

UJI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN REAKSI ALIRAN *VORTEX* TIPE SUDU BERPENAMPANG LURUS DENGAN VARIASI TINGGI SUDU

Muhammad Farid Rahman Hakim

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

[e-mail: muhammadhakim4@mhs.unesa.ac.id](mailto:muhammadhakim4@mhs.unesa.ac.id)

Priyo Heru Adiwibowo, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

[e-mail: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id](mailto:priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id)

Abstrak

Energi merupakan bagian penting dalam kehidupan masyarakat karena hampir seluruh aktivitas manusia selalu membutuhkan energi. Sebagian besar energi yang digunakan di Indonesia khususnya masih berasal dari energi fosil yang berbentuk minyak bumi dan gas bumi. Di Indonesia sendiri pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) ini masih sangat sedikit. Dengan potensi tenaga air di Indonesia yang melimpah, penggunaan turbin *vortex* sangat berguna untuk memaksimalkan potensi tersebut. Namun, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap turbin *vortex*, masih belum ditemukannya ukuran tinggi sudu yang paling optimal dari turbin *vortex*. Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen, yaitu dengan membuat turbin *vortex* dengan tipe sudu berpenampang lurus yang memiliki tinggi sudu 15 cm, 18 cm, 21 cm dan 24 cm dengan kapasitas air 7,998 L/s, 9,309 L/s, 11,042 L/s dan 13,443 L/s. Variasi pembebanan yang digunakan kenaikan 5000 gram dan 1000 gram hingga putaran turbin berhenti. Pengujian akan dilakukan berdasarkan variabel di atas terhadap daya dan efisiensi turbin *vortex*. Hasil penelitian didapatkan bahwa penambahan tinggi sudu pada turbin tipe sudu berpenampang lurus sangat mempengaruhi daya dan efisiensi yang dihasilkan. Turbin dengan tinggi sudu 21 cm memiliki daya dan efisiensi paling optimal daripada turbin dengan tinggi sudu 15 cm, 18 cm dan 24 cm. Daya tertinggi dimiliki oleh turbin dengan tinggi sudu 21 cm yang terjadi pada kapasitas 13,443 L/s dengan pembebanan 30000 gram, memiliki daya sebesar 42,97 watt. Efisiensi tertinggi dimiliki oleh turbin dengan tinggi sudu 21 cm terjadi pada kapasitas 11,042 L/s dengan pembebanan 30000 gram, memiliki efisiensi sebesar 51,37 %. Hal ini dikarenakan dengan menambah tinggi sudu pada turbin, luasan sudu yang terkena hantaman fluida menjadi lebih banyak, walaupun saat diberi pembebanan kondisi turbin tidak terendam sempurna. Semakin banyak luasan sudu yang terendam oleh fluida lebih memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan daripada turbin yang tahan terhadap pembebanan walaupun kondisi turbin tersebut terendam sempurna.

Kata Kunci: Turbin *Vortex*, Sudu Berpenampang Lurus, Tinggi Sudu Turbin

Abstract

Energy is an important part in the life of the community because almost all human activities are always in need of energy. Most of the energy used in Indonesia in particular still comes from fossil energy in the form of petroleum and natural gas. It is also coupled with the increasing population and growth followed by consumption of electrical energy that is increasingly high. In Indonesia itself exploiting renewable new energy (EBT) is still very little. With the potential of water power in Indonesia, the use of vortex turbine is very useful to maximize the potential. However, based on research that has been done to the vortex turbine, still haven't found a high measure of the most optimal turbine vanes of turbine vortex. This research uses experimental research methods, namely by creating a vortex turbine vanes type cross section has a high straight vanes 15 cm, 18 cm, 21 cm and 24 cm with a capacity of water 7.998 L/s, L/s, 9.309 11.042 L/s and L/s 13.443. Variation of loading the used Ascension 5000 grams and 1000 gram up to spin the turbine stop. Testing will be done on the basis of the above variable against the power and efficiency of vortex turbine. The research results obtained that the addition of high-type turbine vanes vanes on the fuselage straight greatly affect the resulting efficiency and power. Turbine vanes with a height of 21 cm has the power and efficiency of most optimal than the turbine vanes with a height of 15 cm, 18 cm and 24 cm. Power is owned by turbine vanes 21 cm tall that occurred at a capacity of 13.443 L/s with the imposition of 30,000 grams, have the power of 42.97 Watts. The highest efficiency is owned by turbine vanes with a height of 21 cm occurred at a capacity of 11.042 L/s with the imposition of 30,000 grams, has an efficiency of 51.37%. This is because by adding high vanes on the turbine vanes of the affected area, lacing into more fluid, though given the imposition of the condition of the turbine is not submerged. The more polygons a sub merged vanes by more fluid has significant effects against resources and the resulting efficiency than turbines that are resistant to the imposition of the turbines submerged condition though.

Keywords: Vortex Turbine, Turbine Vanes Straight, Tall Turbine Vanes

PENDAHULUAN

Energi merupakan bagian penting dalam kehidupan masyarakat karena hampir seluruh aktivitas manusia selalu membutuhkan energi. Sebagian besar energi yang digunakan di Indonesia khususnya masih berasal dari energi fosil yang berbentuk minyak bumi dan gas bumi. Hal tersebut juga ditambah dengan meningkatnya pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin pesat dan diikuti dengan permintaan dan konsumsi energi listrik yang semakin tinggi.

Dari permasalahan tersebut kita harus memulai dengan berbagai opsi lain demi terciptanya energi alternatif yang dapat meminimalkan penggunaan energi fosil yang saat ini jumlahnya kian menipis. Hal tersebut pula yang membuat banyak orang berusaha mencari sumber energi baru terbarukan dan tentunya yang ramah lingkungan. Saat ini banyak sekali energi-energi yang belum diketahui maupun yang belum dimanfaatkan potensinya dengan baik.

