

## EKSPERIMENTAL PENGEMBANGAN SUDUT SUDU BERPENAMPANG LENGKUNG DENGAN VARIASI KELENGKUNGAN TERHADAP KINERJA TURBIN REAKSI ALIRAN VORTEX

**Yordan Lisado**

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [yordanlisado@mhs.unesa.ac.id](mailto:yordanlisado@mhs.unesa.ac.id)

**Priyo Heru Adiwibowo**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: [priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id](mailto:priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id)

### Abstrak

Kebutuhan listrik zaman sekarang semakin meningkat, dengan adanya alat-alat rumah tangga berbasis elektronik. Manusia dalam memenuhi kebutuhan listrik menggunakan energi terbarukan maupun yang tidak terbarukan, namun jaman sekarang manusia sangat pintar memanfaatkan energi alam yang disebut dengan energi terbarukan seperti angin, air, matahari, panas bumi, biofuel. Hal ini menjadi referensi untuk memanfaatkan aliran sungai untuk menjadi aliran *vortex*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari variasi sudut sudu pada sudu berpenampang lengkung pada turbin reaksi aliran vortex. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan memvariasikan kelengkungan sudu sudu pada sudu berpenampang lengkung 30°, 35°, 40°, dan 45° dengan menggunakan kapasitas air 8,069 L/s, 9,413 L/s, dan 10,803 L/s. Variasi pembebanan yang digunakan kenaikan 5000 gram hingga putaran poros pada turbin berhenti sesuai tipe turbin hingga mendapatkan daya dan efisiensi. Hasil penelitian didapatkan kelengkungan sudu sudu turbin paling optimal sebesar 35° pada kapasitas 10,803 L/s menghasilkan daya sebesar 50,053 Watt pada pembebanan 25000 gram. Efisiensi tertinggi didapatkan pada kelengkungan sudu sudu 35° dengan kapasitas 10,803 L/s menghasilkan efisiensi sebesar 68,76% pada pembebanan 25000 gram. Variasi kelengkungan sudu sudu berpengaruh terhadap kenaikan daya pada turbin reaksi vortex. Hal ini disebabkan karena arah jatuh aliran yang mengenai sudut sudu mendekati sudut tegak lurus maka dorongan yang akan didapat pun bertambah dan putaran lebih kuat sehingga berpengaruh pada daya dan efisiensi turbin.

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

### Abstract

*Nowadays electricity needs are increasing, with the existence of household electronic appliances. Humans in fulfilling their electricity needs use renewable and non-renewable energy, but nowadays humans are very smart in utilizing natural energy which is called renewable energy such as wind, water, sun, geothermal, biofuel. This is a reference for exploiting river flows by converting them into vortex flows. The purpose of this study was to determine the effect of the variation of blade angle on the curved section of the vortex flow reaction turbine. This study used an experimental method by varying the curvature of the blade angle on the blade with curved sections of 30°, 35°, 40°, and 45° using water capacities of 8,069 L / s, 9,413 L / s, and 10.803 L / s. The variation of loading used increases by 5000 grams until the shaft rotation on the turbine stops according to the type of turbine to get power and efficiency. The results showed that the most optimal turbine blade angle curvature was 35° at a capacity of 10.803 L / s to produce a power of 50.053 Watts at a loading of 25000 grams. The highest efficiency is obtained at 35° blade angle curvature with a capacity of 10.803 L / s resulting in an efficiency of 68.76% at a loading of 25000 grams. The variation of the blade angle curvature has an effect on the increase in power in the vortex reaction turbine. This is caused by the direction of the flow falling on the blade angle is close to the perpendicular angle, the boost to be obtained is also increased and the rotation is stronger so it affects the power and efficiency of the turbine.*

**Keywords:** *Vortex Turbine, Curved Section, Angle Slope*

### PENDAHULUAN

Energi listrik yang sangat diperlukan oleh manusia dapat dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik yang menggunakan beberapa sumber energi listrik. Kebutuhan sumber energi listrik pada saat ini meningkat sangat drastis, selama beberapa periode tahun ini energi listrik yang digunakan oleh masyarakat masih berasal dari sumber energi yang tak terbarukan atau bisa disebut bahan bakar fosil (batu bara, gas alam, serta minyak bumi). Sedangkan

untuk energi fosil sendiri yang selama ini merupakan sumber energi utama di masyarakat ketersediaannya sangat terbatas dan semakin menipis setiap kurun waktu. Energi fosil merupakan energi yang umumnya menjadi bahan bakar utama untuk pembangkit-pembangkit tenaga listrik di dunia. Sedangkan menurut Blueprint Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada waktu dekat

diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan atau produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batu bara 147 tahun.

