt at a loading of 30 kg. The highest efficiency is obtained at a slope angle of 10° with a capacity of 10,803 L / s resulting in an efficiency of 45,41% at 25 kg loading. The variation of the blade angle with the hole between the blade and the turbine shaft affects the increase in power in the vortex reaction turbine. This is because the direction of flow fall on the blade angle approaches the perpendicular angle so that the rpm and torque produced are higher than turbines with other blade angles.

Keywords: *Vortex Turbine, L-shaped Blades, Angle of Slope*

PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik di zaman sekarang ini semakin banyak, dengan adanya alat-alat rumah tangga yang berbasis elektronik. Manusia dalam memenuhi kebutuhan listrik dengan menggunakan energi terbarukan maupun yang tidak terbarukan, namun manusia jaman sekarang juga sangat pintar

memanfaatkan energi dari alam yang bisa disebut dengan energi terbarukan seperti angin, air, matahari, panas bumi, biofuel dan lain-lain. Kebutuhan energi yang semakin banyak berbanding terbalik dengan ketersediaan energi dari bahan bakar fosil yang terus berkurang. Menurut Blueprint Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi

dan sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun. Apabila tidak dilakukanantisipasi lebih lanjut Indonesia akan mengalami krisis energi yang berkepanjangan. Maka dari itu untuk mengatasi dan mengantisipasi masalah krisis energi bisa memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbarui.

Menurut data Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (ESDM) pada tahun 2011 Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) lebih dari 158,288 MW. Sedangkan Tenaga air merupakan jenis energi terbarukan yang memiliki potensi terbesar dibandingkan dengan sumber –sumber energy terbarukan lainnya. Potensi tenaga air di Indonesia mencapai 75,861 MW. Tenaga air yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dapat digolongkan menjadi dua, yaitu pembangkit listrik tenaga air dan pembangkit listrik tenaga mikro hidro.

Pembangkit listrik tenaga air menjadi salah satu pilihan dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan. Namun pemanfaatan yang ada masih menggunakan teknologi yang sederhana. Pembangkit listrik jenis ini dalam proses pembuatannya sangat ekonomis namun masih dalam skala kecil. Jenis pembangkit listrik tenaga air ini disebut *Microhydro* atau sering dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga *Microhydro* (PLTMH). Pembangkit ini menghasilkan energi listrik dibawah 100 KW. *Mikrohydro* yang dibuat biasanya memanfaatkan air terjun dengan *head* jatuh yang besar. Sedangkan untuk aliran sungai dengan *head* jatuh yang kecil belum termanfaatkan dengan optimal. Hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan aliran sungai dengan mengubahnya menjadi aliran *vortex* yang dikenal juga sebagai aliran *pulsating* atau pusaran dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak yang juga sering disebut turbin *vortex*.

Penelitian Elbatran, A.H. dkk. (2015) dalam penelitian yang berjudul “*Hydro Power and Turbine Systems Reviews*”, menjelaskan bahwa energi terbarukan yang paling efisien pengalaman dalam satu abad ini yaitu pembangkit listrik tenaga air yang terdiri dari teknologi bendungan, aliran sungai, penyimpanan yang dipompa, tenaga aliran, dan tenaga baru *vortex* gravitasi.

Penelitian juga dilakukan oleh Afryzal, Nikita Randy dan Adiwowo, Priyo Heru (2017) dalam penelitian yang berjudul “Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar”, menyatakan bahwa daya turbin terbesar menggunakan turbin dengan 8 sudu pada beban 25000 gram dengan kapasitas air sebesar 8,89 L/s diperoleh daya turbin sebesar 21,84 watt. Efisiensi yang turbin terbesar menggunakan turbin

dengan 8 sudu pada beban 20000 gram dengan kapasitas air sebesar 6,94 L/s diperoleh efisiensi turbin sebesar 44,3%.

Penelitian yang dilakukan oleh Soelaiman dkk. (2007) dalam penelitian yang berjudul “Perancangan, Pembuatan Dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor Savonius Dan Windside Untuk Penerangan Jalan Tol”, menyatakan bahwa rotor savonius tipe L memiliki torsi dan karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan rotor savonius tipe U.

Penelitian yang dilakukan oleh Ardiansyah, Mohamad Andrian dan Adiwibowo, Priyo Heru (2017) dalam penelitian yang berjudul “Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang L Dengan Variasi Sudut Pada Ujung Sudu”, menyatakan bahwa daya tertinggi terletak pada turbin reaksi dengan besar sudut 60° yaitu 28,31 Watt dan efisiensi 57,521% pada pembebanan 15000g dan kapasitas aliran 8,8992 L/s

Penelitian juga dilakukan oleh Prabowo, Boy Ilham dan Adiwibowo, Priyo Heru (2018) dalam penelitian yang berjudul “Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Berpenampang L Dengan Variasi Panjang Sisi Lurus Pada Ujung Sudu”, daya tertinggi yang dihasilkan turbin reaksi terdapat pada turbin dengan panjang ujung sudu 5 cm pada kapasitas 13,4434 L/s yaitu 35,65 Watt pada pembebanan 35000 gram. Sedangkan efisiensi tertinggi yang dihasilkan terdapat pada turbin dengan panjang ujung sudu 5 cm juga pada kapasitas 9,3092 L/s yaitu 48,47% pada pembebanan 25000 gram. Menurutnya semakin panjang ujung sudu maka daya dan efisiensi yang dihasilkan juga meningkat sampai dimana panjang ujung sudu paling optimal adalah 5 cm dan setelah itu daya dan efisiensi mengalami penurunan.

