

UJI EKSPERIMENTAL KINERJA TURBIN REAKSI ALIRAN *VORTEX* TIPE SUDU BERPENAMPANG LURUS DENGAN LUAS OPTIMUM SUDU

Tutur Maulana

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: tuturmaulana@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

Abstrak

Saat ini energi listrik merupakan salah satu sumber energi yang sangat dibutuhkan bagi kehidupan manusia, baik dalam sektor rumah tangga, publik maupun industri. Salah satu bentuk energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi potensi air, dan penggunaan turbin *vortex* sangat berguna untuk memaksimalkan potensi tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui daya dan efisiensi yang dihasilkan dari luas optimum sudu turbin reaksi aliran *vortex* tipe sudu berpenampang lurus. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu dengan membuat turbin *vortex* tipe sudu berpenampang lurus yang memiliki luasan dengan tinggi 19 cm, 20 cm, 21 cm, dan lebar 27 cm yang menggunakan kapasitas air 8,069 L/s, 9,413 L/s, 10,803 L/s, dan 12,341 L/s. Variasi pembebanan yang digunakan kenaikan 5000 gram hingga putaran poros pada turbin berhenti. Pengujian akan dilakukan hingga mendapatkan hasil daya dan efisiensi pada aliran *vortex*. Daya tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan tinggi sudu 19 cm yang terjadi pada kapasitas 12,341 L/s dengan pembebanan 40000 gram, memiliki daya sebesar 44,44 watt. Efisiensi tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan tinggi 19 cm yang terjadi pada kapasitas 10,803 L/s dengan pembebanan 45000 gram, memiliki efisiensi sebesar 53,82 %. Dari hasil penelitian ini, didapatkan semakin luas permukaan turbin semakin rendah nilai daya dan efisiensi. Hal ini disebabkan oleh massa turbin yang mempengaruhi putaran poros pada turbin.

Kata kunci : Turbin, Turbin *Vortex*, Sudu Berpenampang Lurus, Tinggi Sudu, Lebar Sudu

Abstract

When this electric energy is one energy source that is very necessary for human life, both in the sectors of household, public and industry. One of the forms of energy that can be harnessed is the energy potential of water, and use the turbine vortex is very useful to maximize the potential. The purpose of this study is to determine the power and efficiency resulting from the broad optimum of the turbine blade reaction flow vortex type of the blade cross-section is straight. This research uses experimental methods, namely by making the turbine vortex type blade section straight that has an area with a height of 19 cm, 20 cm, 21 cm, and a width of 27 cm using a water capacity of 8,069 L/s, 9,413 L/s, 10,803 L/s, and 12,341 L/s. Load variation that is used the increase of 5000 grams to a round shaft on the turbine stops. Testing will be done to get the power and efficiency of the vortex flow. The highest power generated by the turbine with high blade of 19 cm, which occurs on the capacity of 12,341 L/s with a loading 40000 grams, has a power of 44,44 watts. The highest efficiency is produced by the turbine with a height of 19 cm which occurs on the capacity of the 10,803 L/s with a loading 45000 grams, has an efficiency of 53,82 %. From the results of this study, the surface area of the turbine the lower the value of power and efficiency. This is caused by the turbine mass that affects the shaft rotation of the turbine.

Keywords: Turbine, Vortex Turbine, Straight-Sided Blades, Blades Height, Blades Width

PENDAHULUAN

Saat ini energi listrik merupakan salah satu sumber energi yang sangat dibutuhkan bagi kehidupan manusia, baik dalam sektor rumah tangga, publik maupun industri. Pada saat ini energi yang masih digunakan di Indonesia masih berasal dari energi fosil yaitu minyak bumi dan gas. Penyediaan energi listrik sudah merupakan salah satu kewajiban yang harus dipenuhi di setiap daerah agar perekonomian berjalan.

Penggunaan sumber daya alam fosil seperti gas alam dan minyak bumi mencapai 55%

sedangkan batu bara mencapai 25% dari total keseluruhan ketersediaan energi yang ada pada bumi dan untuk energi yang terbarukan seperti air, angin, panas matahari dan biomassa sebesar 3% saja, menurut Yam (2010).

Dari permasalahan yang terjadi kita harus memulai dengan berbagai cara yang berbeda demi terciptanya energi alternatif yang dapat meminimalkan penggunaan energi fosil yang saat ini selalu digunakan, agar jumlahnya tidak semakin menipis. Hal tersebutlah yang membuat banyak orang berusaha mencari

sumber energi baru terbarukan dan tentunya yang ramah lingkungan.

Penyediaan listrik yang tidak merata disetiap daerah menjadi masalah yang paling penting dalam proses kehidupan dan kegiatan masyarakat. Namun saat ini pemerintah masih belum mampu menyediakan kebutuhan energi listrik. Salah satu bentuk energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi potensi air. Potensi air di Indonesia cukup besar termasuk didalamnya potensi sumber daya mini atau mikrohidro.

Seiring dengan besarnya potensi dari pembangkit listrik tenaga air perlu didirikan beberapa Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) untuk dapat memaksimalkan potensi tersebut di daerah-daerah terpencil yang ada di Indonesia. Menurut Dwiyanto, Dkk, (2016) Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan suatu pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 100 kW) yang menggunakan air sebagai tenaga penggerak, seperti saluran irigasi, jumlah debit air dan sungai atau air terjun dengan memanfaatkan tinggi dari terjunan.