Seiring dengan besarnya potensi dari pembangkit listrik tenaga air tersebut diperlukan banyak penelitian untuk dapat memaksimalkan potensi diatas. Salah satunya adalah dengan didirikannya beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di daerah-daerah terpencil yang ada di Indonesia khususnya. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan suatu pembangkit listrik berskala kecil yang menggunakan air sebagai tenaga penggerak, seperti saluran irigasi, jumlah debit air dan sungai atau air terjun dengan memanfaatkan tinggi dari terjunan. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sumber energi), turbin dan generator.

Turbin air merupakan sebuah mesin konversi energi yang mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi energi potensial dan selanjutnya menjadi energi listrik. Selain itu PLTMH tidak perlu membuat waduk yang besar seperti PLTA dan sebagian besar PLTMH yang ada saat ini memanfaatkan *head air* yang tinggi untuk menghasilkan energi listrik. Sedangkan untuk aliran sungai dengan *head* yang rendah belum dimanfaatkan secara optimal.

Berdasarkan tinggi jatuh air ke turbin, peneliti dari Jerman, Viktor Schaubertger (1936) meneliti tentang turbin air berbasis pusaran air (*vortex*). Turbin jenis ini memanfaatkan pusaran air yang didapat dari bentuk spiral basin dari turbin dan kemudian keluar menuju outlet yang terletak tepat dibawah basin. Turbin *vortex* ini menarik perhatian seorang peneliti dari Austria yaitu Franz Zötlöterer (2007), dalam patennya dia mengemukakan bahwa turbin *vortex* dapat digunakan dengan tinggi jatuh air paling kecil 0,7 m. Dalam penelitiannya energi teoritis

yang dapat dikonversi memiliki efisiensi sebesar 80% dan dalam keadaan aktual didapatkan efisiensi sebesar 73%.

Penelitian yang dilakukan oleh Kueh et al. (2014) dalam penelitiannya yang berjudul “*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 yang dilakukan oleh Mulligan, S. & P. Hull (2010) dalam penelitian yang berjudul “*Design and Optimisation Of A Water Vortex Hydropower Plant*”, menyatakan bahwa kekuatan optimum aliran *vortex* terjadi pada rasio diameter lubang *outlet* dengan *basin* antara 14%-18%, tinggi dari *vortex* berbanding lurus dengan kapasitas, dan daya air maksimal dapat dicari menggunakan rumus $P = \rho g Q H_v$ ($H_v =$ Tinggi *Vortex*).

Penelitian yang dilakukan oleh Widyatmoko (2012), dalam penelitian yang berjudul “*Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Output Listrik Pada Turbin Vortex*”, dengan memvariasikan jumlah sudu yang diperoleh efisiensi tertinggi 6,02% pada jumlah sudu 8 buah. Turbin ini memiliki efisiensi rendah. Mengacu pada penelitian tersebut beberapa opsi dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi turbin *vortex*. Antara lain dengan mengkaji opsi lain bentuk sudu pada turbin vorteks.

Penelitian yang dilakukan oleh Christin et al. (2016) dalam penelitian yang berjudul “*A Parametric Experimental Investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex Hydropower (GVHP)*”, menyatakan bahwa peneliti memvariasikan luasan penampang sudu dan jumlah sudu. Dengan nilai efisiensi tertinggi sebesar 15,1 % menggunakan turbin dengan luasan sudu sebesar (500 x 150 x 2) mm dan menggunakan 4 sudu dengan kondisi ketinggian inlet air sebesar 25 cm dan debit aliran sebesar 0,65 L/s.

Penelitian yang dilakukan oleh Afryzal, Nikita Randy (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 gr dengan kapasitas air sebesar 8,89 L/s diperoleh daya turbin sebesar 21,84 watt. Sedangkan efisiensi turbin terbesar menggunakan turbin dengan 8 sudu pada beban 20000 gr dengan kapasitas air sebesar 6,94 L/s diperoleh efisiensi turbin sebesar 44,3 %.

Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan, Hudan Achmad (2017) dalam penelitian yang berjudul “*Pengaruh Sudut Inlet Notch Pada Turbin Reaksi Aliran Vortex Terhadap Daya dan Efisiensi*”, menyatakan bahwa variasi sudut sudu pengarah sangat berpengaruh terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *vortex*.

Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Berpenampang Lurus dengan Variasi Tinggi Sudu

Sudu pengarah dengan sudut $17,82^\circ$ memiliki daya dan efisiensi paling optimal daripada sudut $13,32^\circ$, $7,26^\circ$ dan 0° (tanpa sudu pengarah). Pada sudu pengarah $17,82^\circ$ memiliki daya tertinggi yang terjadi pada kapasitas $8,1327077$ L/s dengan pembebanan 20.000 g ($23,96$ W), dan efisiensi tertinggi terjadi pada kapasitas $5,6472274$ L/s dengan pembebanan 15.000 g ($57,26$ %).

Penelitian yang dilakukan oleh Baskoro, Mahendra Bagus (2017) dalam penelitian yang berjudul “Uji Eksperimental Pengaruh Sudut *Basin Cone* Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex*”, menyatakan bahwa variasi sudut *basin cone* dapat mempengaruhi daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *vortex*. Daya dan efisiensi tertinggi diperoleh *basin cone* sudut 67° terjadi pada kapasitas $8,89$ L/s menghasilkan daya turbin yaitu $35,07$ watt, dan efisiensi turbin $55,79$ % dengan pembebanan 45.000 gram.

Penelitian yang dilakukan oleh Sandeputra, Atha Firdaus (2017) dalam penelitian yang berjudul “Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Variasi Jarak Sudu Dengan Saluran Keluar Basin”, menyatakan bahwa daya tertinggi terjadi pada jarak sudu dengan saluran keluar basin 3 cm dengan kapasitas air $8,899$ L/s pada pembebanan 25000 gr diperoleh daya $25,4005$ watt. Sedangkan untuk efisiensi tertinggi terjadi pada jarak sudu dengan saluran keluar basin 3 cm dengan kapasitas air $5,647$ L/s pada pembebanan 15000 gr yaitu $56,189$ %.