Penelitian yang dilakukan juga oleh Aripasetya, Sena dan Adiwibowo, Priyo Heru (2018) dalam penelitian yang berjudul “Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran *Vortex*”. Hasil dari penelitian ini sudut sudu turbin yang optimal yaitu kemiringan sudut sudu 22,5° dengan kapasitas 13,4434 L/s dengan daya yang didapatkan 51,03 Watt pada pembebanan 5000 gram. Sedangkan efisiensi tertinggi dengan kemiringan sudut sudu 22,5° yang terdapat pada kapasitas 7,9987 L/s yaitu 64,58% pada pembebanan 25000 g.

Penelitian yang telah dilakukan mendapatkan hasil kinerja turbin *vortex* yang sudah optimal pada penelitian sebelumnya tentang panjang ujung sudu L dan kemiringan sudut sudu pada plat datar. Sehingga penulis melakukan pengkajian penelitian untuk mengoptimalkan daya dan efisiensi pada turbin reaksi aliran *vortex* terhadap kinerja turbin dengan memvariasikan kemiringan sudut sudu dengan lubang pada sudu berpenampang L.

METODE

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 2011). Variabel bebas dalam penelitian ini:

- Variasi kemiringan sudut sudu turbin dengan lubang: 0° , 10° , 20° , dan 30° .



Gambar 1. Turbin

Variabel Terikat

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

- Daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin reaksi.
- Kapasitas air sebesar, 8,069 L/s, 9,413 L/s, 10,803 L/s, 12,341 L/s.
- Pembebanan; 5000 g, 10000 g, 15000 g, 20000 g, 25000 g, 30000 g, 35000 g, 40000 g, 45000 g, 50000 g hingga turbin berhenti berputar.

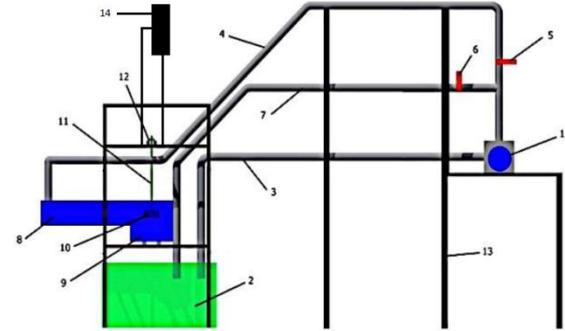
Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan agar pengaruh variabel bebas ke variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor lain. Dalam penelitian ini variabel yang di kontrol meliputi:

- *Fluida* kerja adalah air.
- Turbin yang digunakan adalah turbin dengan jumlah sudu 8 dan diameter 27 cm.
- Diameter *basin* yang digunakan 56 cm.
- Tinggi *basin* 70 cm.
- Diameter *outlet basin* adalah 9 cm.
- Material sudu dan *basin* dibuat dari plat besi dengan tebal 2 mm.
- Turbin diletakkan pada jarak 3 cm dari *outlet basin*.
- Menggunakan sudu pengarah inlet notch dengan sudut $17,82^\circ$.
- Menggunakan *basin* cone dengan sudut 67° .

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:



Gambar 2. Desain Instalasi Alat Uji

Keterangan:

1. Pompa air
2. *Reservoir* air
3. Instalasi pipa sisi *suction*
4. Saluran pipa sisi *discharge*
5. Katup pengaturan kapasitas
6. Katup *bypass*
7. Saluran *bypass*
8. Inlet *basin*
9. *Basin*
10. Turbin
11. Poros turbin
12. *Bearing*
13. Rangka
14. Neraca

Teknik Pengambilan Data

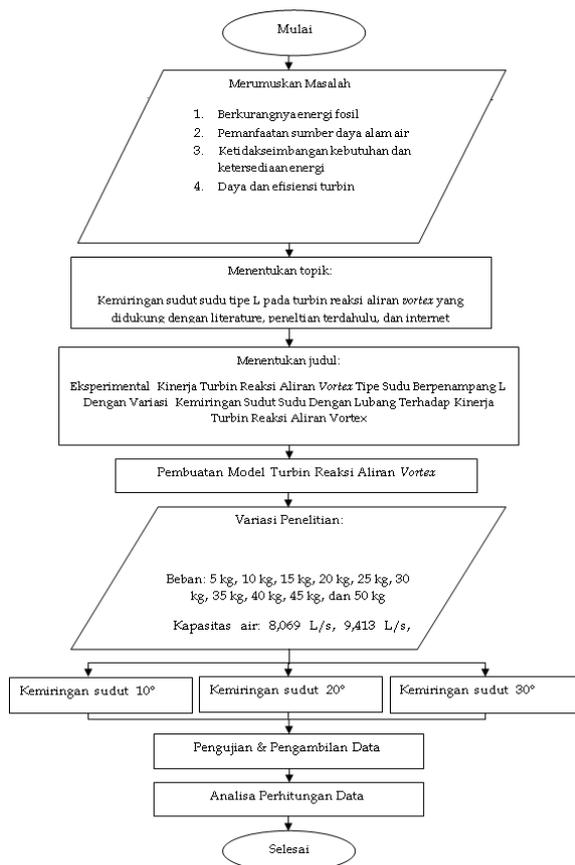
Teknik pengambilan data ini yaitu menggunakan teknik eksperimen dimana dengan menguji dan mengukur objek yang sedang diteliti menggunakan alat ukur yang sesuai, kemudian dicatat semua data yang diperoleh. Data-data tersebut kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai daya dan efisiensi dari masing-masing variasi tinggi sudu turbin, kemudian mencatat hasil yang didapat dalam bentuk tabel.