Turbin air merupakan sebuah mesin konversi energi yang merubah energi mekanik menjadi energi kinetik, kemudian menjadi energi potensial dan selanjutnya menjadi energi listrik. 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. Pemanfaatan aliran sungai yang memiliki *head* rendah saat ini belum adanya solusi dalam permasalahan tersebut.

Turbin *vortex* memiliki *head* yang rendah sekitar 0,7 - 3 m dengan debit 50 Ls dan juga adalah salah satu jenis turbin mikrohidro yang memanfaatkan pusaran air sebagai penggerak sudunya (Mohan, Anjali M. 2016).

Salah satu jenis turbin yang cocok diaplikasikan pada *head* rendah adalah turbin reaksi yang digerakan dengan aliran *vortex*. Aliran *vortex* dikenal sebagai aliran pulsating atau pusaran yang terjadi pada suatu fluida yang mengalir dalam suatu saluran yang mengalami perubahan mendadak, perubahan aliran ini yang menggerakkan sudu-sudu pada turbin. Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetik pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah sehingga poros akan berputar.

Peneliti Muligan dan Hull (2010) yang berjudul “*Design and Optimisation of a Water Vortex Hydropower Plant*”, menyatakan bahwa kekuatan pusaran optimum terjadi dalam rentang rasio berdiameter 14% - 18%, untuk ketinggian *vortex* bervariasi secara linear dan debit, dan untuk rumus daya air maksimal bisa menggunakan $P=p.g.Q.H_v$ (H_v = Tinggi *Vortex*). Penelitian ini menjelaskan tentang *vortex* yang akan menjadi referensi pada peneliti yang akan dilakukan pada turbin aliran *vortex*.

Penelitian yang dilakukan oleh Widyatmoko (2012) yang berjudul “Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Output Listrik Pada Turbin *Vortex*”, hasil penelitian menunjukkan bahwa pada jumlah sudu sebanyak 2, 3, 4, 6, dan 8 buah, semakin banyak sudu semakin naik daya output listrik turbin *vortex*. Efisiensi tertinggi 6,02% diperoleh pada jumlah sudu 8 dan pada daya 1,85 watt dengan verifikasi daya mekanik 3,44 watt. Penelitian diatas belum menjelaskan tentang pengaruh variasi luasan optimum sudu sehingga peneliti akan melakukan penelitian yang bervariasi luasan optimum sudu pada turbin.

Penelitian yang dilakukan oleh Sandeputra, Atha Firdaus dan Adiwibowo Priyo Heru (2017) yang berjudul “Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Variasi Jarak Sudu dengan Saluran Keluar Basin”, didapatkan bahwa daya tertinggi terjadi pada jarak sudu dengan saluran keluar basin 3 cm dengan kapasitas air 8,899 L/s pada pembebanan 25000 gram diperoleh daya 25,4005 watt, dan efisiensi tertinggi terdapat pada jarak 3 cm dengan kapasitas 5,647 L/s dan pembebanan 15000 gram diperoleh efisiensi sebesar 56,189 %. Turbin dengan jarak sudu 3 cm membuat aliran air tidak mudah keluar ke saluran buang sehingga turbin dapat mengoptimalkan kapasitas air yang mengalir. Hasil penelitian ini sangat dibutuhkan oleh peneliti untuk mendapatkan hasil optimum yang akan dilakukan peneliti yang untuk datanya mengambil data dari penelitian tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Afryzal, Nikita Randy dan Adiwibowo Priyo Heru (2017) yang berjudul “Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar”, menyatakan bahwa diantara 6 sudu, 8 sudu, dan 10 sudu menunjukkan bahwa 8 sudu memiliki daya tertinggi sebesar 21,84 watt pada kapasitas 8,89

L/s dengan beban 25000 gram dan efisiensi sebesar 44,3%. Hal ini dikarenakan turbin dengan sudu 8 memiliki jarak antar sudu lebih renggang karena memiliki sudu yang lebih sedikit, hal ini yang mengakibatkan volume air yang masuk kedalam celah tiap turbinnya semakin banyak. Penelitian ini hanya menjelaskan tentang jumlah sudu tetapi tidak pada ukuran pada ukuran sudu maka dari itu penelitian ini akan di jadikan referensi dalam menentukan jumlah sudu yang akan diteliti.

Penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan, Hudan Achmad dan Adiwibowo Priyo Heru (2017) yang berjudul “Pengaruh Sudut *Inlet Notch* Pada Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Terhadap Daya dan Efisiensi”, menyatakan bahwa untuk mengetahui pengaruh variasi sudut sudu pengaruh terhadap daya dan efisiensi pada turbin reaksi aliran *vortex*. Sudu pengaruh dengan sudut $17,82^\circ$ memiliki daya dan efisiensi paling optimal dengan kapasitas 8,1327077 L/s dengan pembebanan 15.000 gram (57,26%). Penelitian ini akan dijadikan referensi untuk mendapatkan hasil daya dan efisiensi pada penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti.