Ada pun apabila tidak dilakukan antisipasi lebih lanjut Indonesia akan mengalami krisis masalah energi yang berkepanjangan. Untuk mengatasi dan meminimalisir adanya masalah krisis energi yang akan datang di masa mendatang dapat memanfaatkan sumber daya alam yang tidak bisa habis dan dapat diperbarui atau disebut juga dengan energi alternatif yang terbarukan. Di Indonesia sendiri belum memanfaatkan secara optimal energi alternatifnya seperti energi air, energi angin, energi surya dan lainnya. Pemanfaatan sumber energi alternatif dapat mengantisipasi mencegah terjadinya kenaikan jumlah karbondioksida atau CO<sub>2</sub> pada lapisan atmosfer yang menyebabkan pemanasan global atau efek rumah kaca. Energi alternatif juga dapat dikonversi menjadi pembangkit energi listrik. Akan tetapi energi alternatif bergantung pada situasi alam dan bahan bakar tertentu. Untuk pemanfaatan tenaga surya peralatan yang digunakan, seperti solar cell masih mahal belum sepenuhnya dijangkau dikalangan masyarakat akan tetapi sumber energinya tidak akan habis. Seiring dengan berkembangnya zaman era modern sekarang ini, maka tuntutan akan tingginya permintaan sumber energi non konvensional tidak dapat dihindarkan lagi. Adapun cara membangun instalasi tenaga listrik skala mikrohidro yang akan sangat membantu masyarakat dalam memenuhi kebutuhan listrik skala kecil khususnya daerah-daerah berdekatan dengan sumber air yang keadaannya sangatlah melimpah khususnya di daerah pedesaan. Maka dari itu cara untuk mengatasi dan mengantisipasi adanya masalah krisis energi bisa memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbarui. Untuk upaya kedepannya pembangkit listrik tenaga air menjadi salah satu pilihan dalam pemanfaatan sumber energi yang terbarukan. Namun pemanfaatan yang ada masih menggunakan teknologi yang sangat sederhana. Pembangkit listrik jenis ini sedang dalam proses pembuatannya yang sangat ekonomis namun masih dalam skala kecil. Jenis pembangkit listrik tenaga air ini yaitu Microhydro atau sering dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mycrohydro (PLTMH). Pembangkit listrik ini menghasilkan energi listrik dibawah 100 KW. Mikrohydro yang di buat biasanya memanfaatkan aliran air terjun dengan head jatuh yang besar. Sedangkan untuk aliran sungai dengan head jatuh yang kecil belum termanfaatkan secara optimal. Hal ini menjadi referensi untuk pemanfaatan aliran sungai dengan mengubahnya menjadi aliran vortex yang dikenal sebagai aliran pulsating atau pusaran dapat terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak biasa disebut dengan turbin vortex. Biasanya turbin vortex memiliki nilai head yang rendah antara 0,7m – 3m dengan debit sebesar 50L/s (Mohan, Anjali M. 2016).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Viktor Schauburger (1936) membahas tentang turbin air yang berbasis pada pusaran air (vortex). Turbin jenis ini memanfaatkan laju dari pusaran air yang didapatkan dari bentuk spiral basin dari sebuah turbin dan kemudian keluar menuju outlet yang terletak di bawah basin.

Achmad Imam Agung (2013) dimuat dalam kajiannya tentang “Potensi Sumber Energi Alternatif dalam Mendukung Kelistrikan Nasional”. Potensi tenaga air di seluruh Indonesia secara teoritis diperkirakan sebesar 845,00 juta BOE, jumlah ini setara dengan 75,67 GW dari jumlah ini dimanfaatkan sebesar 6.851 GWh dengan kapasitas terpasang 4.200 MW. Potensi ini tersebar didaerah Irian Jaya, Kalimantan, Sumatera, Sulawesi.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh mulligan, S. & P. Hull (2010) dalam penelitian ini dengan judul “Design And Optimisation Of A Water Vortex Hydropower Plant”, mengungkapkan bahwa kekuatan optimum sebuah aliran vortex terjadi pada rasio dengan diameter lubang outlet basin antara 14%-18% dengan tinggi dari vortex sendiri berbanding lurus dengan kapasitas dan daya air maksimal dapat dicari dengan menggunakan rumus  $P = \rho g Q H_v$  ( $H_v$  = Tinggi vortex).

Penelitian Franz Zoloterer (2007), beliau mematenkan bahwa turbin dengan aliran vortex dapat digunakan dengan tinggi air yang paling kecil yaitu 0,7 m. Dalam penelitiannya energi teoritis yang dapat dikonfersikan memiliki efisiensi sebesar 80% dan dalam keadaan aktualnya didapatkan efisiensi sebesar 73%.

Penelitian oleh Kueh et al (2014) dalam penelitiannya dengan judul “Numerical Analysis Of Water Vortex Formation For The Water Vortex Power Plant”, menyatakan bahwa kekuatan aliran vortex akan meningkat dengan pertambahan tinggi dari vortex.

Penelitian dilakukan Yani dkk. (2016) dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Bentuk Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Kinetik (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah di Pedesaan)”, menyatakan bahwa daya dan efisiensi suatu turbin maksimum terjadi pada sudu lengkung dengan nilai sebesar 4,699 Watt dan 29,659 %, kemudian menurun pada sudu mangkuk dan yang terendah pada sudu pada datar.

Turbin vortex skala mikro oleh Widyatmoko (2012), dipelutiannya memvariasikan jumlah sudu yang diperoleh efisiensi tertinggi 6,02% pada jumlah sudu 8 buah. Turbin ini memiliki efisiensi rendah. Mengacu pada penelitian tersebut beberapa optimasi dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi turbin vortex. Antara lain dengan mengkaji optimasi bentuk sudu pada turbin vortex.

Penelitian juga dilakukan oleh Kurniawan, Hudan Achmad dan Adiwibowo, Priyo Heru (2017) dalam penelitiannya ini yang berjudul “Pengaruh Sudut Inlet Notch Pada Turbin Reaksi Aliran Vortex Terhadap Daya dan Efisiensi”, daya tertinggi terdapat

pada Guide Vane dengan sudut  $17,82^\circ$  pada kapasitas 8,1327 L/s yaitu 23,06 Watt dengan pembebanan 25000g dan efisiensi tertinggi terdapat pada GuideVane dengan sudut  $17,82^\circ$  pada kapasitas 5,6472 L/s yaitu 57,26% dengan pembebanan 15000g.