Teknik Analisa Data

Penelitian ini termasuk penelitian eksperimen yang menggunakan metode analisis data deskriptif kualitatif yang untuk membuat deskripsi, gambaran sistematis, dan hubungan antara fenomena yang diperoleh selama pengujian.

Analisis pada penelitian ini yaitu, melakukan pengambilan data dari alat ukur kemudian hasil yang telah dihasilkan dari perhitungan secara teoritis dimasukkan kedalam tabel dan grafik sehingga hasil yang didapatkan bisa mudah dipahami. Proses yang dianalisis berguna untuk mengetahui kinerja pada masing-masing variasi tinggi sudu turbin.

Flowchart Penelitian



Gambar 3. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada bab ini akan membahas dan menyajikan hasil penelitian dari pengaruh variasi tinggi sudu pada turbin dengan sudu tipe berpenampang lurus terhadap daya dan efisiensi turbin reaksi aliran vortex. Data diperoleh dari proses pengujian kemudian dicatat yang berupa angka pada tabel yang telah dibuat untuk mendapatkan dan mengetahui hasil performa turbin dari tiap variasi. Hasil penelitian akan disajikan berupa grafik dan tabel.

Variasi kemiringan sudut sudu 0° , 10° , 20° , dan 30° . Dengan pembebanan sebesar 5000 g, 10000 g, 15000 g, 20000 g, 25000 g, 30000 g, 35000 g, 40000 g, 45000 g, dan 50000 g, sampai turbin berhenti berputar dan variasi kapasitas air yang di gunakan sebesar 8,069 L/s, 9,413 L/s, 10,803 L/s, dan 12,341 L/s.

Nilai yang diperoleh dari pengujian berupa beban pada neraca, putaran poros, dan tinggi vortex yang kemudian diolah untuk mendapatkan nilai daya air, torsi, daya turbin, dan efisiensi turbin. Untuk variasi pembebanan yang dilakukan tiap kapasitas air dilakukan dengan menambahkan kelipatan 5000 g dan dilakukan penambahan sebesar 1000 g sebelum turbin berhenti. Ada beberapa proses perhitungan untuk memperoleh hasil data, yaitu:

- 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 (m^3/s)

Cd = Coefficient of Discharge

θ = Sudut pada V-notch weir ($^\circ$)

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

H = Tinggi ambang (m)

Dimana:

Cd = Coefficient of Triangle Weir

H = Tinggi air pada V-notch = 16 cm = 0,16 m

θ = Sudut pada V-notch weir = 60°

- Menghitung Daya Air yang Mengalir (Pa)

Daya air dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan:

$$Pa = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_v \quad (\text{Fox et al., 2012:504})$$

Keterangan:

Pa = Daya air (Watt)

Q = Debit air (m^3/s)

ρ = Massa jenis Fluida (kg/m^3)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

H_v = Tinggi vortex (m)

- Menghitung Torsi Turbin (T)

Torsi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

$$F = (m_{\text{beban}} - m_{\text{neraca}}) \cdot g \quad (\text{Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10})$$

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 ($9,81 \text{ m/s}^2$)

- Menghitung Daya Turbin (Pt)

Daya turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

Keterangan:

Pt = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

- Menghitung Efisiensi Turbin (η)

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Keterangan:

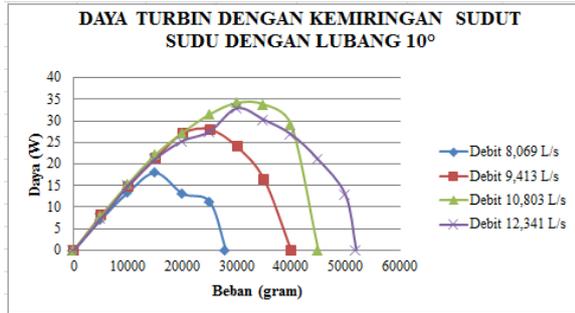
η = Efisiensi turbin

P_t = Daya turbin (Watt)

P_a = Daya air (Watt)

Pembahasan

Pengaruh Variasi Kapasitas Air Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin pada Turbin dengan Kemiringan Sudut Sudu 10° .



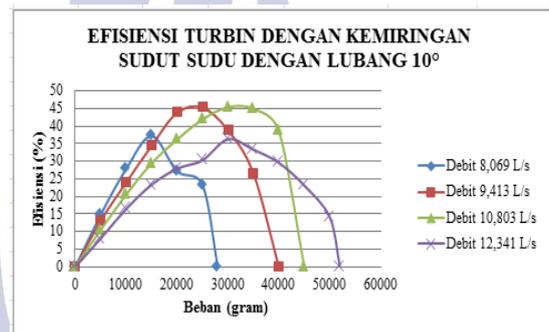
Gambar 4. Grafik Daya Turbin dengan Kemiringan Sudut Sudu 10°