Penelitian yang dilakukan oleh Wibawanto, Herning Hapsari dan Adiwibowo Priyo Heru (2018) yang berjudul “Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Variasi Lebar Sudu”, menyatakan bahwa lebar diameter turbin 27 cm memiliki daya dan efisiensi paling optimal, yaitu pada kapasitas air sebesar 11,04 L/s dengan pembebanan 40000 gram yaitu sebesar 40 watt dan efisiensi sebesar 51,33%. Hasil Penelitian ini sangat dibutuhkan oleh peneliti untuk mendapatkan hasil optimum pada hasil penelitian yang akan dilakukan karena penelitian yang akan dilakukan mengambil hasil optimum pada penelitian tersebut.

Berdasarkan latar belakang dan beberapa penelitian yang dilakukan, dalam penelitian ini mencoba melakukan kajian untuk mengoptimalkan daya dan efisiensi turbin reaksi aliran *vortex* dengan memvariasikan tinggi sudu berpenampang plat datar.

Diharapkan dengan penelitian eksperimen ini dapat menghasilkan pengetahuan tentang analisa performa turbin yang baik untuk diaplikasikan pada pembangkit listrik skala kecil atau dengan jatuhnya air yang rendah.

METODE

Variabel Penelitian

❖ Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 2013). Variabel bebas dalam penelitian ini:

- Variasi tinggi sudu turbin: 19 cm, 20 cm, 21 cm.



Gambar 1. Turbin

❖ Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2013). 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; 50000 g, 10000 g, 15000 g, 20000 g, hingga turbin berhenti berputar.

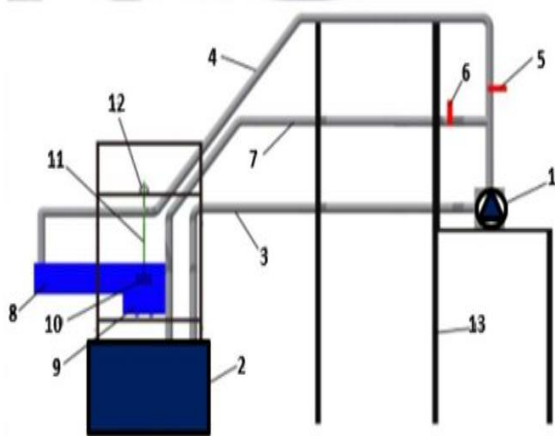
❖ Variabel Kontrol

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 pengaruh 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:

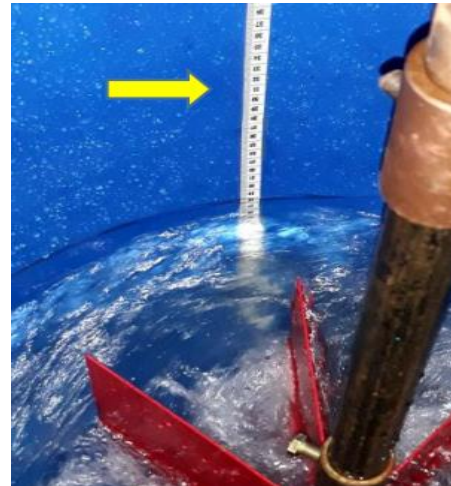
1. Pompa
2. Bak penampung air (*Reservoir*)
3. Pipa saluran *inlet* pompa
4. Pipa saluran *outlet* pompa
5. Katup pengatur debit
6. Katup *bypass*
7. Pipa saluran *bypass*
8. *Inlet basin*
9. *Basin*
10. Turbin
11. Poros turbin
12. *Bearing*
13. Rangka



Gambar 3. Basin



Gambar 4. V-notch Weir



Gambar 5. Meteran



Gambar 6. Pompa

Teknik Pengambilan Data

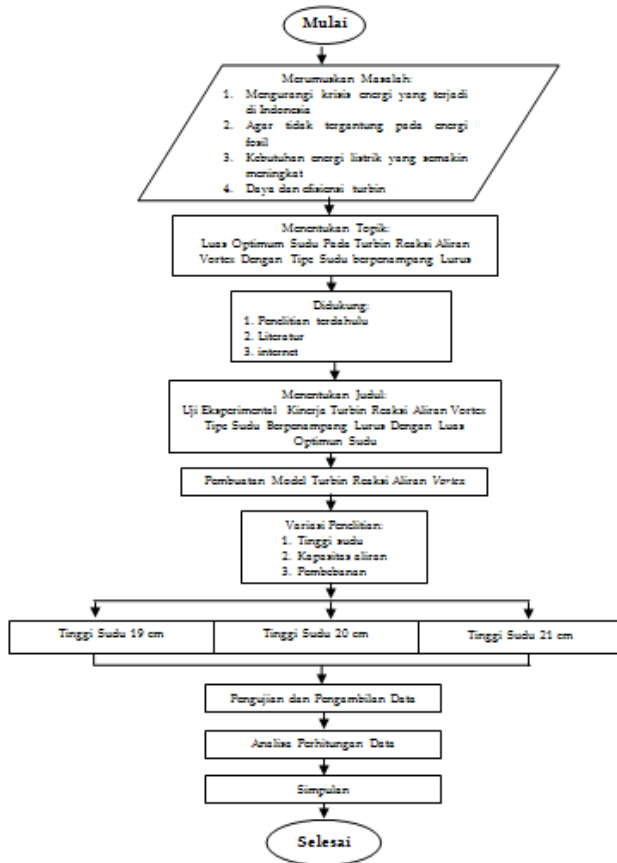
Teknik pengambilan data ini yaitu menggunakan teknik eksperimen dimana dengan menguji dan mengukur objek yang sedang diteliti menggunakan alat ukur yang sesuai, kemudian dicatat semua data yang diperoleh. Data-data tersebut kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai daya dan efisiensi dari masing-masing 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 7. 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 tinggi sudu turbin yang diuji adalah turbin dengan tinggi sudu 19 cm, 20 cm dan 21 cm. Dengan pembebanan sebesar 5000g, 10000g, 15000g, 20000g, 25000g, 30000g, 35000g, 40000g, 45000g, 50000g, sampai turbin berhenti berputar dan variasi kapasitas air yang di gunakan sebesar 8,069134 L/s, 9,41399 L/s, 10,80344 L/s, 12,34103 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 5000g dan dilakukan penambahan sebesar 1000g sebelum turbin berhenti. Ada beberapa proses perhitungan untuk memperoleh hasil data, yaitu:

- Menghitung Kapasitas Air (Q)
Daya air dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan:

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

Keterangan:

Q = Kapasitas air (m³/s)

Cd = Coefficient of Discharge

θ = Sudut pada V-notch weir (°)

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

H = Tinggi ambang (m)

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:

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

Keterangan:

Pa = Daya air (Watt)

Q = Debit air (m³/s)

ρ = Massa jenis Fluida (kg/m³)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

H_v = Tinggi vortex (m)

- Menghitung Torsi Turbin (T)
Torsi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T = F \cdot r$$

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

Keterangan:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

- r = Jari-jari poros putaran
- Mbeban = Masa Beban (kg)
- Mneraca = Massa pada neraca (kg)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)

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

$$Pt = T \cdot \omega$$

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:

$$\eta = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\%$$

Keterangan:

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

Pembahasan

Peneliti sebelumnya yaitu Muhammad Farid Rahman Hakim meneliti variasi tinggi dengan variasi tinggi 15 cm, 18 cm, 21 cm, 24 cm dan lebar 21 cm. Mendapatkan tinggi maksimal pada ketinggian 21 cm yang menghasilkan daya 42,97 watt dan efisiensi 51,37 % , menjelaskan bahwa dengan ketinggian 21 cm turbin tidak tenggelam sempurna.

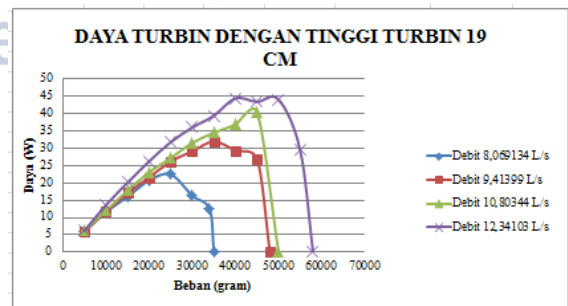
Penelitian yang lain juga yaitu Herning Hapsari Wibawanto meneliti variasi lebar turbin dengan variasi lebar 21 cm, 27 cm, 33 cm, 39 cm, dan tinggi 15 cm. Mendapatkan lebar maksimal pada lebar 27 cm yang menghasilkan daya 40 watt dan efisiensi 51,33 %. Pada penelitian selanjutnya membahas luasan pada hasil tinggi dan lebar maksimal yang sudah diteliti sebelumnya untuk mendapatkan hasil luas yang optimum.

Hasil yang telah didapat dari peneliti sebelumnya digabungkan menjadi luasan dengan bervariasi luasan persegi pada turbin,yaitu variasi tinggi 19 cm,

20 cm, 21cm, dan lebar 27 cm, agar mendapatkan hasil daya dan efisiensi yang maksimal. Setelah diteliti dan diuji ternyata pada tinggi 19 cm mendapatkan hasil yang paling tinggi dengan hasil daya 44,44 watt dan efisiensi 53,82 % dengan turbin yang tenggelam sempurna. Hasil yang di dapat dipengaruhi oleh luasan persegi yang menyebabkan massa turbin semakin berat dan tinggi air pada basin *vortex* pada saat turbin berputar. Luasan masing-masing turbin yaitu 405 cm², 513 cm², 540 cm², 567 cm dan 441 cm² pada tinggi turbin 15 cm,19 cm, 20 cm, 21 cm, dengan lebar 27 cm dan tinggi turbin 21 cm dengan lebar 21 cm.

Semakin besar luas penampang turbin yang diterpa air, putaran poros semakin cepat, tetapi tidak untuk turbin 20 cm dan 21 cm karena pada massa turbinnya mempengaruhi kecepatan putaran. Semakin berat turbin semakin lambat pada putarannya, berat masing-masing turbin yaitu 2,7 kg, 3,6 kg, 3,9 kg, 4 kg, 2,8 kg pada tinggi turbin 15 cm, 19 cm, 20 cm, 21 cm dengan lebar 27 cm, dan tinggi turbin 21 cm dengan lebar 21 cm. Pada tinggi turbin 19 cm daya dan efisiensi menghasilkan nilai tertinggi pada putaran atau Rpm 136 dengan ketinggian air pada basin *vortex* 39 cm pada pembebanan 40 kg, menghasilkan daya sebesar 44,44 watt, pada putaran atau Rpm 115 dengan ketinggian air pada basin *vortex* 34 cm pada pembebanan 45 kg, menghasilkan efisiensi 53,82 %. Sedangkan pada turbin 20 cm dan 21 cm menghasilkan tinggi air pada basin vortex 36 cm pada putaran atau Rpm 120-129, pada pembebanan 35 kg, pada tinggi turbin 20 cm mendapatkan hasil daya 36,43 watt dan efisiensi 48,41 %, dan pada tinggi turbin 21 cm mendapatkan hasil m daya 33,42 watt dan efisiensi 36,80 %.