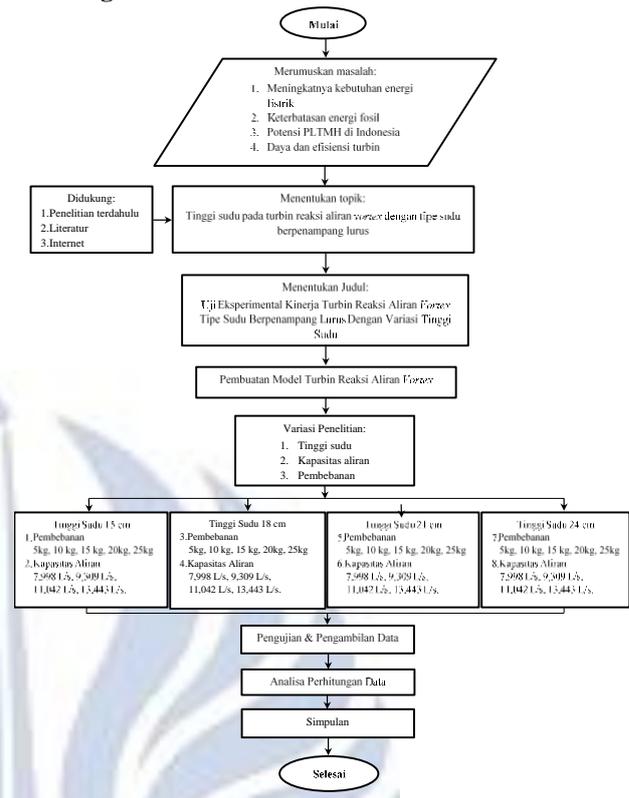
Penelitian yang dilakukan oleh Junarto, Fajar dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Tinggi Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air Darrieus Profil NACA 0018 Tipe Poros Vertikal”, menyatakan bahwa nilai Brake Horse Power (BHP) tertinggi didapat pada turbin dengan tinggi sudu 35 cm sebesar $0,61$ watt dan nilai efisiensi tertinggi didapat pada turbin dengan tinggi sudu 35 cm sebesar $29,30$ %.

Beberapa penelitian telah dilakukan tetapi masih belum banyak peneliti yang meneliti tentang pengaruh variasi tinggi sudu pada turbin reaksi aliran *vortex* tipe sudu berpenampang lurus terhadap kinerja turbin reaksi aliran *vortex*. Merujuk dari penelitian di atas, dalam penelitian ini mencoba melakukan kajian penelitian untuk mengoptimalkan daya dan efisiensi turbin reaksi aliran *vortex* dengan memvariasikan tinggi sudu pada turbin reaksi aliran *vortex* tipe sudu berpenampang lurus.

Diharapkan dengan eksperimen penelitian ini dapat menghasilkan turbin reaksi aliran *vortex* yang baik dari segi daya dan efisiensinya yang dapat digunakan untuk skala kecil atau pemukiman di daerah aliran sungai sehingga energi potensial aliran sungai tersebut dapat dimanfaatkan.

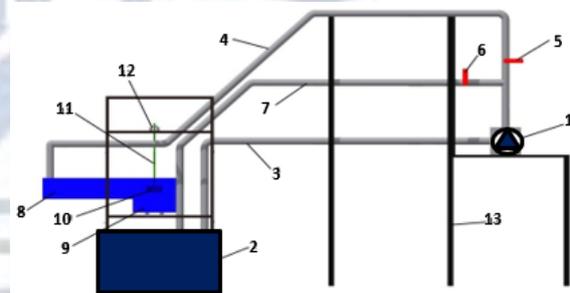
METODE

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Skema Pengujian



Gambar 2. Skema Alat Uji

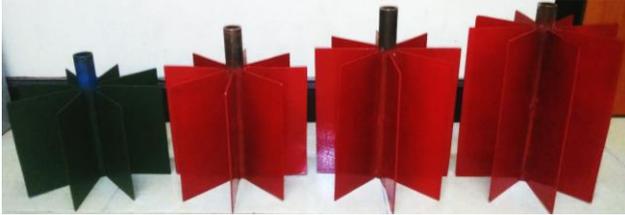
Tabel 1. Keterangan Skema Alat Uji

No	Keterangan	No	Keterangan
1	Pompa	8	Inlet Basin
2	Bak Penampung Air	9	Basin
3	Pipa Saluran Inlet Pompa	10	Turbine
4	Pipa Saluran Outlet Pompa	11	Poros Turbin
5	Katup Pengatur Kapasitas	12	Bearing
6	Katup Bypass	13	Rangka
7	Pipa Saluran Bypass		

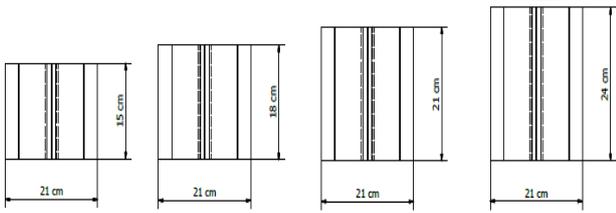
Variabel Penelitian

• Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 2013). Pada penelitian ini variabel bebas meliputi turbin dengan variasi tinggi sudu 15 cm, 18 cm, 21 cm, dan 24 cm. Berikut ini adalah gambar variasi tinggi sudu turbin:



Gambar 3. Turbin



Gambar 4. Dimensi Turbin

• Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2013). Pada penelitian ini variabel terikat meliputi daya dan efisiensi turbin reaksi aliran *vortex* pada tiap variasi tinggi sudu.