Berdasarkan gambar 8, turbin reaksi aliran *vortex* tipe sudu berpenampang L dengan kemiringan sudut sudu 10° menghasilkan daya yang semakin meningkat sebanding dengan bertambahnya kapasitas aliran air yang mengalir. Seperti yang terlihat pada gambar, bahwa pada kapasitas 8,069 L/s, daya yang dihasilkan mulai dari pembebanan 5000 g terus meningkat hingga mencapai daya paling tinggi pada pembebanan 15000 g yaitu sebesar 17,961 Watt. Kemudian daya cenderung turun setelah dikasih pembebanan diatas 15000 g dan akhirnya turbin berhenti total pada pembebanan diatas 15000 g. Pada kapasitas 9,413 L/s daya tertinggi yang dihasilkan meningkat hingga pada pembebanan 25000 g yaitu 28,020 Watt dan setelah itu mengalami penurunan daya dan turbin berhenti pada pembebanan 40000 g. Pada kapasitas 10,803 L/s daya mengalami kenaikan yang signifikan dibanding kapasitas 8,069 L/s dan 9,413 L/s yaitu sebesar 34,172 Watt pada pembebanan 30000 g dan kembali turun setelah diberi pembebanan diatas 30000 g sampai akhirnya turbin berhenti pada pembebanan 45000 g. Pada kapasitas terakhir yaitu 12,341 L/s turbin mengalami penurunan daya dibanding kapasitas 10,803 L/s yaitu daya tertinggi yang dihasilkan 32,951 Watt pada pembebanan 30000 g juga, setelah dikasih pembebanan diatas 30000 g daya turun kembali hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 52000 g. Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya kapasitas air yang menerpa sudu turbin makin banyak sehingga rpm turbin ikut meningkat dan tahan terhadap pembebanan tinggi, tetapi terlalu banyak kapasitas aliran air juga mempengaruhi daya turbin karena dengan adanya lubang antara poros dan sudu turbin yang miring ketinggian *vortex* menurun sehingga aliran yang terjadi pada basin tidak membentuk aliran *vortex* kuat dan titik pusat *vortex* berada menjauhi dari titik pusat turbin.

Dari beberapa variasi kapasitas yang diberikan pada turbin reaksi aliran *vortex* tipe sudu berpenampang L dengan kemiringan sudut sudu 10° , daya tertinggi yang dihasilkan yaitu pada kapasitas

10,803 L/s yaitu 34,172 Watt pada pembebanan 30000 g dengan rpm sebesar 142.

Berdasarkan gambar 8., juga terlihat bahwa dari beberapa variasi kapasitas aliran air pada turbin reaksi aliran *vortex* bentuk grafik yang dihasilkan menunjukkan hasil yang sama yaitu dimana daya akan terus meningkat sampai titik maksimum dan setelah itu daya mengalami penurunan. Seperti halnya turbin dengan kapasitas 10,803 L/s, mulai dari pembebanan 5000 g menghasilkan daya yang terus meningkat sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 34,172 Watt dan setelah dikasih pembebanan diatas 30000 g daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti total pada beban 45000 g. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi pembebanan maka torsi meningkat sehingga daya turbin yang dihasilkan juga ikut meningkat, tetapi ada saatnya daya akan menurun meskipun torsi terus meningkat karena perbandingan antara torsi dan rpm yang dihasilkan tidak sebanding. Jika melihat rumus selain parameter torsi dan parameter rpm yang sangat mempengaruhi daya turbin adalah perkalian antara torsi dengan kecepatan *angular*, sedangkan kecepatan *angular* ini dipengaruhi oleh rpm turbin.



Gambar 5. Grafik Efisiensi Turbin dengan kemiringan sudut sudu dengan lubang 10°

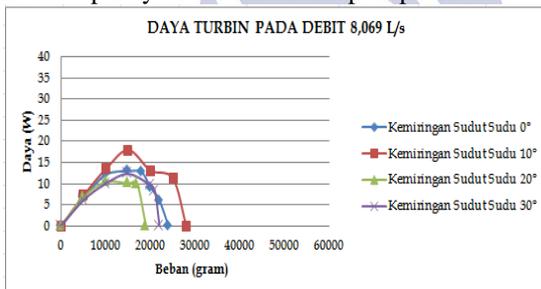
Berdasarkan gambar 5, turbin reaksi aliran *vortex* tipe sudu berpenampang L dengan kemiringan sudut sudu 10° menghasilkan efisiensi yang berbanding terbalik dengan kapasitas aliran air yang mengalir. Jadi dengan bertambahnya kapasitas aliran maka efisiensi turbin yang dihasilkan cenderung turun. Hal itu disebabkan karena dengan bertambahnya kapasitas aliran maka ketinggian *vortex* makin meningkat dan daya air ikut meningkat, namun daya turbin tetap sehingga efisiensi yang dihasilkan menurun. Karena efisiensi dihitung dengan perbandingan dari daya turbin dengan daya air. Tetapi tidak semua setiap penambahan kapasitas efisiensi menurun. Seperti yang terlihat pada kapasitas terendah 8,069 L/s, efisiensi yang dihasilkan lebih rendah jika dibandingkan dengan efisiensi pada semua kapasitas. Efisiensi tertinggi pada pada kapasitas ini hanya sebesar 37,197% pada pembebanan 15000 g. Karena pada kapasitas terendah ini aliran air belum mampu mendorong turbin untuk menghasilkan rpm yang tinggi, yang disebabkan karena turbin terlalu berat. Pada kapasitas 9,413 L/s efisiensi yang dihasilkan yang

tertinggi yaitu 45.284% pada pembebanan 25000 g. Pada kapasitas 10,803 L/s efisiensi yang dihasilkan mengalami kenaikan lagi yaitu 45,413% pada pembebanan 30000 g. Dan setelah itu efisiensi menurun kembali pada kapasitas 12,341 L/s yaitu 36,290% pada pembebanan 30000 g.