Penelitian yang dilakukan oleh Sandeputra, Atha Firdaus dan Adiwibowo, Priyo Heru (2017) dalam penelitiannya yang berjudul “Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Dengan Variasi Jarak Sudu dengan Saluran Keluar Basin”, daya tertinggi terdapat pada jarak 3 cm dengan kapasitas 8,899 L/s dan pembebanan 25000 gram diperoleh daya turbin jarak 3 cm dengan kapasitas 5,647 L/s dan pembebanan 15000 gram diperoleh efisiensi sebesar 56,189 %.

Penelitian yang dilakukan Triswanto, Hendro dan Adiwibowo, Priyo Heru (2017). Dalam penelitian yang berjudul “Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Kelengkungan Dengan Sudu Tipe U Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex”, menyatakan bahwa dimana sudu dengan sudut kelengkungan  $30^\circ$  memiliki daya dan efisiensi paling optimal dari pada sudut  $20^\circ$ , dan  $25^\circ$ . Pada besar sudut kelengkungan  $30^\circ$  daya tertinggi terjadi pada kapasitas 8,899 L/s dan pembebanan 25000gram dengan daya sebesar 25,401watt dan efisiensi tertinggi terjadi pada kapasitas 5,647 L/s dan pembebanan 15000gram dengan efisiensi sebesar 58,565%. Maka mengacu pada penelitian tersebut dapat digunakan bentuk sudu yang melengkung dengan sudut  $30^\circ$  pada turbin vortex dengan menambahkan variasi sudut kemiringannya.

Penelitian yang dilakukan oleh Fitroh, Hannas Kholbika dan Adiwibowo, Priyo Heru (2017). Dalam penelitian yang berjudul “Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Melengkung dengan Variasi Sudut Kemiringan”, menyatakan sudu dengan sudut kelengkungan 300 memiliki daya dan efisiensi paling optimal daripada sudut 200, dan 250. Pada besar sudut kelengkungan 300 daya tertinggi terjadi pada kapasitas 8,899 L/s dan pembebanan 25000 gram dengan daya sebesar 25,401 watt dan efisiensi tertinggi terjadi pada kapasitas 5,647 L/s dan pembebanan 15000 gram dengan efisiensi sebesar 58,565%.

### Rumusan Masalah

Rumusan masalah untuk peneliti ini adalah :

- Bagaimana pengaruh tipe sudu lengkung dengan memvariasikan sudut sudu terhadap daya turbin reaksi aliran *vortex*?
- Bagaimana pengaruh tipe sudu lengkung dengan memvariasikan sudut sudu terhadap efisiensi yang akan dihasilkan turbin reaksi aliran *vortex*?
- Bagaimana hasil yang terbaik dari variasi lengkung sudut sudu  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$  terhadap daya dan efisiensi?

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitiannya adalah :

- Untuk mengoptimalkan pengaruh tipe sudu lengkung dengan kelengkungan  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$  untuk mendapatkan daya turbin yang lebih optimal.
- Untuk mengoptimalkan pengaruh tipe sudu lengkung dengan kelengkungan  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$  untuk mendapatkan efisiensi turbin yang lebih optimal.
- Untuk mengetahui pengaruh dan variasi kelengkungan sudu turbin *vortex* pada daya dan efisiensi saat diberikan variasi pembebanan.

## METODE

### Variabel Penelitian

#### Variabel Bebas

Variabel bebas (*independent*) merupakan variabel yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (*dependent*) (Sugiyono, 2014). Dalam penelitian ini variabel bebasnya yaitu:

- Variasi kelengkungan sudut sudu :  $35^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $45^\circ$ .



Gambar 1. Turbin

#### Variabel Terikat

Variabel terikat (*dependent*) merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Dalam penelitian kali ini variabel terikatnya yaitu efektifitas turbin reaksi aliran vortex yang meliputi ::

- Daya, dan
- Efisiensi turbin

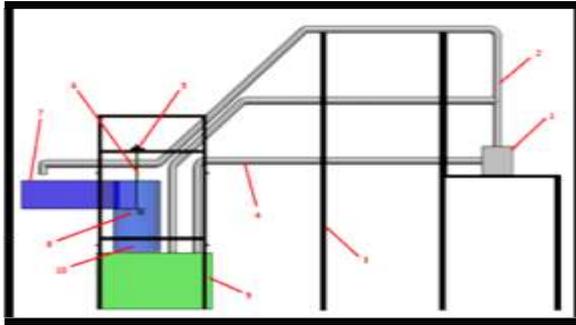
#### Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini meliputi :

- *Fluida* kerjanya adalah air.
- Material sudu dan basin terbuat dari plat besi dengan ketebalan 2 mm.
- Tinggi *basin* 70 cm.
- Diameter *basin* yang digunakan 56 cm.
- Diameter *outlet* basin adalah 9 cm.
- Jumlah pada sudu turbin yaitu 8 buah.
- Untuk diameter turbin adalah 21 cm dan tinggi turbin 15 cm.
- Turbin diletakkan pada jarak 3 cm dari lubang *outlet*.
- Variasi pembebanan yang akan digunakan dengan kenaikan 5000 gram dan 1000 gram hingga putaran pada turbin berhenti.