• Variabel Kontrol

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

- *Fluida* kerja adalah air.
- Turbin yang digunakan adalah turbin dengan jumlah sudu 8 dan diameter 21 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°.
- Menggunakan *basin cone* dengan sudut 67°.
- Kapasitas air yang digunakan 7,998 L/s, 9,309 L/s, 11,042 L/s, dan 13,443 L/s.
- Variasi pembebanan yang digunakan kenaikan 5000 gram dan 1000 gram hingga putaran turbin berhenti.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan teknik *eksperimen*, yaitu dengan menguji

dan mengukur objek yang diteliti menggunakan alat ukur yang sesuai, kemudian mencatat data-data yang diperoleh. Data-data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai daya dan efisiensi dari masing-masing variasi turbin.

Teknik Analisis Data

Penelitian ini termasuk dalam penelitian eksperimen, yaitu dengan menggunakan metode analisis data *deskriptif kualitatif*. Analisis untuk penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengambilan data dari alat ukur, kemudian hasil dari pengukuran dimasukkan ke dalam tabel, selanjutnya dihitung secara teoritis dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik sehingga hasil dari penelitian mudah dipahami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali, yang kemudian diambil nilai rata rata dari ketiga data tersebut. Variasi tinggi sudu turbin, yaitu 15 cm, 18 cm, 21 cm dan 24 cm dengan pembebanan kenaikan 5000g dan dilakukan penambahan sebesar 1000g sebelum turbin berhenti. Hal ini dilakukan agar data yang didapatkan lebih spesifik. Nilai yang diperoleh dari pengujian berupa putaran poros, beban pada neraca dan tinggi *vortex* yang selanjutnya dihitung dan diolah untuk mendapatkan nilai daya air, torsi, daya turbin dan efisiensi. Untuk memperoleh data diatas diperlukan beberapa perhitungan, yaitu:

• Perhitungan Kapasitas Air

Pengukuran kapasitas air yaitu dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot \tan \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}}$$

Dimana:

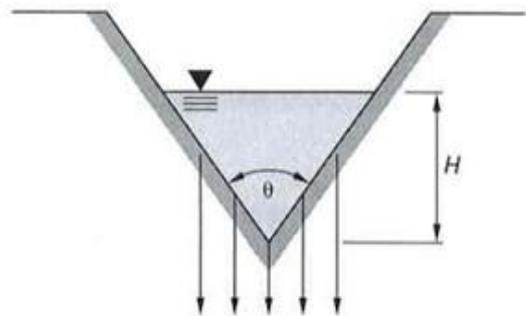
Q = Kapasitas yang sebenarnya (m³/s)

Cd = *Coefficient of Discharge*

H = Tinggi ambang (m)

θ = Sudut pada *V-notch weir* (°)

g = Gravitasi (9,81 m/s²)



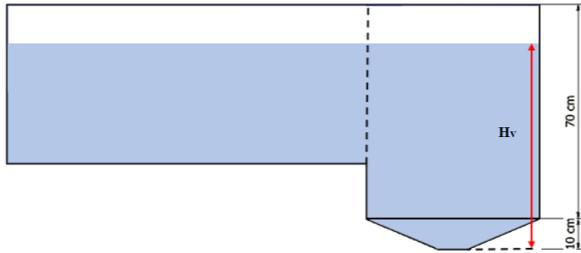
Gambar 5. Tinggi Ambang (H) pada *V-notch Weir*

- Daya Air yang Mengalir (Pa)
Daya air teoritis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Pa = Q \cdot \rho \cdot g \cdot Hv$$

Dimana:

- Pa = Daya air (watt)
- ρ = Massa jenis (kg/m^3)
- Q = Debit aliran (m^3)
- g = Gravitasi (m/s^2)
- Hv = Tinggi *vortex* (m)



Gambar 6. Tinggi *Vortex* (Hv) pada Basin

- Torsi (T)
Torsi dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = F \cdot r$$

Dimana:

- T = Torsi (Nm)
- F = Gaya (N)
- r = Jarak (m)

- Kecepatan Anguler (ω)
Kecepatan putaran turbin dihitung menggunakan persamaan :

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

Dimana :

- ω = Kecepatan (rad/s)
- π = Phi (3,14)
- n = Putaran (rpm)

- Daya Turbin (Pt)
Daya turbin dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Pt = T \cdot \omega$$

Dimana:

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

- Efisiensi Turbin (η_t)
Efisiensi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

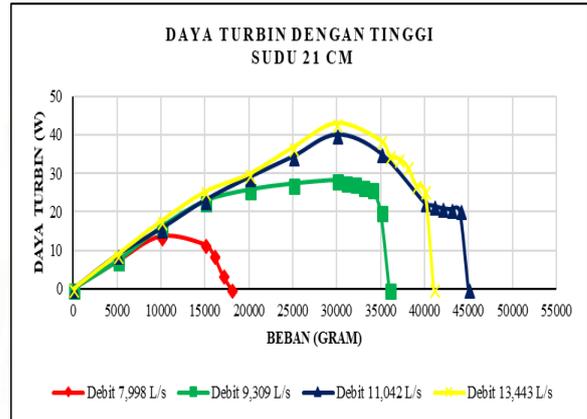
$$\eta = \frac{Pt}{Pa} \times 100\%$$

Dimana:

- η = Efisiensi turbin
- Pt = Daya turbin (Watt)
- Pa = Daya air (Watt)

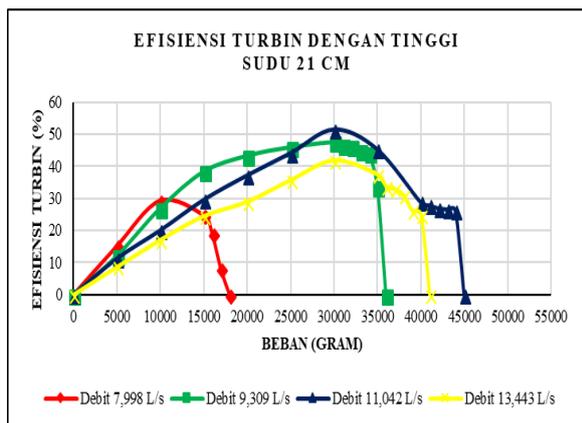
Pembahasan

- ❖ Pengaruh Variasi Kapasitas Air terhadap Daya dan Efisiensi Turbin pada Variasi Turbin dengan Tinggi Sudu 21 cm.