Dari beberapa variasi kapasitas yang diberikan pada turbin reaksi aliran *vortex* tipe sudu berpenampang L dengan kemiringan sudut sudu 10°, efisiensi tertinggi yang dihasilkan berada pada kapasitas 10,803 L/s yaitu 45,413% pada pembebanan 30000 g dengan rpm 145,33.

Berdasarkan gambar 5, terlihat bahwa grafik efisiensi yang terbentuk seperti halnya yang terjadi pada grafik daya turbin yaitu efisiensi akan mengalami kenaikan mulai dari beban 5000 g sampai titik dimana efisiensi paling maksimal pada pembebanan tertentu dan selanjutnya akan mengalami penurunan efisiensi jika dilakukan penambahan beban lagi. Hal ini disebabkan karena daya turbin juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi, jika berdasarkan rumus untuk mencari efisiensi adalah perbandingan antara daya turbin dengan daya air dan dikali seratus.

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

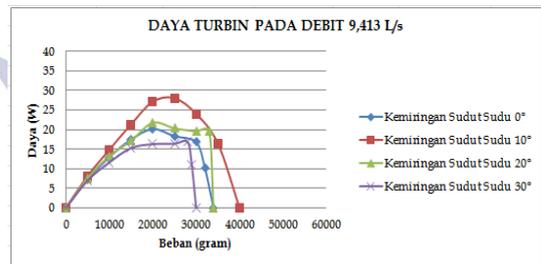


Gambar 6. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 8,069 L/s

Pada gambar 6. menunjukkan bahwa pada kapasitas 8,069 L/s turbin dengan kemiringan sudut 10° daya yang dihasilkan meningkat dari beban 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu sebesar 17,961 Watt. Setelah itu daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada beban 28000 g. Pada turbin kemiringan sudut 20° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan 10000 g yaitu sebesar 10,382 Watt dan setelah itu mengalami penurunan dan berhenti pada beban 19000 g. Pada turbin kemiringan 30° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu sebesar 12,293 Watt dan setelah itu mengalami penurunan daya turbin dan sampai berhenti pada beban 22000 g.

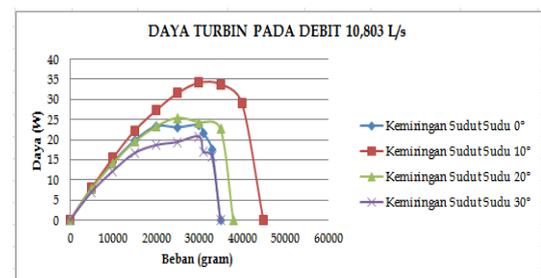
Pada kapasitas 8,069 L/s turbin dengan kemiringan sudut 0° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu sebesar 12,909 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 24000 g. Pada turbin kemiringan sudut

10° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu 17,961 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 15000 g dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 28000 g. Daya yang dihasilkan oleh turbin L dengan kemiringan sudut sudu 10° lebih tinggi dari pada daya yang dihasilkan pada turbin L lurus 0°. Hal ini karena arah jatuh aliran yang mengenai sudut sudu mendekati sudut tegak lurus sehingga rpm yang dihasilkan pada turbin kemiringan 10° lebih tinggi dan tahan pada pembebanan yang tinggi sehingga torsi yang dihasilkan juga tinggi. Sedangkan pada turbin lurus 0° rpm yang dihasilkan lebih rendah dan tidak tahan pada pembebanan tinggi.



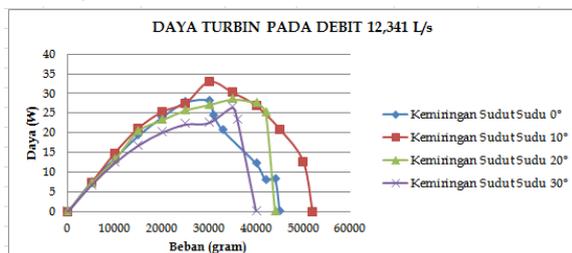
Gambar 7. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 9,413 L/s

Berdasarkan gambar 7. bahwa pada kapasitas 9,413 L/s turbin dengan kemiringan 10° daya yang dihasilkan meningkat dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 28,020 Watt. Setelah itu daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada beban 40000 g. Sedangkan pada beban yang sama diikuti oleh turbin kemiringan sudut sudu 20° yang hanya mampu menghasilkan daya sebesar 20,318 Watt, dan yang terakhir menghasilkan menghasilkan daya yang paling rendah adalah turbin dengan kemiringan sudut sudu 30° yaitu sebesar 16,392 Watt. Pada kapasitas 9,413 L/s turbin dengan kemiringan sudut 0° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 20000 g yaitu sebesar 20,139 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 34000 g. Daya yang dihasilkan oleh turbin L dengan kemiringan sudut sudu 10° lebih tinggi dari pada daya yang dihasilkan pada turbin L lurus 0°.