**Peralatan dan Instrumen Penelitian**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:



Gambar 2. Desain Instalasi Alat Uji

Keterangan:

1. Pompa air
2. Saluran pipa sisi discharge
3. Rangka
4. Instalasi pipa sisi suction
5. Bearing
6. Poros turbin
7. Saluran turbin
8. Turbin
9. Reservoir air
10. Basin

**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.

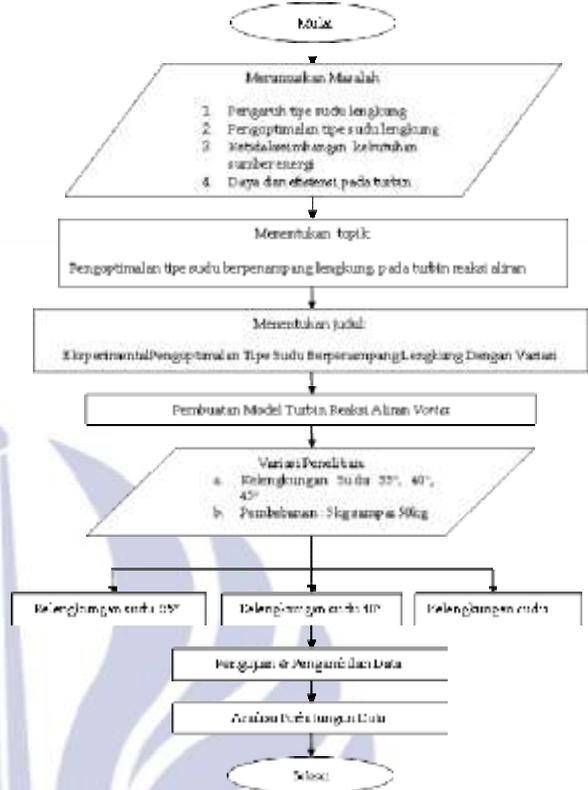
**Teknik Analisa Data**

Penelitian eksperimen ini menggunakan metode analisa data kualitatif deskriptif, yaitu untuk membuat deskripsi, gambaran, atau lukisan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai fakta-fakta, sifat-sifat serta hubungan antar fenomena yang diperoleh selama pengujian. Analisis penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil data yang tertera pada alat ukur yang kemudian akan dimasukkan dalam table, dan dihitung secara teoritis. Selanjutnya data disajikan dalam bentuk table dan grafik supaya waktu menarik kesimpulan lebih sederhana dan mudah dipahami. Adapun tujuan analisa data ini dilakukan untuk memberi informasi mengenai kinerja alat yang paling optimal, hubungan antara variabel-variabel dan fenomena-fenomena apa saja yang terjadi pada objek selama pengujian ketika dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi kelengkungan sudut sudu pada turbin reaksi aliran vortex.

Rancangan penelitian ini adalah prosedur yang dilakukan dalam melakukan eksperimen, dan

mengumpulkan data untuk kemudian dilakukanan alisa data.

**Flowchart Penelitian**



Gambar 3. Flowchart penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil Penelitian**

Pada bab ini akan membahas tentang hasil penelitian eksperimental pengembangan sudut sudu berpenampang lengkung dengan variasi kelengkungan terhadap kinerja turbin reaksi aliran vortex. Proses pengumpulan data dalam penelitian ini didapat dari hasil eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Teknik Mesin Unesa. Hasil yang dicatat berupa kapasitas aliran yang didapat dari perhitungan menggunakan V-Notch weir, tinggi vortex, putaran poros turbin, dan pembebanan. Hasil penelitian akan disajikan berupa grafik dan tabel, tabel pengambilan data dilampirkan. variasi kelengkungan sudut sudu 30°, 35°, 40°, dan 45°. Dengan variasi kapasitas aliran sebesar 8,069 L/s, 9,413 L/s, dan 10,803 L/s dan pembebanan yang dilakukan sebesar 5000 gr, 10000 gr, 15000 gr, 20000gr, 25000 gr, 30000 gr, 35000 gr, 40000 gr, 45000 gr, 50000 gr, dan pembebanan 1000 gr ketika turbin akan berhenti.

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. Ada beberapa proses perhitungan untuk memperoleh hasil data, yaitu:

- Menghitung Kapasitas Air (Q)

Daya air dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan:

$$Q = C_d \cdot \frac{\rho}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}} \text{ (Fox et al, 2012:648)}$$

Keterangan:

Q = Kapasitas air (m<sup>3</sup>/s)

C<sub>d</sub> = Coefficient of Discharge

θ = Sudut pada V-notch weir (°)

g = Gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

H = Tinggi ambang (m)

Dimana:

C<sub>d</sub> = 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:

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

Keterangan:

P<sub>a</sub> = Daya air (Watt)

Q = Debit air (m<sup>3</sup>/s)

ρ = Massa jenis Fluida (kg/m<sup>3</sup>)

g = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

H<sub>v</sub> = Tinggi vortex (m)

- Menghitung Torsi Turbin (T)

Torsi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

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

Keterangan:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

r = Jari-jari poros putaran

m<sub>beban</sub> = Masa Beban (kg)

m<sub>neraca</sub> = Massa pada neraca (kg)

g = Gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

- Menghitung Daya Turbin (Pt)

Daya turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

Keterangan:

P<sub>t</sub> = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan angular (rad/s)

- Menghitung Efisiensi Turbin (η)

Efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Keterangan:

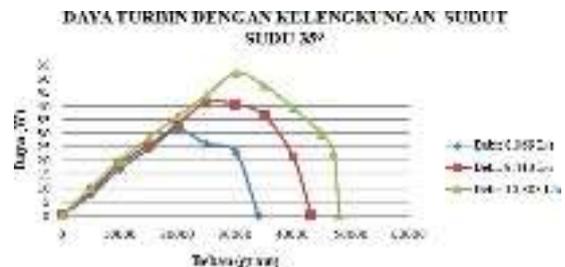
η = Efisiensi turbin

P<sub>t</sub> = Daya turbin (Watt)

$$P_a = \text{Daya air (Watt)}$$

### Pembahasan

Pengaruh Variasi Kapasitas Air Terhadap Daya Turbin Reaksi Aliran Vortex dengan Kelengkungan Sudut Sudu 35°.