- ❖ Pengaruh Variasi Kapasitas Air Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin pada Turbin dengan Tinggi Sudu 19 cm.

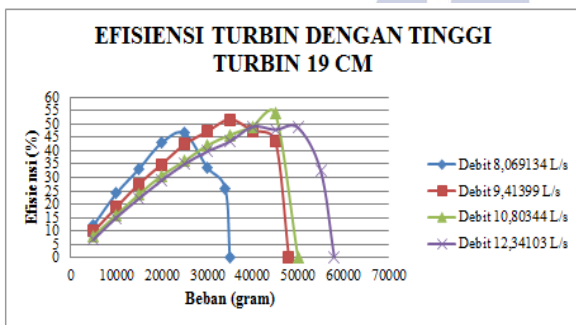


Gambar 8. Grafik Daya Turbin dengan Tinggi Sudu 19 cm

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai kapasitas air, maka kecepatan putaran (rpm) turbin semakin meningkat dan turbin juga

tahan terhadap pembebanan sehingga torsi yang dihasilkan lebih besar yang mempengaruhi hasil terhadap nilai daya turbin. Tetapi ada saatnya nilai daya mengalami penurunan yang disebabkan oleh penambahan beban yang diberikan, sehingga putaran (rpm) semakin menurun walaupun torsi yang dihasilkan semakin meningkat.

Berdasarkan pada gambar 4.2 terlihat turbin dengan tinggi 19 cm dengan kapasitas 8,069 L/s memiliki nilai daya terendah dengan daya yang dihasilkan sebesar 22,475 watt pada pembebanan 25000 gram. Pada kapasitas 9,413 L/s daya turbin yang dihasilkan mengalami kenaikan dengan nilai daya sebesar 31,968 watt pada pembebanan 35000 gram. Selanjutnya pada kapasitas 10,803 L/s daya turbin mengalami kenaikan signifikan dengan nilai daya sebesar 40,50 watt dengan pembebanan 45000 gram. Dan kemudian pada kapasitas 12,341 L/s daya turbin mengalami kenaikan dengan nilai daya sebesar 44,441 watt pada pembebanan 40000 gram.



Gambar 9. Grafik Efisiensi Turbin dengan Tinggi Sudu 19 cm

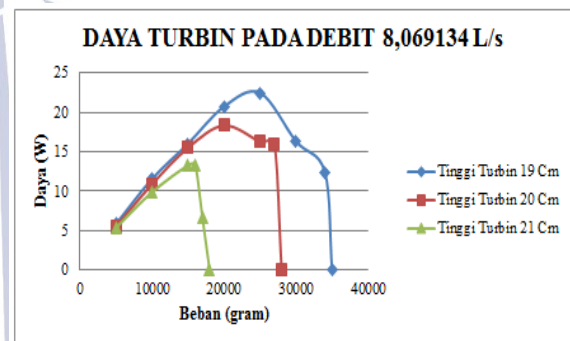
Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai kapasitas air, maka efisiensi yang dihasilkan cenderung menurun. Yang disebabkan karena bertambahnya kapasitas air maka ketinggian *vortex* menjadi naik. Menyebabkan nilai head air semakin besar mengakibatkan nilai daya air semakin besar. Tidak semua penambahan kapasitas menyebabkan efisiensi turun, efisiensi turbin terjadi karena ada perbandingan antara daya turbin dengan daya air dikali seratus persen. Hal ini daya turbin yang besar tidak selalu menghasilkan efisiensi yang besar pula.

Berdasarkan gambar 4.8 terlihat turbin dengan tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 8,069 L/s memiliki nilai efisiensi terendah sebesar 46,545 % pada pembebanan 25000 gram. Pada kapasitas 9,413 L/s efisiensi turbin yang dihasilkan mengalami kenaikan yang signifikan dengan nilai efisiensi sebesar 51,665 % pada pembebanan 35000 gram. Untuk kapasitas 10,803 L/s efisiensi

turbin mengalami kenaikan dengan nilai efisiensi sebesar 53,823 % pada pembebanan 45000 gram. Kemudian pada kapasitas 12,341 L/s efisiensi turbin mengalami penurunan dengan nilai efisiensi sebesar 48,944 % pada pembebanan 40000 gram.

Dari grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa pada turbin dengan tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 10,83 L/s pada pembebanan 45000 gram, memiliki nilai efisiensi tertinggi sebesar 53,823 %. Nilai efisiensi terendah pada kapasitas 8,069 L/s terjadi pada pembebanan 25000 gram sebesar 46,545 %.

❖ Pengaruh Variasi Tinggi Sudu Turbin Terhadap Daya Turbin Pada Tiap Kapasitas.