Gambar 8. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 10,803 L/s

Berdasarkan gambar 8. bahwa pada kapasitas 10,803 L/s turbin dengan kemiringan 10° daya yang dihasilkan meningkat dari beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 34,172 Watt. Setelah itu daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada beban 45000 g. Pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 20° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 25,431 watt dan setelah itu mengalami penurunan daya sampai turbin berhenti pada beban 38000 g. Pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 30° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 20,822 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 35000 g. Dari beberapa variasi kemiringan sudut sudu pada turbin reaksi aliran *vortex* dengan kapasitas 10,803 L/s menghasilkan daya yang paling tinggi sebesar 34,172 Watt pada kemiringan 10° dengan beban 30000 g. Sedangkan pada beban yang sama diikuti oleh turbin 20° yang hanya mampu menghasilkan daya sebesar 24,325 Watt, dan yang terakhir yang menghasilkan daya 20,822 Watt yaitu turbin 30° . Pada kapasitas 10,803 L/s turbin dengan kemiringan sudut sudu 0° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 23,713 Watt dan setelah itu mengalami penurunan daya sampai turbin berhenti pada beban 35000 g.



Gambar 9. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 12,341 L/s

Berdasarkan gambar 9. bahwa pada kapasitas 12,341 L/s turbin dengan kemiringan 10° daya yang dihasilkan meningkat dari beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 32,951 Watt. Setelah itu daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada beban 52000 g. Hal ini disebabkan karena daya dihasilkan dari perkalian torsi dan kecepatan *angular*, sedangkan torsi berasal dari perkalian gaya dan jari-jari turbin sedangkan gaya dihasilkan dari perkalian antara massa (massa beban dikurangi massa neraca) dan percepatan gravitasi. Rpm yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh pembebanan, semakin bertambah beban yang diberikan maka Rpm yang dihasilkan semakin kecil sehingga kecepatan *angular* juga semakin kecil. Pada beban 5000 g torsi yang dihasilkan kecil dan kecepatan *angular* yang tinggi tetapi daya yang dihasilkan masih rendah. Setelah ditambah pembebanan hingga 30000 g. daya turbin yang

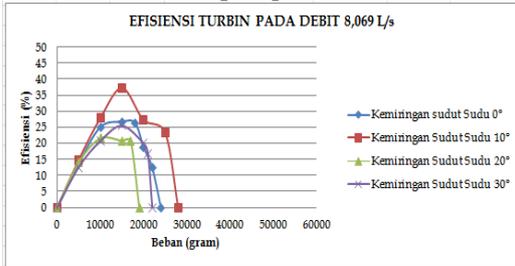
dihasilkan semakin meningkat, karena torsi yang dihasilkan bertambah besar dan kecepatan *angular* yang dihasilkan tinggi.

Seperti yang terlihat pada gambar 9, bahwa pada turbin dengan kemiringan 10° menghasilkan daya yang terus meningkat mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 32,951 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 52000 g. Pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 20° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 35000 g yaitu sebesar 28,427 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 44000 g. Pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 30° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 35000 g yaitu sebesar 26,409 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 40000 g. Dari beberapa variasi kemiringan sudut sudu pada turbin reaksi aliran *vortex* dengan kapasitas 12,341 L/s menghasilkan daya yang paling tinggi sebesar 32,951 Watt pada kemiringan sudut sudu dengan beban 30000 g. Sedangkan pada beban yang sama diikuti oleh turbin kemiringan 20° yang hanya menghasilkan daya sebesar 27,049 Watt, dan terakhir yang menghasilkan daya rendah adalah turbin kemiringan 30° yaitu sebesar 22,539 Watt. Hal ini disebabkan karena turbin dengan kemiringan sudut sudu 10° , aliran yang menerpa sudu tidak mudah lepas karena lubang diantara poros dan sudu sangat kecil dan dapat menampung air lebih banyak sehingga aliran air yang menerpa sudu bisa dimanfaatkan dengan optimal untuk memutar turbin dan dapat menghasilkan rpm dan torsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis turbin lainnya. Tetapi ini tidak berlaku pada turbin 30° karena rpm dan torsi yang dihasilkan turbin ini lebih rendah jika dibandingkan dari semua jenis turbin sehingga menghasilkan daya paling rendah, yang bisa disebabkan karena berat turbin itu sendiri dan lubang antara poros dan sudu terlalu lebar sehingga aliran air banyak yang lolos, tidak optimal untuk memutar sudu. Karena jika berdasarkan rumus parameter yang sangat berpengaruh terhadap daya turbin adalah rpm dan torsi, mengingat daya turbin dihasilkan dari perkalian antara torsi dengan kecepatan *angular* poros turbin.

Pada kapasitas 12,341 L/s turbin dengan kemiringan sudut sudu 0° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 28,131 Watt dan setelah itu mengalami penurunan daya sampai akhirnya turbin berhenti pada beban 45000 g. Pada turbin dengan kemiringan 10° menghasilkan daya yang terus meningkat mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 32,951 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 52000 g. Daya yang dihasilkan oleh turbin L dengan kemiringan sudut sudu 10° lebih tinggi dari pada daya yang

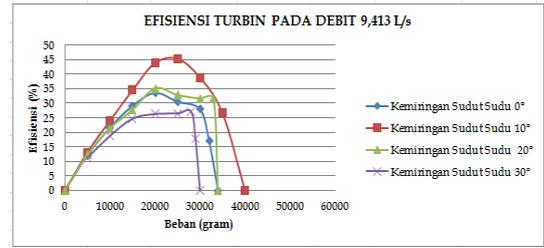
dihasilkan pada turbin L lurus 0°. Hal ini karena arah jatuh aliran yang mengenai sudut sudu mendekati sudut tegak lurus sehingga rpm yang dihasilkan pada turbin kemiringan 10° lebih tinggi dan tahan pada pembebanan yang tinggi sehingga torsi yang dihasilkan juga tinggi. Sedangkan pada turbin lurus 0° rpm yang dihasilkan lebih rendah dan tidak tahan pada pembebanan tinggi.