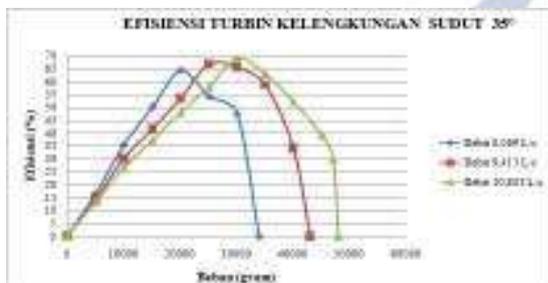


Gambar 4. Grafik pengaruh variasi kapasitas air terhadap daya turbin reaksi tipe sudu berpenampang lengkung dengan kelengkungan sudut 35°

Berdasarkan gambar 4 turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang lengkung dengan kelengkungan sudut sudu 35° 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 gram terus meningkat hingga mencapai daya paling tinggi pada pembebanan 20000 gram yaitu sebesar 31,128 Watt. Kemudian daya cenderung turun setelah dikasih pembebanan diatas 25000 gr dan akhirnya turbin berhenti total pada pembebanan diatas 25000 gram. Pada kapasitas 9,413 L/s daya tertinggi yang dihasilkan meningkat hingga pada pembebanan 35000 gram yaitu 41,538 Watt dan setelah itu mengalami penurunan daya dan turbin berhenti pada pembebanan 43000 gr. Pada kapasitas terakhir yaitu 10,803 L/s daya mengalami kenaikan yang signifikan dibandingkan kapasitas 8,069 L/s dan 9,413 L/s sebesar 51,336 Watt pada pembebanan 45000 gram dan kembali turun setelah diberi pembebanan diatas 45000 gram sampai akhirnya turbin berhenti pada pembebanan 48000 gram. 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 kelengkungan sudu turbin juga mempengaruhi air di daerah vortex pada basin tidak membentuk aliran vortex kuat dan titik pusat vortex berada menjauhi dari titik pusat turbin yang menyebabkan nilai neraca naik sehingga daya turun. Dari beberapa variasi kapasitas yang diberikan pada turbin reaksi aliran vortex tipe sudu bepenampang lengkung dengan kelengkungan sudut sudu 35°, daya tertinggi yang dihasilkan yaitu pada kapasitas 10,803 L/s yaitu 51,336 Watt pada pembebanan 45000 gram.

Berdasarkan gambar 4.1, 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 gram menghasilkan daya yang terus meningkat sampai dengan beban 45000 gram yaitu sebesar 51,336 Watt dan setelah dikasih pembebanan diatas 45000 gram daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti total pada beban 48000 gram. 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 pengaruh variasi kapasitas air terhadap efisiensi turbin reaksi tipe sudu berpenampang lengkung dengan kelengkungan sudut 35°

Berdasarkan gambar 5, turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang lengkung dengan kelengkungan sudut 35° mengalami kenaikan, semakin besar kapasitas aliran air yang mengalir maka semakin besar juga efisiensi yang dihasilkan. Namun, pada kapasitas tertinggi yaitu 10,803 L/s mengalami penurunan. 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 kapasitas ini hanya sebesar 62,944% pada pembebanan 25000 gr. Pada kapasitas 9,413 L/s efisiensi yang dihasilkan yang tertinggi yaitu 67,132% pada pembebanan 35000 gr. Pada kapasitas 10,803 L/s yaitu 68,078% pada pembebanan 35000 gr. Dari beberapa variasi kapasitas yang diberikan pada turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang lengkung dengan kelengkungan sudut 35°, efisiensi tertinggi yang dihasilkan berada pada kapasitas 10,803 L/s efisiensi

yang dihasilkan yang tertinggi yaitu 68,078% pada pembebanan 35000 gr.

Berdasarkan gambar 4.2, 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 Kelengkungan Sudut Terhadap Daya Turbin Reaksi Aliran Vortex pada Kapasitas yang Tetap.

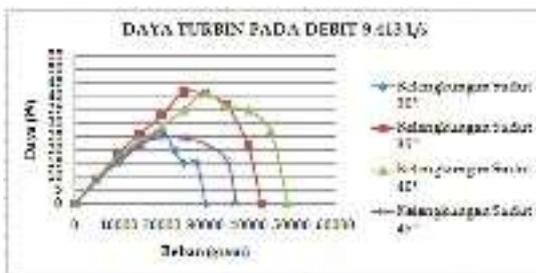


Gambar 6. Grafik pengaruh variasi kelengkungan sudut terhadap daya turbin reaksi aliran vortex pada kapasitas 8,069 L/s

Pada gambar 6. menunjukkan bahwa pada kapasitas 8,069 L/s turbin dengan kelengkungan sudut 40° daya yang dihasilkan meningkat dari beban 5000 gram sampai dengan beban 25000 gram yaitu sebesar 32,809 Watt. Setelah itu daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada beban 40000 gram. Setelah ditambah pembebanan hingga 25000 g daya turbin yang dihasilkan semakin meningkat, karena torsi yang dihasilkan bertambah besar dan kecepatan angular yang dihasilkan tinggi. Tetapi setelah diberi beban lebih dari 25000 g daya yang dihasilkan semakin menurun karena kecepatan angular semakin kecil, walaupun torsi yang dihasilkan semakin besar tapi hasil dari perkalian torsi dan kecepatan angular kecil sehingga daya yang dihasilkan rendah. (Tabel torsi dan kecepatan angular dapat dilihat pada lampiran 4)

Pada kapasitas 8,069 L/s turbin dengan kelengkungan sudut 30° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu 22,418 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 15000 g dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 25000 g. Pada turbin kelengkungan sudut 35° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan 20000 g yaitu sebesar 31,284 Watt dan setelah itu mengalami penurunan dan berhenti pada beban 34000 g. Pada turbin