Gambar 7. Pengaruh Variasi Kapasitas Air terhadap Daya Turbin dengan Variasi Tinggi Sudu 21 cm

Berdasarkan gambar 9, terlihat turbin dengan tinggi sudu 21 cm dengan kapasitas 7,998 L/s memiliki nilai daya terendah pada pembebanan 10000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 13,553 watt, hal itu terjadi karena kapasitas aliran yang diberikan belum mampu mendorong turbin secara maksimal, sehingga luasan sudu yang terkena hantaman aliran sangat sedikit dan menyebabkan daya yang dihasilkan sangat kecil. Pada kapasitas 9,309 L/s, daya turbin yang dihasilkan mengalami kenaikan yang signifikan dengan nilai daya sebesar 28,249 watt pada pembebanan 30000 gram. Selanjutnya pada kapasitas 11,042 L/s, daya turbin mengalami kenaikan yang signifikan dengan nilai daya sebesar 40,068 watt pada pembebanan 30000 gram. Kemudian pada kapasitas 13,443 L/s, daya turbin mengalami kenaikan dengan nilai daya sebesar 42,971 watt pada pembebanan 30000 gram, hal itu terjadi karena dengan bertambahnya kapasitas maka luasan sudu yang terkena hantaman aliran semakin banyak walaupun kondisi turbin tersebut tidak terendam sempurna, sehingga turbin lebih tahan terhadap pembebanan tinggi dan menghasilkan daya yang lebih besar.

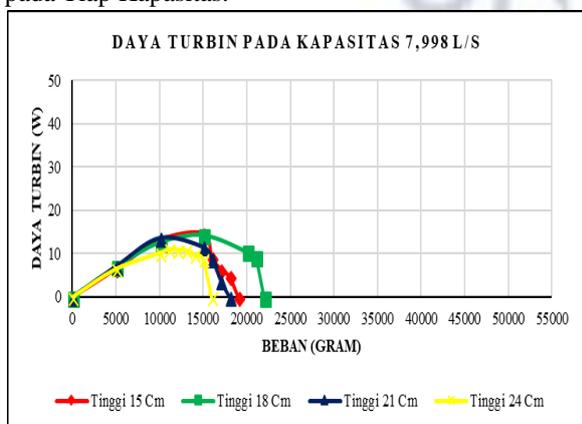


Gambar 8. Pengaruh Variasi Kapasitas Air terhadap Efisiensi Turbin dengan Variasi Tinggi Sudu 21 cm

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai kapasitas air, maka efisiensi yang dihasilkan cenderung mengalami kenaikan. Dalam hal ini daya turbin yang besar tidak selalu menghasilkan efisiensi yang besar pula.

Berdasarkan gambar 10, terlihat turbin dengan tinggi sudu 21 cm dengan kapasitas 7,998 L/s memiliki nilai efisiensi terendah pada pembebanan 10000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 29,276 %. Pada kapasitas 9,309 L/s, efisiensi turbin yang dihasilkan mengalami kenaikan yang signifikan dengan nilai efisiensi sebesar 47,589 % pada pembebanan 30000 gram. Selanjutnya pada kapasitas 11,042 L/s, efisiensi turbin mengalami kenaikan yang signifikan dengan nilai efisiensi sebesar 51,37 % pada pembebanan 30000 gram. Kemudian pada kapasitas 13,443 L/s, efisiensi turbin mengalami penurunan dengan nilai efisiensi sebesar 41,773 % pada pembebanan 30000 gram.

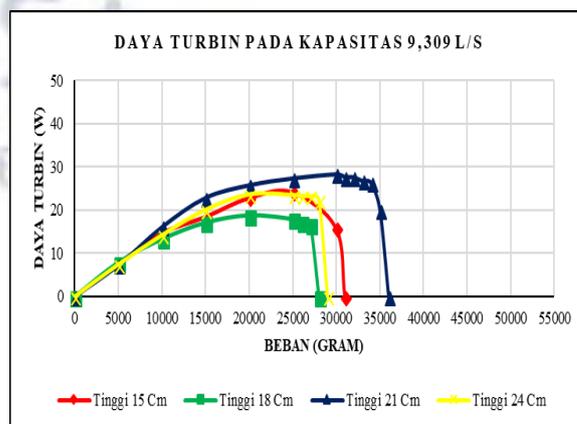
❖ Pengaruh Variasi Tinggi Sudu terhadap Daya Turbin pada Tiap Kapasitas.



Gambar 9. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu pada Kapasitas 7,998 L/s

Berdasarkan gambar 11, kapasitas yang diberikan mempengaruhi nilai daya turbin yang dihasilkan. Pada kapasitas tersebut, variasi yang dilakukan terhadap tinggi sudu turbin cenderung mengalami penurunan nilai daya. Dengan bertambahnya tinggi sudu, maka berat dari turbin juga bertambah, akibatnya air tidak dapat memberikan hantaman secara maksimal kepada turbin. Hal tersebut dapat dilihat saat turbin diberikan pembebanan, kondisi sebagian besar variasi tinggi sudu turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi yang berakibat turunnya nilai daya yang dihasilkan.

Dari grafik tersebut, turbin dengan tinggi sudu 15 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 15000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 14,602 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 19000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 18 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 15000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 14,374 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 22000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 10000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 13,553 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 18000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 24 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 11000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 10,996 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 16000 gram.