• Pengaruh Variasi Tinggi Sudu Turbin Terhadap Efisiensi Turbin Pada Tiap Kapasitas.



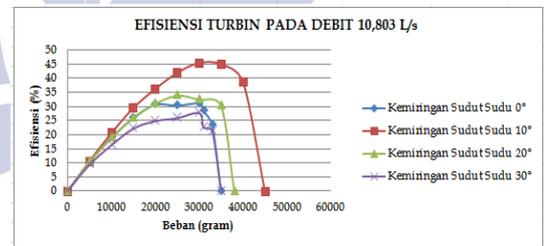
Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 8,069 L/s

Berdasarkan gambar 10, terlihat pada kapasitas 8,069 L/s turbin dengan kemiringan sudut 10° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu 37,197% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan dengan penambahan beban di atas 15000 g dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 28000 g. Pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 10° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu 37,197% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan dengan penambahan beban di atas 15000 g dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 28000 g. Pada turbin kemiringan sudut 20° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan 10000 g yaitu sebesar 21,502% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan dan berhenti pada beban 19000 g. Pada turbin kemiringan 30° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu sebesar 25,459% dan setelah itu mengalami penurunan efisiensi turbin dan sampai berhenti pada beban 22000 g. Pada kapasitas 8,069 L/s turbin dengan kemiringan sudut sudu 0° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu sebesar 26,734% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 24000 g.



Gambar 11. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 9,413 L/s

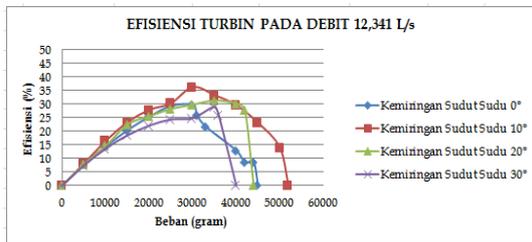
Seperti terlihat pada gambar 11. bahwa pada kapasitas 9,413 L/s turbin kemiringan 10° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 45,284% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 40000 g. Pada turbin dengan kemiringan 20° juga mengalami peningkatan efisiensi mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 20000 g yaitu sebesar 35,109% dan setelah itu mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 34000 g. Pada turbin dengan kemiringan 30° efisiensi terus meningkat pada beban 28000 g yaitu sebesar 27,189%, setelah itu efisiensi turbin mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 30000 g. Pada turbin dengan kemiringan 0° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 20000 g yaitu sebesar 33,550%, setelah itu efisiensi turbin mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 34000 g.



Gambar 12. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 10,803 L/s

Berdasarkan gambar 12. terlihat bahwa pada kapasitas 10,803 L/s pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 10° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat mulai beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 45,413% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 45000 g. Pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 20° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 33,791% dan setelah itu mengalami penurunan efisiensi sampai turbin berhenti pada beban 38000 g. Pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 30° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 27,672% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 35000 g. Pada

kemiringan sudut sudu 0° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 31,076% dan setelah itu mengalami penurunan daya sampai turbin berhenti pada beban 35000 g.



Gambar 17. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 12,341 L/s

Berdasarkan gambar 17 terlihat bahwa pada kapasitas 12,341 L/s pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 10° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat mulai beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 36,290% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 52000 g. Pada kapasitas ini mampu menghasilkan rpm tinggi pada turbin yang memiliki kemiringan sudut yang kecil, terbukti seperti yang ditunjukkan oleh gambar bahwa semakin kecil derajat sudut kemiringan efisiensi yang dihasilkan cenderung meningkat. Pada kapasitas ini turbin yang bisa memanfaatkan aliran air dengan sempurna dan menghasilkan efisiensi paling tinggi adalah turbin dengan kemiringan sudut sudu 10° , dan tahan terhadap pada pembebanan tinggi. Hal ini disebabkan karena daya turbin yang dihasilkan oleh turbin 10° lebih tinggi sehingga efisiensi yang dihasilkan juga tinggi. Sedangkan hubungan antara pembebanan dengan efisiensi seperti yang ditunjukkan oleh gambar adalah jika melihat rumus semakin tinggi pembebanan maka torsiya ikut meningkat, sehingga daya turbin yang dihasilkan juga meningkat, tetapi harus diikuti oleh rpm yang tinggi pula, dan ada saatnya meskipun torsi tinggi daya turbin menjadi rendah karena rpm yang dihasilkan rendah. Jadi jika daya turbin meningkat maka efisiensi juga ikut meningkat, mengingat bahwa untuk mencari efisiensi adalah daya turbin dibagi dengan daya air dan dikali seratus.