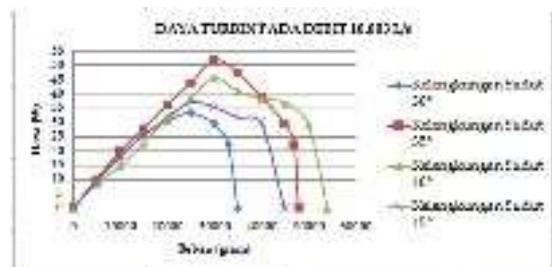
kelengkungan 40° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 32,809 Watt dan setelah itu mengalami penurunan daya turbin dan sampai berhenti pada beban 40000 g. Pada turbin kelengkungan 45° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu sebesar 22,321 Watt dan setelah itu mengalami penurunan daya turbin dan sampai berhenti pada beban 28000 g. Dari beberapa variasi kelengkungan sudu pada turbin reaksi aliran vortex dengan kapasitas 8,069 L/s yang menghasilkan daya tertinggi adalah turbin dengan kelengkungan sudu 40° yaitu sebesar 32,809 Watt dengan beban 25000 g.



Gambar 7. Grafik pengaruh variasi kelengkungan sudu sudu terhadap daya turbin reaksi aliran vortex pada kapasitas 9,413 L/s

Berdasarkan gambar 7. bahwa pada kapasitas 9,413 L/s turbin dengan kelengkungan 35° daya yang dihasilkan meningkat dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 41,308 Watt. Setelah itu daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada beban 43000 gram. 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 gram torsi yang dihasilkan kecil dan kecepatan angular yang tinggi tetapi daya yang dihasilkan masih rendah. Setelah ditambah pembebanan hingga 35000 gram daya turbin yang dihasilkan semakin meningkat, karena torsi yang dihasilkan bertambah besar dan kecepatan angular yang dihasilkan tinggi. Tetapi setelah diberi beban lebih dari 35000 gram daya yang dihasilkan semakin menurun karena kecepatan angular semakin kecil, walaupun torsi yang dihasilkan semakin besar tapi hasil dari perkalian torsi dan kecepatan angular kecil sehingga daya yang dihasilkan rendah. (Tabel torsi dan kecepatan angular dapat dilihat pada lampiran 5) Pada kapasitas 9,413 L/s turbin dengan kelengkungan sudu 30° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 gram sampai dengan beban 20000 gram yaitu sebesar 26,914 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti

pada beban 30000 gram. Pada turbin kelengkungan sudu 35° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 gram sampai dengan beban 25000 gram yaitu sebesar 41,308 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 25000 gram dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 43000 gram. Daya yang dihasilkan oleh turbin U dengan kelengkungan sudu 40° terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 gram sampai dengan beban 30000 gram yaitu 41,043 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 30000 gram dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 49000 gram. Pada turbin dengan kelengkungan sudu 45° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 gram sampai dengan beban 20000 gram yaitu sebesar 24,655 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 37000 g. Pada turbin kelengkungan 45° memiliki daya yang lebih rendah karena menghasilkan putaran atau rpm yang rendah disebabkan karena semakin besar sudut kelengkungan sudu turbin, air yang masuk terhalang oleh sudu yang terlalu melengkung sehingga air tidak bisa sempurna menghantam sudu turbin yang mengakibatkan putaran turbin lebih rendah sehingga turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi yang menyebabkan daya yang dihasilkan rendah.



Gambar 8. Grafik pengaruh variasi kelengkungan sudu sudu terhadap daya turbin reaaaksi aliran vortex pada kapasitas 10,803 L/s

Berdasarkan gambar 8. bahwa pada kapasitas 10,803 L/s turbin dengan kelengkungan 35° daya yang dihasilkan meningkat dari beban 5000 gram sampai dengan beban 30000 gram yaitu sebesar 52,026 Watt. Setelah itu daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada beban 48000 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 gram torsi yang dihasilkan kecil dan kecepatan angular yang tinggi tetapi daya yang dihasilkan masih rendah. Setelah ditambah pembebanan hingga 45000 gram daya turbin yang dihasilkan semakin meningkat, karena

torsi yang dihasilkan bertambah besar dan kecepatan angular yang dihasilkan tinggi. Tetapi setelah diberi beban lebih dari 45000 gram daya yang dihasilkan semakin menurun karena kecepatan angular semakin kecil, walaupun torsi yang dihasilkan semakin besar tapi hasil dari perkalian torsi dan kecepatan angular kecil sehingga daya yang dihasilkan rendah. (Tabel torsi dan kecepatan angular dapat dilihat pada lampiran 6)

Pada kapasitas 10,803 L/s turbin dengan kelengkungan sudut 30° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 gram sampai dengan beban 25000 gram yaitu sebesar 33,473 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 35000 gram. Pada turbin kelengkungan sudut 35° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 gram sampai dengan beban 30000 gram yaitu 52,026 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 30000 gram dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 48000 gram. Daya yang dihasilkan oleh turbin dengan kelengkungan sudut 40° terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu 45,814 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 30000 g dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 54000 g. Pada turbin dengan kelengkungan sudut 45° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 37,204 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 45000 g. Pada turbin kelengkungan 45° memiliki daya yang lebih rendah karena menghasilkan putaran atau rpm yang rendah disebabkan karena semakin besar sudut kelengkungan sudu turbin, air yang masuk terhalang oleh sudu yang terlalu melengkung sehingga air tidak bisa sempurna menghantam sudu turbin yang mengakibatkan putaran turbin lebih rendah sehingga turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi yang menyebabkan daya yang dihasilkan rendah.

