

EKSPERIMENTAL PENGEMBANGAN VARIASI SUDUT SUDU BERPENAMPANG V TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

Muhammad Irfan Febrianto

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muhammad.17050754079@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: priyoheruadiwibowo@unesa.ac.id

Abstrak

Pertumbuhan jumlah penduduk semakin tinggi setiap tahunnya berbanding lurus dengan konsumsi energi yang dibutuhkan oleh setiap negara. Akibatnya manusia kini semakin mengembangkan energi alternatif yang ramah lingkungan dan sumbernya terbarukan (*renewable*). Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit berskala kecil yang memanfaatkan energi potensial air. Turbin *crossflow* adalah salah satu komponen PTMH yang berfungsi mengubah energi potensial yang dimiliki air menjadi energi listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi sudut sudu berpenampang v terhadap daya dan efisiensi turbin *crossflow* poros horizontal. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan sudut sudu sebesar 120° , 130° , 140° , dan 150° dengan model penampang berbentuk v pada turbin *crossflow* poros horizontal. Jumlah sudu yang digunakan adalah 6 yang akan diuji dengan variasi kapasitas air sebesar 9,5715 L/s, 11,0231 L/s, 14,3205 L/s, 16,1506 L/s, dan 18,1116 L/s dan variasi pembebanan pula. Hasil dari penelitian ini pada variasi sudut sudu 120° , 130° , 140° , dan 150° didapatkan daya turbin maksimum yang dihasilkan pada sudut sudu 120° pada kapasitas 18,1116 L/s sebesar 2,498 Watt dengan pembebanan 4000 gram dan memiliki ketahanan pembebanan hingga 1000 gram. Sedangkan efisiensi turbin optimum dihasilkan dari pada sudut sudu 120° pada kapasitas 9,5715 L/s sebesar 90,94% dengan pembebanan 4000 gram dan memiliki ketahanan pembebanan hingga 6000 gram.

Kata Kunci : *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Sudut Sudu V, Turbin.

Abstract

The population growth is increasing every year in line with the energy consumption needed by each country. Therefore, people increase the development of alternative energy that is environmentally friendly and renewable sources. Micro hydropower plants are small-scale power plants that utilize the potential energy of water. A water crossflow turbine is one of the components that serve to convert the potential energy that water has into kinetic energy to generate electricity. The purpose of this study was to determine the influence of v sectional angle variations on power and efficiency in horizontal shaft crossflow turbines. This study used an experimental method using variations in angle of runner by 120° , 130° , 140° and 150° with a total of six runners and variations in water flow capacity of 9.5715 L/s, 11.0231 L/s, 14.3205 L/s, and 18.1116 L/s. And loading variations as well. The results of this study on variations of angles at 120° , 130° , 140° and 150° obtained optimum turbine power generated from at a 120° angle at a capacity of 18.116 L/s of 2.498 Watts with a load of 4000 grams and has a load resistance of up to 10000 grams. While the maximum turbine efficiency is generated at a 120° angle at a capacity of 9.5715 L/s of 90.94% with a load of 4000 grams and has a load resistance of up to 6000 grams.

Keywords : *Angle of v runners, Crossflow, Efficiency, Power, Turbine.*

PENDAHULUAN

Kehidupan manusia memang tidak bisa dipisahkan dengan adanya energi. Energi menjadi kebutuhan dasar

bagi umat manusia. Peradaban manusia semakin maju karena kemampuan manusia dalam mengendalikan energi. Kemampuan manusia dalam mengendalikan energi. Namun manusia

mengantungkan kebutuhan energi tersebut kepada bahan bakar fosil. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang sulit untuk diperbarui (*non renewable energy sources*). Keterbatasan bahan bakar fosil dan dampak polutan yang ditimbulkan mendesak manusia kini semakin mengembangkan energi alternatif yang ramah lingkungan dan sumbernya terbarukan (*renewable*). Indonesia merupakan negara kepulauan dengan penduduknya terbanyak keempat di dunia dengan jumlah penduduk 267 juta jiwa. Jumlah penduduknya yang diperkirakan akan melonjak tinggi dimasa depan berbanding lurus dengan konsumsi energi yang dibutuhkan oleh setiap negara. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2009) menunjukkan bahwa konsumsi energi final (tidak termasuk biomassa untuk rumah tangga) telah meningkat pada tingkat rata-rata 6,7% per tahun untuk konsumen. Sektor yang sangat meningkat pesat ialah sektor industri dengan peningkatan 51,3%, sektor transportasi 30,3%, sektor domestik 10,7%, sektor komersial 4,6%, dan sektor PKP 3,1% (Ariowo, 2012).