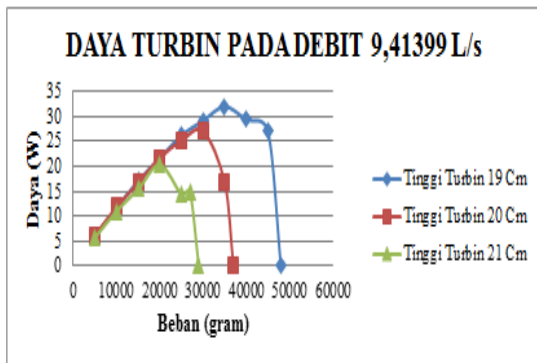
Gambar 10. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 8,069 L/s

Berdasarkan gambar 10 pada kapasitas tersebut variasi yang dilakukan terhadap tinggi sudu dapat mempengaruhi nilai daya pada turbin yang cenderung mengalami penurunan nilai daya. Dengan bertambahnya tinggi sudu maka berat dari turbin juga bertambah, akibatnya air tidak dapat memberikan hantaman secara maksimal terhadap turbin. Penambahan beban terhadap turbin mengakibatkan sebagian besar variasi tinggi sudu turbin tidak terendam, mengakibatkan turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi yang mengakibatkan penurunan terhadap nilai daya yang dihasilkan.

Dari hasil grafik yang didapat turbin dengan tinggi sudu 19 cm mendapatkan hasil daya terus meningkat hingga pembebanan 25000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 22,475 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 35000 gram. Pada turbin tinggi sudu 20 cm nilai daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 20000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 18,332 watt dan mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 28000 gram. Pada turbin tinggi sudu 21 cm nilai

daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 15000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 13,279 watt dan mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 18000 gram.

Dari hasil grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin pada tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 8,069 L/s pada pembebanan 25000 gram memiliki nilai daya tertinggi sebesar 22,475 watt. Hal ini disebabkan oleh kondisi turbin pada saat diberikan pembebanan terendam sempurna tetapi turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi. Semakin banyak permukaan turbin yang terendam sempurna, lebih memiliki pengaruh yang besar terhadap nilai daya yang dihasilkan dari pada turbin yang tidak terendam sempurna walaupun dipengaruhi oleh pembebanan tinggi.

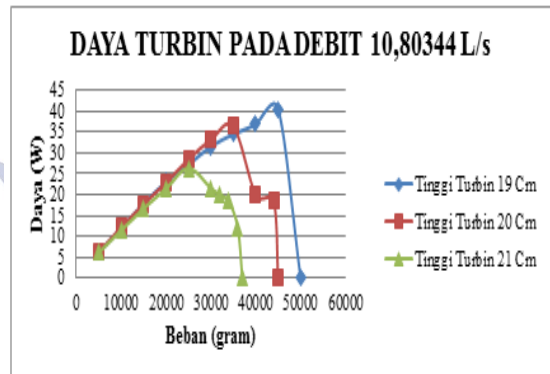


Gambar 11. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 9,413 L/s

Berdasarkan gambar 11 dengan penambahan kapasitas luasan permukaan sudu yang terkena hantaman air menjadi lebih banyak sehingga sangat berpengaruh terhadap ketahanan pada pembebanan dan nilai daya yang dihasilkan.

Dari hasil grafik yang didapat turbin dengan tinggi sudu 19 cm mendapatkan hasil daya terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 31,968 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 48000 gram. Pada turbin tinggi sudu 20 cm nilai daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 30000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 27,049 watt dan mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 37000 gram. Pada turbin tinggi sudu 21 cm nilai daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 20000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 20,331 watt dan mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 29000 gram.

Dari hasil grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin pada tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 9,413 L/s pada pembebanan 35000 gram memiliki nilai daya tertinggi sebesar 31,968 watt. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya kapasitas maka luasan permukaan sudu yang terkena hantaman air menjadi lebih banyak, maka dari itu turbin lebih tahan terhadap pembebanan tinggi sehingga daya yang dihasilkan lebih besar.



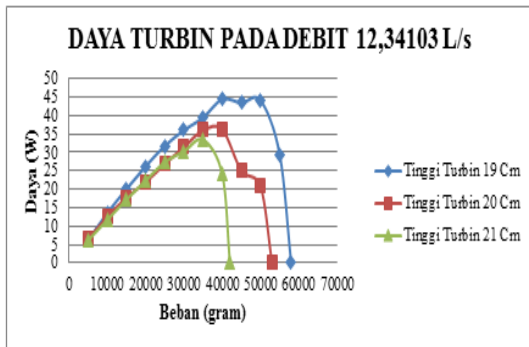
Gambar 12. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 10,803 L/s

Berdasarkan gambar 12 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 saat diberi pembebanan tidak terendam sempurna.

Dari hasil grafik yang didapat turbin dengan tinggi sudu 19 cm mendapatkan hasil daya terus meningkat hingga pembebanan 45000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 40,50 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 50000 gram. Pada turbin tinggi sudu 20 cm nilai daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 36,431 watt dan mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 45000 gram. Pada turbin tinggi sudu 21 cm nilai daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 25000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 26,363 watt dan mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 37000 gram.

Dari hasil grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin pada tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 10,803 L/s pada pembebanan 45000 gram memiliki nilai daya tertinggi sebesar 40,50 watt. Hal ini terjadi karena dengan

bertambahnya kapasitas menjadikan turbin lebih tahan terhadap pembebanan tinggi, sehingga daya yang dihasilkan lebih besar.