- Pengaruh Variasi Kelengkungan Sudu Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Reaksi Aliran Vortex pada Kapasitas yang Tetap



Gambar 9. Grafik pengaruh variasi kelengkungan sudut sudu terhadap efisiensi turbin reaksi aliran vortex pada kapasitas 8,069 L/s

Berdasarkan gambar 9, terlihat pada kapasitas 8,069 L/s turbin dengan kelengkungan sudut 40°

menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 gram sampai dengan beban 25000 gram yaitu 67,947% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 25000 gram dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 40000 gram.

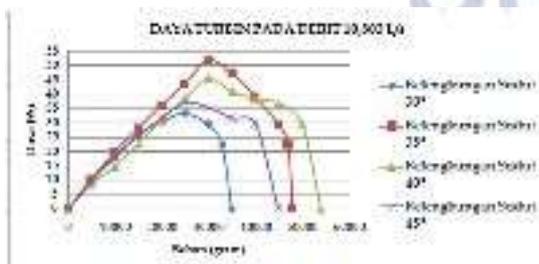
Pada turbin kelengkungan sudut 35° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan 20000 g yaitu sebesar 64,466% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan dan berhenti pada beban 34000 g. Pada turbin kelengkungan 40° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 67,947% dan setelah itu mengalami penurunan efisiensi turbin dan sampai berhenti pada beban 40000 g. Pada turbin kelengkungan 45° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 15000 g yaitu sebesar 46,227% dan setelah itu mengalami penurunan efisiensi turbin dan sampai berhenti pada beban 28000 g. Dari beberapa variasi kelengkungan sudut sudu pada turbin reaksi aliran vortex dngan kapasitas 8,069 L/s menghasilkan efisiensi yang paling tinggi sebesar 67,947% pada kelengkungan sudut sudu 40° dengan beban 25000 g. Pada turbin kelengkungan 45° memiliki efisiensi yang lebih rendah karena menghasilkan putaran atau rpm yang rendah disebabkan karena semakin besar sudut kelengkungan sudu turbin, air yang masuk terhalang oleh sudu yang terlalu melengkung sehingga air tidak bisa sempurna menghantam sudu turbin yang mengakibatkan putaran turbin lebih rendah sehingga turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi yang menyebabkan daya yang dihasilkan rendah.



Gambar 10. Grafik pengaruh variasi kelengkungan sudut sudu terhadap efisiensi turbin reaksi aliran vortex pada kapasitas 9,413 L/s

Seperti terlihat pada gambar 10, terlihat bahwa pada kapasitas 9,413 L/s turbin kelengkungan 35° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 66,76% dan setelah itu mengalami penurunan efisiensi turbin dan sampai berhenti pada beban 43000 g. (Tabel torsi dan kecepatan angular dapat dilihat pada lampiran 5). 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 4.9, bahwa pada kapasitas 9,413 L/s turbin dengan kelengkungan sudut sudu 30° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan beban 20000 gram yaitu 43,497% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 20000 gram dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 30000 gram. Pada turbin kelengkungan sudut 35° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 gram sampai dengan 25000 gram yaitu sebesar 66,76% dan setelah itu efisiensi mengalami penurunan dan berhenti pada beban 43000 gram. Pada turbin kelengkungan 40° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 gram sampai dengan beban 30000 g yaitu sebesar 66,332% dan setelah itu mengalami penurunan efisiensi turbin dan sampai berhenti pada beban 49000 gram. Pada turbin kelengkungan 45° menghasilkan efisiensi yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 gram sampai dengan beban 20000 gram yaitu sebesar 39,846% dan setelah itu mengalami penurunan efisiensi turbin dan sampai berhenti pada beban 37000 gram. Dari beberapa variasi kelengkungan sudut sudu pada turbin reaksi aliran vortex dengan kapasitas 8,069 L/s menghasilkan efisiensi yang paling tinggi sebesar 66,089% pada kelengkungan sudut sudu 35° dengan beban 25000 gram. Pada turbin kelengkungan 45° memiliki efisiensi yang lebih rendah karena menghasilkan putaran atau rpm yang rendah disebabkan karena semakin besar sudut kelengkungan sudu turbin, air yang masuk terhalang oleh sudu yang terlalu melengkung sehingga air tidak bisa sempurna menghantam sudu turbin yang mengakibatkan putaran turbin lebih rendah sehingga turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi yang menyebabkan daya yang dihasilkan rendah.



Gambar 11. Grafik pengaruh variasi kelengkungan sudut sudu terhadap daya turbin reaksi aliran vortex pada kapasitas 10,803 L/s

Berdasarkan gambar 11, bahwa pada kapasitas 10,803 L/s turbin dengan kelengkungan 35° daya yang dihasilkan meningkat dari beban 5000 gram sampai dengan beban 30000 gram yaitu sebesar 52,026 Watt. Setelah itu daya mengalami penurunan hingga turbin berhenti berputar pada beban 48000 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 gram torsi yang dihasilkan kecil dan kecepatan angular yang tinggi tetapi daya yang dihasilkan masih rendah. Setelah ditambah pembebanan hingga 45000 gram daya turbin yang dihasilkan semakin meningkat, karena torsi yang dihasilkan bertambah besar dan kecepatan angular yang dihasilkan tinggi. Tetapi setelah diberi beban lebih dari 45000 gram daya yang dihasilkan semakin menurun karena kecepatan angular semakin kecil, walaupun torsi yang dihasilkan semakin besar tapi hasil dari perkalian torsi dan kecepatan angular kecil sehingga daya yang dihasilkan rendah. (Tabel torsi dan kecepatan angular dapat dilihat pada lampiran 6)