Kebutuhan energi yang semakin tinggi tentunya harus diantisipasi sedini mungkin dengan beralih ke energi alternatif yang sifatnya terbarukan agar tidak mengakibatkan krisis energi dimasa yang akan datang. Dikatakan juga bahwa energi terbarukan lebih bersih dan ramah lingkungan. Energi ini juga tidak menghasilkan polusi gas yang mengakibatkan efek rumah kaca. Penggunaan energi baru dan terbarukan untuk pembangkit listrik pada tahun 2018 sebesar 8,8 GW atau 14% dari total kapasitas produksi (fosil dan non-fosil) sebesar 64,5 GW (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019).

Pelaksanaan pembangunan pada sektor tenaga listrik ini sangat dinanti khususnya masyarakat pedesaan dan terpencil. Tantangan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi ialah letak geografis yang sulit dijangkau dan biaya pengadaan listrik yang mahal. Perihal tersebut menjadikan peluang untuk melakukan penelitian lebih lanjut tentang pembangkit listrik dengan skala yang lebih kecil dan dapat diaplikasikan pada debit air yang lebih rendah. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang prinsip kerjanya adalah energi potensial air yang didapatkan dari ketinggian (*head*) tertentu diarahkan pada turbin dan mengenai sudu-sudu turbin. Poros yang terhubung pada sudu turbin berputar karena energi kinetik air yang kemudian berubah menjadi energi mekanik. Energi mekanik inilah nantinya akan menjadi sumber utama penggerak generator dan dikonversikan menjadi energi listrik. Sifat dari air yang dapat mengalir dari permukaan yang

tinggi ke permukaan rendah menjadi dasar pemikiran adanya pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH). Ketinggian air 2,5 m dan debit air 250 liter/detik sudah memenuhi syarat untuk dibangunnya pembangkit listrik jenis ini. Oleh karena itu, turbin *crossflow* dirasa lebih tepat untuk permasalahan tersebut. Penelitian sebelumnya dengan topik turbin *crossflow* menyatakan bahwa turbin *crossflow* dengan jumlah sudu 6 dan model penampang L menghasilkan daya tertinggi 3,683 Watt dan efisiensi sebesar 57,98% (Sutrimo & Adiwibowo, 2019). Dengan metode yang sama dari penelitian sebelumnya, penelitian berikutnya adalah tentang pembahasan mengenai ukuran turbin yang meliputi perbandingan rasio diameter luar dalam turbin dengan model penampang datar dan rasio perbandingan dimensi turbin dengan model penampang datar menyatakan bahwa turbin dengan rasio diameter 0,6 menghasilkan daya tertinggi sebesar 2,86 Watt dan efisiensi sebesar 74,18% (Fauzy & Adiwibowo, 2020). Sedangkan rasio perbandingan dimensi turbin 15/16 menghasilkan daya tertinggi 3,136 Watt dan efisiensi sebesar 58,21% (Ihsanto & Adiwibowo, 2020). Dasar pemikiran berikutnya ialah model sudu yang akan digunakan, peneliti menggunakan model sudu segitiga, pemilihan ini didasari pada penelitian sebelumnya yang memvariasikan model sudu setengah lingkaran, segitiga, dan sirip. Hasil dari penelitian tersebut didapatkan turbin dengan model sudu segitiga menghasilkan putaran turbin terbesar 151,6 rpm dan torsi 0,017 Nm pada sudut *nozzle* 300° (Christiawan dkk., 2017). Selanjutnya ialah pemilihan poros, penelitian sebelumnya tentang pemilihan poros vertikal dan horizontal menyakan bahwa poros horizontal mendapatkan hasil terbaik dengan daya sebesar 1,53 Watt pada debit aliran 90 m³/jam dengan sudut pengarah aliran air 15° dan efisiensi 18% pada debit aliran air 50 m³/jam (Pramesti, 2018).

Sebelum ini banyak peneliti yang sudah melakukan berbagai inovasi untuk mendapat kerja turbin terbaik, tetapi masih belum ada peneliti yang melakukan pengembangan variasi sudut sudu dengan pemodelan sudu v turbin *crossflow* dengan poros horizontal sampai ditemukan daya dan efisiensi hasil yang paling optimal. Guna untuk mengembangkan penelitian tersebut, sehingga peneliti termotivasi untuk meneliti optimasi daya dan efisiensi turbin *crossflow* dengan memvariasikan sudut sudu berpenampang v menggunakan 120°, 130°, 140°, dan 150° menggunakan poros horizontal.