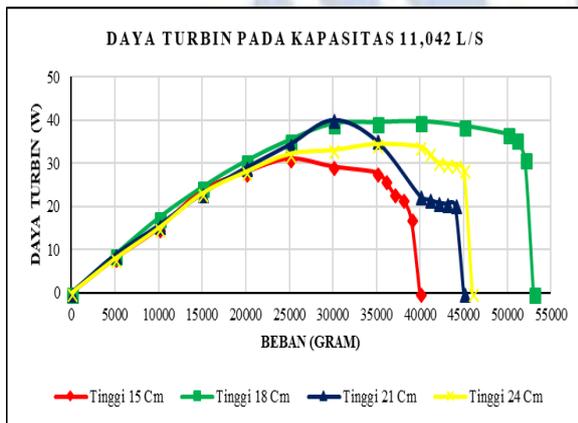


Gambar 10. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu pada Kapasitas 9,309 L/s

Berdasarkan gambar 12, turbin dengan tinggi sudu 15 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga

Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Berpenampang Lurus dengan Variasi Tinggi Sudu

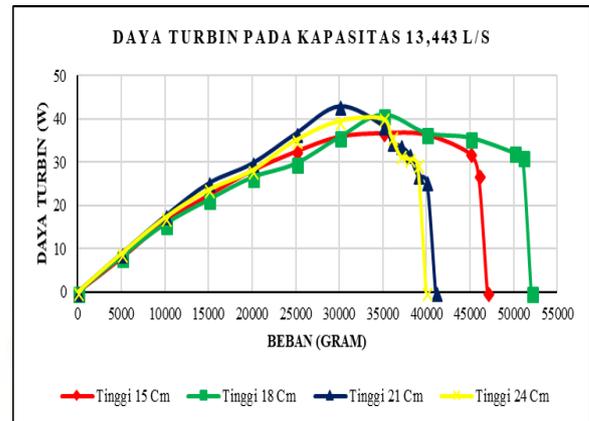
pembebanan 25000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 24,206 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 31000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 18 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 20000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 18,781 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 28000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 30000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 28,249 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 36000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 24 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 20000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 23,575 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 29000 gram.



Gambar 11. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu pada Kapasitas 11,042 L/s

Berdasarkan gambar 13, turbin dengan tinggi sudu 15 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 25000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 31,012 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 40000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 18 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 40000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 39,772 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 53000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 30000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 37,785 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 45000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 24 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan daya yang

dihasilkan sebesar 34,38 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 46000 gram.



Gambar 12. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu pada Kapasitas 13,443 L/s

Berdasarkan gambar 14, penambahan kapasitas sangat berpengaruh terhadap ketahanan pada pembebanan dan nilai daya yang dihasilkan. Pada kapasitas tersebut variasi yang dilakukan terhadap tinggi sudu turbin cenderung mengalami kenaikan nilai daya, walaupun kondisi beberapa turbin saat diberi pembebanan tidak terendam sempurna. Dengan bertambahnya kapasitas, luasan permukaan sudu yang terkena hantaman air menjadi lebih banyak, sehingga turbin lebih tahan terhadap pembebanan tinggi dan nilai daya yang dihasilkan lebih besar.

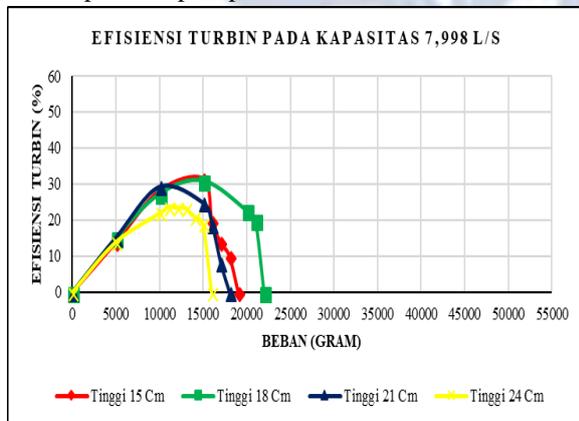
Dari grafik tersebut, turbin dengan tinggi sudu 15 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 36,811 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 47000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 18 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 41,023 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 52000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 30000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 42,97 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 41000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 24 cm, daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 40,099 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 40000 gram.

Berdasarkan gambar 11 hingga 14, pada setiap peningkatan kapasitas air, daya yang dihasilkan oleh

turbin juga semakin meningkat, hal ini juga diikuti oleh nilai pembebanan maksimal yang semakin meningkat pada setiap kenaikan kapasitas. Dengan peningkatan kapasitas air, daya air yang mengalir juga semakin tinggi, sehingga daya turbin yang dihasilkan juga meningkat. Daya tertinggi terletak pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm pada kapasitas 13,443 L/s dengan daya sebesar 42,97 Watt dengan pembebanan 30000 gram. Hal ini dikarenakan dengan peningkatan kapasitas luasan sudu turbin yang terkena hantaman aliran menjadi lebih banyak, sehingga dorongan terhadap turbin menjadi lebih kuat, turbin menjadi lebih tahan terhadap pembebanan sehingga torsi meningkat dan daya yang dihasilkan lebih besar.

Namun, tinggi sudu 21 cm dan 24 cm tidak tahan terhadap pembebanan tinggi daripada tinggi sudu 15 cm dan 18 cm, hal itu disebabkan oleh berat dari turbin yang lebih besar. Kondisi turbin dengan luasan permukaan sudu yang terkena hantaman lebih banyak lebih memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya turbin yang dihasilkan walaupun kondisi turbin tidak terendam sempurna daripada turbin yang tahan terhadap pembebanan walaupun turbin tersebut terendam sempurna.

❖ Pengaruh Variasi Tinggi Sudu terhadap Efisiensi Turbin pada Tiap Kapasitas.