Pada kapasitas 10,803 L/s turbin dengan kelengkungan sudut 30° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 gram sampai dengan beban 25000 gram yaitu sebesar 33,473 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 35000 gram. Pada turbin kelengkungan sudut 35° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 gram sampai dengan beban 30000 gram yaitu 52,026 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 30000 gram dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 48000 gram. Daya yang dihasilkan oleh turbin dengan kelengkungan sudut sudu 40° terus meningkat, mulai dari pembebanan 5000 g sampai dengan beban 30000 g yaitu 45,814 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan dengan penambahan beban diatas 30000 g dan sampai akhirnya turbin berhenti berputar pada beban 54000 g. Pada turbin dengan kelengkungan sudut 45° menghasilkan daya yang terus meningkat, mulai dari beban 5000 g sampai dengan beban 25000 g yaitu sebesar 37,204 Watt dan setelah itu daya mengalami penurunan sampai turbin berhenti pada beban 45000 g. Pada turbin kelengkungan 45° memiliki daya yang lebih rendah karena menghasilkan putaran atau rpm yang rendah disebabkan karena semakin besar sudut kelengkungan sudu turbin, air yang masuk terhalang oleh sudu yang terlalu melengkung sehingga air tidak bisa sempurna menghantam sudu turbin yang mengakibatkan putaran turbin lebih rendah sehingga turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi yang menyebabkan daya yang dihasilkan rendah.

## PENUTUP

### Simpulan

Setelah dilakukan penelitian, pengujian, pembahasan, analisis tentang pengaruh variasi kelengkungan sudut sudu turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang Lengkung terhadap daya dan efisiensi

yang dihasilkan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Daya optimal dihasilkan pada turbin dengan kelengkungan sudut sudu  $35^\circ$  pada kapasitas 10,803 L/s yaitu 50,053 Watt pada pembebanan 50000 gram, diikuti oleh turbin  $40^\circ$  pada kapasitas 9,413 L/s dengan daya sebesar 41,057 Watt pada pembebanan 40000 g, dan yang terakhir yang menghasilkan daya paling rendah yaitu turbin  $30^\circ$  pada kapasitas 9,413 L/s yang hanya menghasilkan daya sebesar 26,914 Watt pada pembebanan 20000 g.
- Efisiensi optimal dihasilkan pada turbin dengan kelengkungan sudut sudu  $35^\circ$  pada kapasitas 9,413 L/s yaitu 66,76% pada pembebanan 30000 g, diikuti oleh turbin  $40^\circ$  pada kapasitas 8,069 L/s dengan efisiensi sebesar 67,947% pada pembebanan 25000 g, kemudian turbin  $35^\circ$  pada kapasitas 10,803 L/s dengan efisiensi sebesar 68,557% pada pembebanan 45000 g, dan yang terakhir yang menghasilkan efisiensi paling rendah yaitu turbin  $30^\circ$  pada kapasitas 8,069 L/s yang hanya menghasilkan efisiensi sebesar 46,428% pada pembebanan 25000 g.

#### Saran

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

- Penelitian lanjutan diharapkan dalam menentukan jenis bahan material menggunakan yang lebih ringan dan kuat, supaya rpm yang dihasilkan oleh turbin lebih cepat sehingga daya dan efisiensi lebih optimal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Imam Agung. (2013). "Potensi Sumber Energi Alternatif dalam Mendukung Kelistrikan Nasional".
- Deby. Rizkyawan. (2016). "Pengaruh Sudut Kelengkungan Sudu Terhadap Unjuk Kerja Kincir Air pada Aliran *Undershoot*".
- Fitroh, Hannas Kholbika dan Adiwibowo, Priyo Heru (2017). "Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Melengkung dengan Variasi Sudut Kemiringan". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Franz Zoloterer. (2007). Mematenkan Bahwa Turbin Dengan Aliran *Vortex* Dapat digunakan Dengan Tinggi Air Yang Paling Kecil. *Germany Ic*.
- Gibran. (2014). Sistem PLTA Pusan Air Adalah Sebuah Teknologi Terbaru.
- Kueh et al. (2014). "Numerical Analysis Of Water *Vortex* Formation For The Water *Vortex* Power Plant",
- Khurmi, R.S., J.K. Gupta. (2005). *Machine Design*. New Delhi : Eurasia Publishing House.
- Kurniawan, Hudan Achmad dan Adiwibowo, Priyo Heru. (2017). "Pengaruh Sudut *InletNotch* Pada Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Terhadap Daya dan Efisiensi". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- McDonough, J. M. (2009). "Lectures In Elementary Fluid Dynamics :Physics, Mathematics and Applications". Kentucky : Departemens of Mechanical Engineering and Mathematics University of Kentucky.
- Mulligan, S. & P. Hull. (2010). " Design And Optimisation Of A Water *Vortex* Hydropower Plant ",
- Nikita. (2017). "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar".
- Nugroho. (2005). Turbin Bagian Terpenting Dalam Pembangkit Listrik. Bandung.
- Ray Posdam J. Sihombing. (2104). "Analisa Efisiensi Turbin *Vortex* dengan Casing Berpenampang Lingkaran pada Sudu Berdiameter 56 Cm untuk 3 Variasi Jarak Sudu dengan Saluran Keluar".
- Sandeputra, Atha Firdaus dan Adiwibowo, Priyo Heru. (2017). "Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Variasi Jarak Sudu dengan Saluran Keluar Basin". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Schauberger, Viktor. (1936). Turbin Air Yang Berbasis Pada Pusan Air(*Vortex*).
- Triswanto, Hendro dan Adiwibowo, Priyo Heru (2017). "Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Kelengkungan Dengan Sudu Tipe U Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex*". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Widyatmoko. (2012). Memvariasikan Jumlah Sudu Yang diperoleh Efisiensi Tertinggi.
- Yani.(2016). "Pengaruh Variasi Bentuk Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Kinetik (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan)". Bontang: Universitas Trunajaya Bontang.