Seperti yang terlihat pada gambar 17, bahwa pada kapasitas 12,341 L/s turbin dengan kemiringan sudut sudu 10° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat mulai beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 36,290% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 52000 g. Pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 20° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 35000 g yaitu sebesar 31,308% dan setelah itu mengalami penurunan efisiensi sampai turbin berhenti pada beban 44000 g. Pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 30° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai beban 5000 g

sampai dengan beban 35000 g yaitu sebesar 29,086% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 40000 g. Dari beberapa variasi kemiringan sudut sudu pada turbin reaksi aliran *vortex* dengan kapasitas 12,341 L/s menghasilkan efisiensi yang paling tinggi sebesar 36,290% pada kemiringan sudut sudu 10° dengan beban 30000 g. Sedangkan pada beban yang sama diikuti oleh turbin 20° yang hanya mampu menghasilkan efisiensi sebesar 29,086%, dan yang terakhir efisiensi paling rendah adalah turbin 30° yaitu sebesar 24,823%. Hal ini disebabkan karena daya turbin yang dihasilkan oleh turbin 10° lebih tinggi sehingga efisiensi yang dihasilkan juga tinggi. Pada turbin 20° dan 30° efisiensi yang dihasilkan lebih rendah karena daya yang dihasilkan lebih rendah yang disebabkan adanya lubang diantara poros turbin dan sudu terlalu lebar sehingga air cenderung lolos dan kurang menghantam sudu.

Seperti yang terlihat pada gambar 17, bahwa pada kapasitas 12,341 L/s turbin dengan kemiringan sudut sudu 0° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 29,79% dan setelah itu mengalami penurunan daya sampai turbin berhenti pada beban 45000 g. pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 10° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat mulai beban 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 36,290% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 52000 g. Efisiensi yang dihasilkan oleh turbin kemiringan sudut 10° lebih tinggi karena daya yang dihasilkan juga tinggi disebabkan oleh arah jatuh aliran yang mengenai sudut sudu mendekati sudut tegak lurus sehingga rpm yang dihasilkan tinggi dan tahan pada pembebanan tinggi. Sedangkan pada turbin lurus 0° daya yang dihasilkan lebih rendah karena rpm yang dihasilkan lebih rendah dan tidak tahan pada pembebanan tinggi.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi kemiringan sudut sudu dengan lubang terhadap kinerja turbin reaksi aliran *vortex*, maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

- Daya tertinggi yang dihasilkan turbin reaksi aliran *vortex* terdapat pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 10° pada kapasitas 10,803 L/s yaitu 34,172607 Watt pada pembebanan 30000 g, diikuti oleh turbin 20° pada kapasitas 12,341 L/s dengan daya sebesar 28,427431 Watt pada pembebanan 35000 g, kemudian turbin 0° pada kapasitas 12,341 L/s dengan daya sebesar 28,131034 Watt pada pembebanan 30000 g, dan yang terakhir yang menghasilkan daya paling rendah yaitu turbin 30° pada kapasitas 12,341 L/s yang hanya menghasilkan daya sebesar 26,409808 Watt pada pembebanan 35000 g.

- Efisiensi tertinggi yang dihasilkan turbin reaksi aliran *vortex* terdapat pada turbin dengan kemiringan sudut sudu 10° pada kapasitas 10,803 L/s yaitu 45,41% pada pembebanan 30000 g, diikuti oleh turbin 20° pada kapasitas 12,341 L/s dengan efisiensi sebesar 31,30% pada pembebanan 35000 g, kemudian turbin 0° pada kapasitas 12,341 L/s dengan efisiensi sebesar 29,79% pada pembebanan 30000 g, dan yang terakhir yang menghasilkan efisiensi paling rendah yaitu turbin 30° pada kapasitas 12,34 L/s yang hanya menghasilkan efisiensi sebesar 29,08% pada pembebanan 35000 g.

Saran

Setelah dilakukan penelitian, pengujian, pembahasan, analisis tentang pengaruh variasi kemiringan sudut sudu turbin reaksi aliran *vortex* tipe sudu berpenampang L terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

Perlu adanya penelitian yang lebih spesifik mengenai sudut sudu berpenampang L kemiringan 10° , 20° , dan 30° tanpa lubang supaya didapatkan daya dan efisiensi yang lebih spesifik pula.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal, Nikita Randy dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2017. "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (2): hal 147 – 147.
- Ardiansyah, Mohamad Andrian dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2017. "Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Berpenampang L Dengan Variasi Sudut Pada Ujung Sudu". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (2): hal 111-112.
- Ariprasetya, Sena dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2018. "Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran *Vortex*". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 6 (1): hal 105-113.
- Elbatran, A.H., Mohamed Walid Abdel-Hamed, O.B. Yaakob, Yasser M. Ahmed, M. Arif Ismail. 2015. "*Hydro Power and Turbine Systems Reviews*". Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.
- Fox, Robert W., dkk. 2012. *Fluid Mechanics. Eighth Edition*. New Jersey : Wiley.
- Khurmi, R.S., J.K. Gupta. 2005. *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Prabowo, Boy Ilham dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2018. "Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Berpenampang L Dengan Variasi Panjang Sisi Lurus Pada Ujung Sudu". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 6 (1). Hal 115-123.

Pritchard, Philip J., Leylegian, Jhon C. 2011. *Introduction to Fluid Mechanics Fifth Edition*". Jhon Wiley & Sons Inc.

Soelaiman, T.A. Fauzi, Nathael P. Tandian, dan Nanang Rosidin. 2007. "Perancangan, Pembuatan Dan Pengujian Prototipe SKEA Menggunakan Rotor *Savonius* Dan *Windside* Untuk Penerangan Jalan Tol". Laporan Penelitian. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