METODE

Langkah yang diambil untuk studi ini adalah metode eksperimen. Peneliti memberikan variasi model sudut sudu v agar didapatkan hasil daya maksimum dan efisiensi optimum. Seluruh peralatan yang digunakan telah disesuaikan pada kondisi lapangan.

Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian

Penelitian ini berlangsung pada Laboratorium Mekanika Fluida gedung A8 lantai 2 Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

Waktu Penelitian

Penelitian kali ini dilakukan sesudahnya proposal skripsi telah diseminarkan sehingga semua analisa yang dibutuhkan telah memenuhi.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan adalah memvariasikan sudut sudu dengan model penampang v sebesar 120° , 130° , 140° , dan 150° .



Gambar 1. Turbin *Crossflow* Sudu Berpenampang V

Variabel Terikat

Variabel terikat penelitian berupa performa dari turbin *crossflow* yang meliputi daya dan efisiensi.

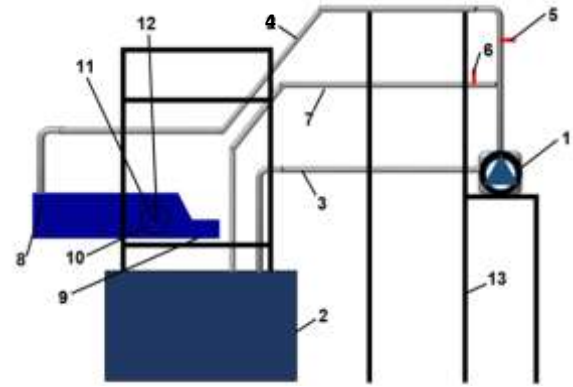
Variabel Kontrol

Pada penelitian kali ini variabel kontrol yang digunakan yaitu:

- Jenis fluida yang digunakan air
- Kapasitas aliran air saat pengujian berlangsung.
- Kapasitas aliran air 9.5715 L/s, 11.0231 L/s, 14.3205 L/s, 16.1506 L/s, dan 18.1116 L/s.
- Buka katup disesuaikan pada 130° , 140° , 150° , 160° , 170° .
- Beban pada *prony brake* 500 g, 1000 g, 1500 g, 2000 g, dan selanjutnya sampai turbin tidak berputar.

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Skema peralatan yang digunakan untuk proses pengujian yaitu :

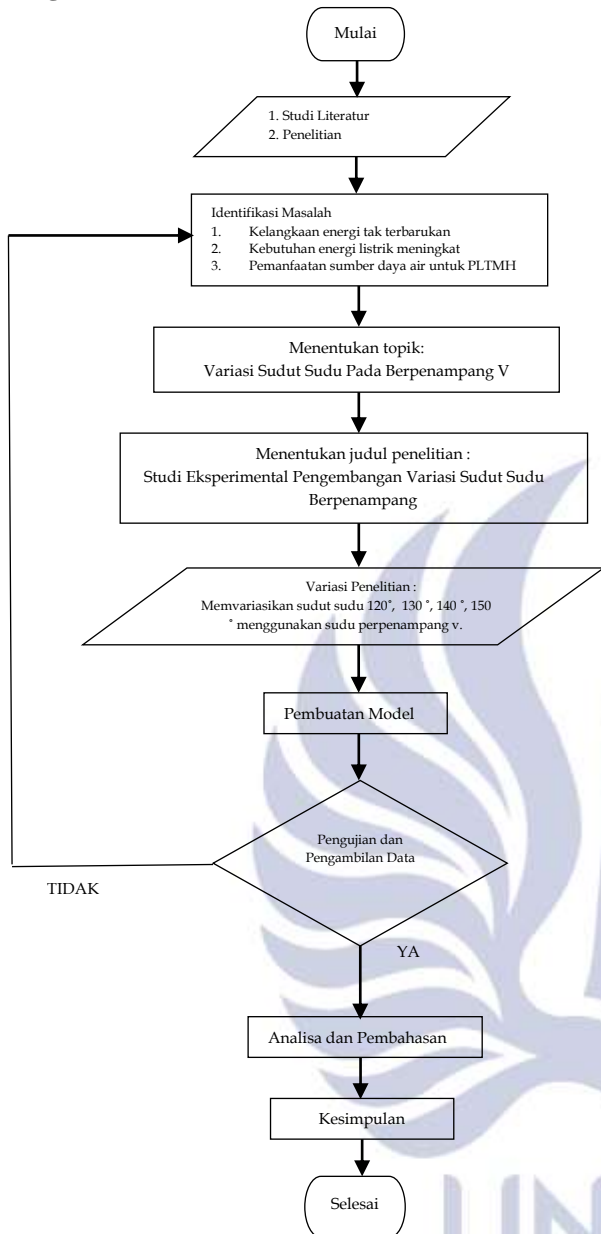


Gambar 2. Skema PLTMH

Keterangan :