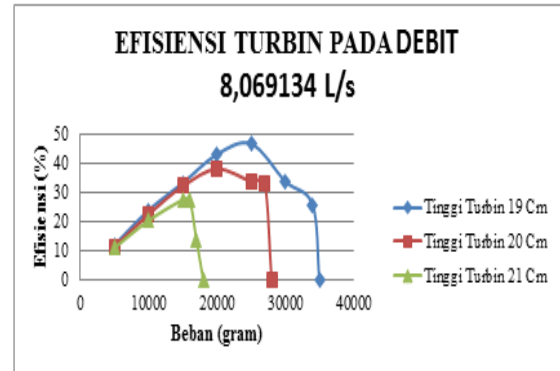
Gambar 13. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 12,341 L/s

Berdasarkan gambar 13 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 saat diberi pembebanan tidak terendam sempurna.

Dari hasil grafik yang didapat turbin dengan tinggi sudu 19 cm mendapatkan hasil daya terus meningkat hingga pembebanan 40000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 44,441 watt dan mengalami penurunan nilai daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 58000 gram. Pada turbin tinggi sudu 20 cm nilai daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 40000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 36,203 watt dan mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 53000 gram. Pada turbin tinggi sudu 21 cm nilai daya yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan mendapatkan hasil daya sebesar 33,421 watt dan mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti pada pembebanan 42000 gram.

Dari hasil grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin pada tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 12,341 L/s pada pembebanan 40000 gram memiliki nilai daya tertinggi sebesar 44,441 watt. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya kapasitas menjadikan turbin lebih tahan terhadap pembebanan tinggi, sehingga daya yang dihasilkan lebih besar.

- ❖ Pengaruh Variasi Tinggi Sudu Turbin Terhadap Efisiensi Turbin Pada Tiap Kapasitas.



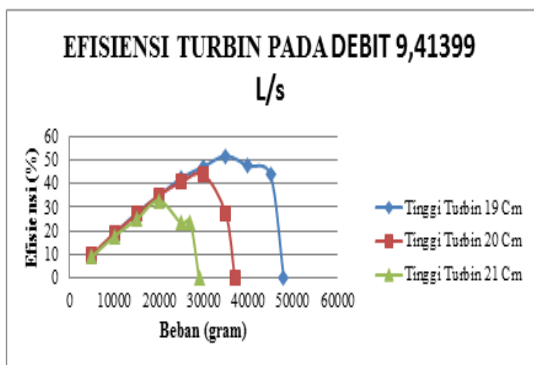
Gambar 14. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 8,069 L/s

Berdasarkan gambar 14 kapasitas yang diberikan mempengaruhi nilai efisiensi turbin yang dihasilkan. Pada kapasitas 8,069 L/s variasi yang dilakukan terhadap tinggi sudu turbin mengalami penurunan nilai efisiensi. Turbin yang semakin diberikan pembebanan mengakibatkan kondisi sebagian besar variasi turbin tidak terendam yang berakibat menurunnya nilai efisiensi yang dihasilkan. Bertambahnya tinggi sudu maka berat dari turbin juga bertambah, akibatnya air tidak dapat memberikan hantaman secara maksimal kepada turbin.

Dari grafik tersebut turbin dengan tinggi sudu 19 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 25000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 46,545 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 35000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 20 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 20000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 37,965 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 28000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 15000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 27,5 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 18000 gram.

Dari hasil grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 8,069 L/s pada pembebanan 25000 gram memiliki nilai efisiensi tertinggi sebesar 46,545 %. Hal ini terjadi karena kondisi turbin saat diberi pembebanan terendam sempurna, namun turbin tidak tahan terhadap pembebanan tinggi. Semakin banyak luasan permukaan sudu turbin yang terendam lebih memiliki pengaruh yang besar terhadap daya yang

dihasilkan daripada turbin yang tahan terhadap pembebanan tinggi, walaupun kondisi turbin tidak terendam sempurna.

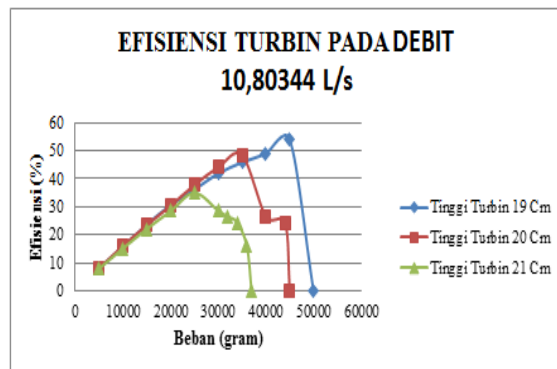


Gambar 15. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 9,413 L/s

Berdasarkan gambar 15 penambahan kapasitas sangat berpengaruh terhadap ketahanan pembebanan dan nilai efisiensi yang dihasilkan. Pada kapasitas 9,413 L/s variasi yang dilakukan terhadap tinggi sudu turbin cenderung mengalami kenaikan nilai efisiensi walaupun kondisi beberapa turbin saat diberi pembebanan tidak terendam sempurna.

Dari grafik tersebut turbin dengan tinggi sudu 19 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 51,665 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 48000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 20 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 30000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 43,715 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 37000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 20000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 32,859 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 29000 gram.

Dari hasil grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 9,413 L/s pada pembebanan 35000 gram memiliki nilai efisiensi tertinggi sebesar 51,665 %. Hal ini terjadi karena dengan bertambahnya kapasitas, luasan permukaan sudu yang terkena hantaman air menjadi lebih banyak.