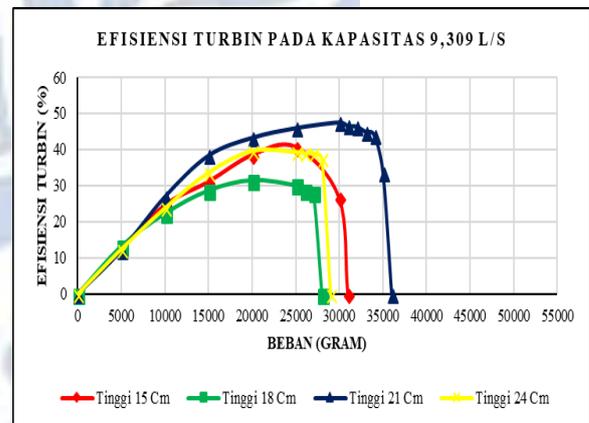


Gambar 13. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu pada Kapasitas 7,998 L/s

Berdasarkan gambar 15, kapasitas yang diberikan mempengaruhi nilai efisiensi turbin yang dihasilkan. Pada kapasitas tersebut, variasi yang dilakukan terhadap tinggi sudu turbin cenderung mengalami penurunan nilai efisiensi. Dengan bertambahnya tinggi sudu, maka berat dari turbin juga bertambah, akibatnya air tidak dapat memberikan hantaman secara maksimal kepada turbin. Hal tersebut dapat dilihat saat turbin diberikan pembebanan, kondisi sebagian besar variasi turbin tidak terendam,

akibatnya turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi yang berakibat turunnya nilai efisiensi yang dihasilkan.

Dari grafik tersebut, turbin dengan tinggi sudu 15 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 15000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 31,541 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 19000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 18 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 15000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 31,05 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 22000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 10000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 29,276 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 18000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 24 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 11000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 10,996 watt dan mengalami penurunan efisiensi daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 23,753 %.

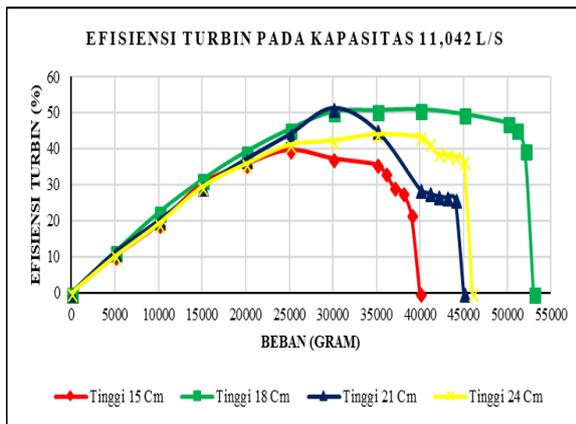


Gambar 14. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu pada Kapasitas 9,309 L/s

Berdasarkan gambar 16, turbin dengan tinggi sudu 15 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 25000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 40,778 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 31000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 18 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 20000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 31,639 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 28000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat

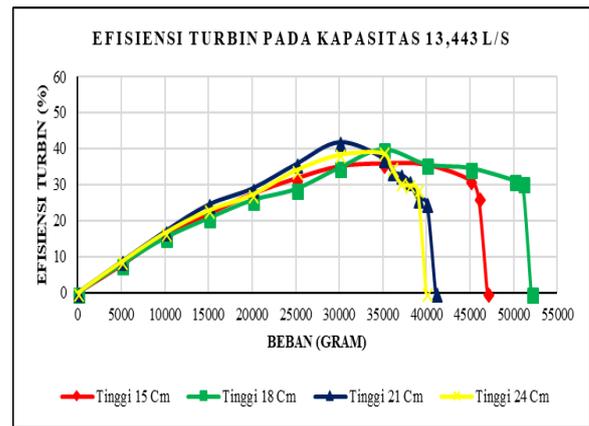
Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Berpenampang Lurus dengan Variasi Tinggi Sudu

hingga pembebanan 30000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 47,589 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 36000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 24 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 20000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 39,716 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 29000 gram.



Gambar 15. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu pada Kapasitas 11,042 L/s

Berdasarkan gambar 17, turbin dengan tinggi sudu 15 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 25000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 39,761 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 40000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 18 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 40000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 50,991 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 53000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 30000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 51,37 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 45000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 24 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 44,077 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 46000 gram.



Gambar 16. Pengaruh Variasi Tinggi Sudu pada Kapasitas 13,443 L/s

Berdasarkan gambar 18, penambahan kapasitas sangat berpengaruh terhadap ketahanan pada pembebanan dan nilai efisiensi yang dihasilkan. Pada kapasitas tersebut variasi yang dilakukan terhadap tinggi sudu turbin cenderung mengalami penurunan nilai efisiensi, walaupun dengan bertambahnya kapasitas luasan permukaan sudu yang terkena hantaman air menjadi lebih banyak, akan tetapi tidak semua penambahan kapasitas dan pembebanan menyebabkan efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi.

Dari grafik tersebut, turbin dengan tinggi sudu 15 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 39,761 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 40000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 18 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 40000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 50,991 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 53000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 30000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 51,37 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 45000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 24 cm, efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 44,077 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 46000 gram.

Berdasarkan gambar 15 hingga 18, terlihat bahwa efisiensi yang dihasilkan turbin air meningkat karena adanya peningkatan pada pembebanan. Terlihat pada setiap variasi tinggi sudu yang dimana meningkatnya pembebanan yang diberikan menyebabkan peningkatan efisiensi turbin. Hal ini dikarenakan torsi yang dihasilkan semakin besar. Torsi yang semakin besar terjadi karena adanya peningkatan pembebanan dan torsi yang semakin besar menyebabkan daya turbin yang dihasilkan semakin besar. Tetapi, dengan peningkatan pembebanan yang semakin besar akan menghasilkan gaya yang lebih besar sehingga dapat menghentikan putaran poros. Putaran poros yang berhenti menyebabkan tidak adanya daya maupun efisiensi yang dihasilkan. Akan tetapi, tidak semua penambahan kapasitas dan pembebanan yang tinggi menghasilkan efisiensi yang tinggi pula. Pembebanan yang tinggi dengan kapasitas yang tinggi hanya menghasilkan efisiensi yang rendah. Hal ini dikarenakan dengan kenaikan kapasitas air maka daya air yang mengalir juga semakin besar, namun daya turbin yang dihasilkan tidak sebanding dengan kenaikan daya air yang mengalir, sehingga efisiensi yang dihasilkan semakin menurun, mengingat efisiensi merupakan perbandingan antara daya turbin dan daya air yang mengalir dikali seratus persen.