1. Pompa
2. Kolam Penampung Air
3. Perpipaan Penyalur Section
4. Saluran Discharge
5. Katup Utama
6. Katup Bypass
7. Saluran Bypass
8. Saluran masukan air
9. Saluran keluaran air
10. Letak Turbin
11. Letak Poros Turbin
12. Letak Prony Brake
13. Kerangka Utama

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Untuk tercapainya tujuan yang diungkapkan dalam bentuk sementara terhadap pertanyaan penelitian, perlu dilakukan pengumpulan data. Pengumpulan data dilakukan dengan mengukur atau menguji obyek yang diteliti dan mencatat hasil tersebut yang diperoleh dari variabel yang digunakan.

Teknik Analisa Data

Pada penelitian ini pengambilan data dilakukan dengan alat ukur yang telah disesuaikan dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang telah dihitung secara teoritis. Hal ini dilakukan agar dapat menggambarkan

data penelitian dengan optimal berdasarkan fakta-fakta pada saat pengujian. (Moleong, 2008:6)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Penelitian kali ini perolehan data dikerjakan sampai hingga tiga tahap percobaan, kemudian data baru dihitung rata-ratanya, hal ini bertujuan supaya data yang didapatkan seperti pada kondisi yang sebenarnya. Dari pengujian nilai yang diperoleh terdiri atas tinggi aliran air, beban neraca, nilai putaran poros. Beberapa perhitungan mendapatkan data tersebut yaitu :

- Perhitungan Kapasitas Air (Q)

Perhitungan kapasitas aliran air didapatkan menggunakan persamaan:

$$Q = cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot tg \frac{\theta}{2} \cdot Hv^{5/2} \quad (1)$$

Dimana :

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

- Luas Penampang Aliran (A)

Besarnya luas penampang aliran didapatkan dalam perumusan berikut:

$$A = t \cdot l \quad (2)$$

Dimana :

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

- Kecepatan Aliran Air (V)

Kecepatan aliran air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Dimana :

- V = Kecepatan aliran (m/s)
- Q = Kapasitas aliran (m³/s)
- A = Luas penampang aliran (m²)
- Daya Air yang Mengalir (Pa)

Besarnya daya air didapatkan dengan rumus berikut :

$$Pa = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (4)$$

Dimana :

- Pa = Daya air (watt)
- ρ = Massa jenis (kg/m³)
- A = Luas penampang aliran (m²)
- V = Kecepatan pada aliran (m/s)

- Gaya (F)

Perhitungan gaya didapatkan dengan persamaan berikut :

$$F = (m \text{ beban} - m \text{ neraca}) \cdot g \quad (5)$$

Dimana :

- F = Gaya (N)
- m = Beban (kg)
- g = Gravitasi (9,81 m/s²)

- Torsi (T)
Torsi turbin didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$T = F \cdot r \quad (6)$$

Dimana :

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

- Kecepatan Angular Turbin (ω)
Kecepatan anguler didapatkan menggunakan persamaan:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \quad (7)$$

Dimana :

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

- Daya Turbin (Pt)
Daya turbin didapatkan menggunakan persamaan:

$$Pt = T \cdot \omega \quad (8)$$

Dimana :

- Pt = Daya Turbin (watt)
- T = Torsi (N.m)
- ω = Kecepatan angular (rad/s)

- Efisiensi Turbin (η)
Efisiensi turbin didapatkan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{Pt}{Pa} \cdot 100\% \quad (9)$$

Dimana :

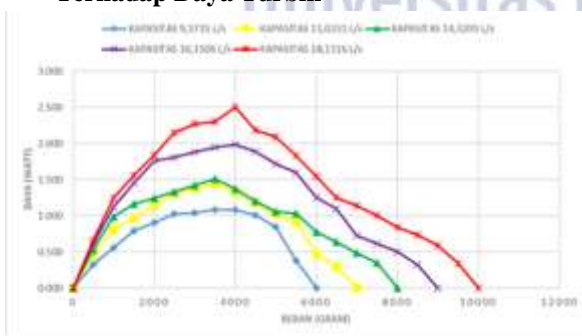
- η = Efisiensi turbin
- Pt = Daya turbin (watt)
- Pa = Daya air (watt)