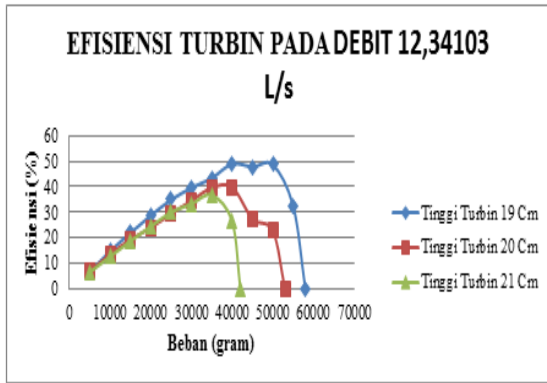


Gambar 16. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 10,803 L/s

Berdasarkan gambar 16 penambahan kapasitas sangat berpengaruh terhadap ketahanan pembebanan dan nilai efisiensi yang dihasilkan. Pada kapasitas 10,803 L/s variasi yang dilakukan terhadap tinggi sudu turbin cenderung mengalami kenaikan nilai efisiensi. Dengan bertambahnya kapasitas, luasan permukaan sudu yang terkena hantaman air menjadi lebih banyak sehingga turbin lebih tahan terhadap pembebanan tinggi dan nilai efisiensi yang dihasilkan lebih besar.

Dari grafik tersebut turbin dengan tinggi sudu 19 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 45000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 53,823 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 50000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 20 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 48,416 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 45000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 25000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 35,035 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 37000 gram.

Dari hasil grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 10,803 L/s pada pembebanan 45000 gram memiliki nilai efisiensi tertinggi sebesar 53,823 %.



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

Berdasarkan gambar 17 penambahan kapasitas sangat berpengaruh terhadap ketahanan pembebanan dan nilai efisiensi yang dihasilkan. Pada kapasitas 12,341 L/s 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 mendapatkan nilai efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi.

Dari grafik tersebut turbin dengan tinggi sudu 19 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 40000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 48,944 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 58000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 20 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 40000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 39,872 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 53000 gram. Pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm, nilai efisiensi yang dihasilkan terus meningkat hingga pembebanan 35000 gram dengan efisiensi yang dihasilkan sebesar 36,808 % dan mengalami penurunan nilai efisiensi hingga turbin berhenti pada pembebanan 42000 gram.

Dari hasil grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 12,341 L/s pada pembebanan 40000 gram memiliki nilai efisiensi tertinggi sebesar 48,944%. Semakin banyak luasan permukaan sudu turbin yang terendam lebih memiliki pengaruh yang besar terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan dari pada kondisi 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 19 cm dengan kapasitas 12,341 L/s dengan nilai daya 44,441 watt pada pembebanan 40000 gram, diikuti oleh turbin dengan tinggi sudu 20 cm dengan kapasitas 12,341 L/s dengan nilai daya 36,203 watt pada pembebanan 40000 gram, dan yang paling rendah terdapat pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm dengan kapasitas 12,341 L/s dengan nilai daya 33,421 watt pada pembebanan 35000 gram.
- Efisiensi tertinggi terdapat pada turbin dengan tinggi sudu 19 cm dengan kapasitas 10,803 L/s dengan nilai efisiensi 53,823 % pada pembebanan 45000 gram, diikuti oleh turbin dengan tinggi sudu 20 cm dengan kapasitas 10,803 L/s dengan nilai efisiensi 48,416 % pada pembebanan 35000 gram, dan yang paling rendah terdapat pada turbin dengan tinggi sudu 21 cm dengan kapasitas 10,803 L/s dengan nilai efisiensi 35,035 % pada pembebanan 25000 gram.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi tinggi sudu terhadap kinerja turbin reaksi aliran *vortex*, maka dapat diberikan saran yaitu, Perlu ada penelitian lanjutan dari konsep turbin ini, untuk peneliti lanjutan perlu menentukan jenis material yang digunakan dan variasi tinggi sudu lebih diperinci lagi untuk mengoptimalkan daya dan efisiensi.

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.
- Dunia Mesin. Turbin Air Tersedia: <https://ridomanik.blogspot.com/2013/07/turbin-air.html>, (diakses tanggal 15 Juli 2013)
- Fox, Robert W., dkk. 2012. *Fluid Mechanics. Eighth Edition*. New Jersey: Wiley.
- Kajian Pustaka.com. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Tersedia: <https://www.kajian>

pustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html, (diakses tanggal 17 Oktober 2016)

Khurmi, R.S., J.K. Gupta. 2005. *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House.

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.

M1, Anjali Mohanan. 2016. "Power Genetion Dengan *Simultaneous Aerasi* Menggunakan Gravity *Vortex* Turbin". *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol. 7(2): hal 2229-5518.

Mulligan, S., and P. Hull (2010). "Design and Optimisation Of A Water *Vortex* Hydropower Plant". *Institute of Technology Sligo Research*.

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.

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

Wibawanto, Herning Hapsari dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2018. "Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran *Vortex* Tipe Sudu Berpenampang Lurus Dengan Variasi Lebar Sudu". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 6 (1): hal 153-161.

Widiyatmoko. 2012. "Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Output Listrik Pada Turbin *Vortex*". Tesis tidak diterbitkan. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.