Pengaruh variasi tinggi sudu terhadap efisiensi turbin yang dihasilkan menunjukkan bahwa turbin dengan tinggi sudu 21 cm memiliki nilai efisiensi tertinggi yaitu sebesar 51,37 % pada kapasitas 11,042 L/s dengan pembebanan 30000 gram. Hal ini dikarenakan luasan sudu yang terkena hantaman aliran menjadi lebih banyak walaupun kondisi turbin tersebut tidak terendam sempurna. Namun, tinggi sudu 21 cm dan 24 cm tidak tahan terhadap pembebanan tinggi daripada tinggi sudu 15 cm dan 18 cm, hal itu disebabkan oleh berat dari turbin yang lebih besar. Kondisi turbin dengan luasan permukaan sudu yang terkena hantaman lebih banyak lebih memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya turbin yang dihasilkan walaupun kondisi turbin tidak terendam sempurna daripada turbin yang tahan terhadap pembebanan walaupun turbin tersebut terendam sempurna.

PENUTUP

Simpulan

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

- ❖ Daya tertinggi terdapat pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm dengan kapasitas 13,443 L/s, yaitu 42,97 watt pada pembebanan 30000 gram, diikuti oleh turbin dengan tinggi sudu 18 cm dengan kapasitas 13,443 L/s, yaitu 41,023 watt pada pembebanan 35000 gram, diikuti oleh turbin dengan tinggi sudu 24 cm dengan kapasitas 13,443 L/s, yaitu 40,099 watt pada pembebanan 35000 gram, dan yang paling rendah terdapat pada turbin dengan tinggi sudu 15 cm dengan kapasitas 13,443 L/s, yaitu 36,811 watt pada pembebanan 35000 gram.
- ❖ Efisiensi tertinggi terdapat pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm dengan kapasitas 11,042 L/s, yaitu 51,37 % pada pembebanan 30000 gram, diikuti oleh turbin dengan tinggi sudu 18 cm dengan kapasitas 11,042 L/s, yaitu 50,991 % pada pembebanan 40000 gram, diikuti oleh turbin dengan tinggi sudu 24 cm dengan kapasitas 11,042 L/s, yaitu 44,077 % pada pembebanan 35000 gram, dan yang paling rendah terdapat pada turbin dengan tinggi sudu 15 cm dengan kapasitas 9,309 L/s, yaitu 40,778 % pada pembebanan 25000 gram.

Saran

Pada penelitian variasi tinggi sudu turbin ini masih dibutuhkan lagi tinggi sudu yang lebih spesifik dan mendetail untuk mendapatkan ukuran dimensi yang sesuai, kemungkinan dengan ukuran atau desain yang lain dapat meningkatkan nilai daya dan efisiensi turbin serta penelitian lanjutan dalam menentukan jenis material yang digunakan untuk mengoptimalkan daya dan efisiensinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afryzal, 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 147-157.
- Baskoro, Mahendra Bagus dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2017. "Uji Eksperimental Pengaruh Sudut *Basin Cone* Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex*". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (2): hal 81-91.
- Christin., McNabola, Aonghus., Paul, Coughlan. 2016. "A Parametric Experimental Investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex Hydropower (GVHP)". *Journal of Clean Energy Technologies*, Vol. 4, No. 2, March 2016.
- Junarto, Fajar. 2016. "Pengaruh Variasi Tinggi Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Air Darrieus Profil NACA 0018 Tipe Poros Vertikal." Malang: Universitas Brawijaya.

- Khurmi, R.S., J.K. Gupta. 2005. *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.
- Kueh, T. C., Shiao Lin Beh, Dirk Rilling, and Yongson Ooi. 2014. "Numerical Analysis of Water Vortex Formation for the Water Vortex Power Plant". *International Journal of Innovation, Management and Technology*. Vol. 5 (2): pp 111-115.
- Kurniawan, Hudan Achmad dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2017. "Pengaruh Sudut *Inlet Notch* Pada Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Terhadap Daya dan Efisiensi". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (2): hal 61-69.
- Mulligan, S., and P. Hull. (2010). "Design and Optimisation Of A Water Vortex Hydropower Plant". Institute of Technology Sligo Research.
- Munson, Bruce, R., Young, Donald, F., Okiishi, Theodore, H., "Fundamentals of Fluid Mechanics Fifth Edition". Jhon Wiley & Sons Inc., 2006.
- Pratama, Bhella. 2014. "Pengaruh Tinggi Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L." Malang: Universitas Brawijaya.
- Sandeputra, Atha Firdaus dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2017. "Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Variasi Jarak Sudu Dengan Saluran Keluar Basin". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 5 (2): hal 113-121.
- Sihombing, Ray Posdam J. dan Syahril Gultom. 2014. "Analisa Efisiensi Turbin *Vortex* Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Pada Sudu Berdiameter 56 Cm Untuk 3 Variasi Jarak Sudu Dengan Saluran Keluar". *Jurnal e-Dinamis*. Vol 10: no.2.
- Sugiyono. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif Dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Widiyatmoko. 2012. "Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Output Listrik Pada Turbin *Vortex*". Tesis tidak diterbitkan. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Yani, Ahmad., Mihdar, dan Rudi Erianto. 2016. "Pengaruh Variasi Bentuk Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Kinetik (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan)." *TURBO*. Vol. 5 (1): hal 8-13.
- Zoeloterer, Franz. 2002. "Zoeloterer Gravitational Vortex Power Plant, (Online), (<http://www.zoeloterer.com>, diakses tanggal 03 Oktober 2017 pukul 18.34). Djuhana. "Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB". Jurusan Teknik Mesin Universitas Mercubuana.