Menurut hasil pada grafik 4 diatas kapasitas aliran air 9,5715 L/s, keluaran daya turbin pada sudut sudu 120° sebesar 1,082 Watt dengan terjadi peningkatan beban hingga 4000 gram dan saat pembebanan kian bertambah, daya yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 6000 gram. Berikutnya hasil pengukuran daya turbin pada kapasitas aliran air 11,0231 L/s, keluaran daya yang diperoleh sebesar 1,439 Watt dengan terjadi kenaikan daya sampai pada pembebanan 3500 gram dengan daya lebih besar dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai daya dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 7000 gram. Kemudian daya yang dihasilkan pada kapasitas aliran air 14,3205 L/s, keluaran daya yang diperoleh sebesar 1,512 Watt juga dengan terjadi kenaikan daya saat mencapai beban 3500 gram dan kemudian daya pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 8000 gram. Keluaran daya selanjutnya adalah pada kapasitas aliran air 16,1506 L/s, keluaran daya diperoleh 1,987 Watt dengan beban melonjak sampai hingga beban 4000 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 9000 gram. Terakhir adalah kapasitas aliran air 18,1116 L/s, keluaran daya diperoleh 2,498 Watt dengan beban melonjak sampai hingga beban 4000 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 10000 gram.

Dari pemaparan diatas, terjadinya peningkatan daya saat penambahan kapasitas aliran air dikarenakan kapasitas aliran air yang bertambah menjadikan energi kinetik pemutar turbin semakin besar, putaran turbin semakin besar menghasilkan daya turbin yang semakin besar pula begitu juga sebaliknya. Namun menurunnya daya turbin diakibatkan beban yang kian membesar yang membutuhkan energi kinetik yang besar supaya turbin mampu berputar.

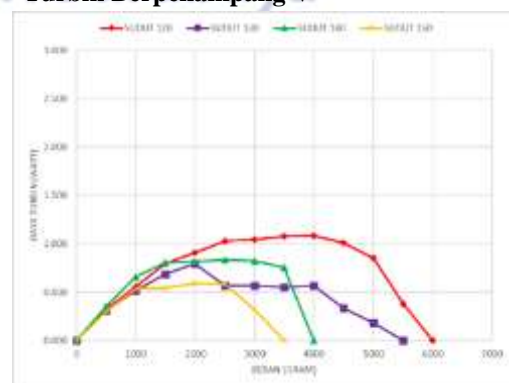
Pembahasan

- **Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin**



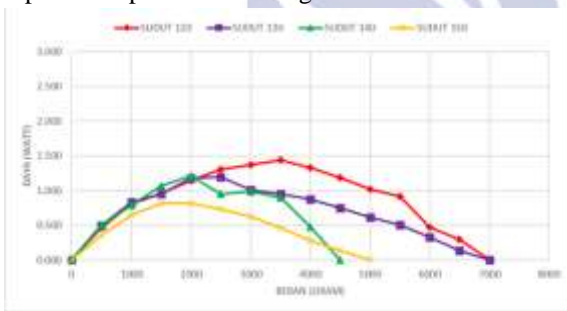
Gambar 4. Grafik Pengaruh Variasi Kapasitas Aliran Air Terhadap Daya Turbin Berpenampang V pada Sudut Sudu 120°

- **Pengaruh Variasi Sudut Sudu Terhadap Daya Turbin Berpenampang V**



Gambar 5. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 9,5715 L/s

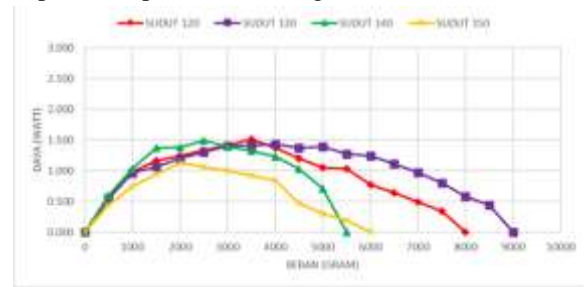
Menurut hasil pada grafik 5 diatas kapasitas aliran air 9,5715 L/s, keluaran daya turbin pada sudut sudu 120° sebesar 1,082 Watt dengan terjadi peningkatan beban hingga 4000 gram dan saat pembebanan kian bertambah, daya yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 6000 gram. Berikutnya hasil pengukuran daya turbin sudut sudu 130°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 0,797 Watt dengan terjadi kenaikan daya sampai pada pembebanan 2000 gram dengan daya lebih kecil dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai daya dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 5500 gram. Kemudian daya yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 0,834 Watt juga dengan terjadi kenaikan daya saat mencapai beban 2500 gram dan kemudian daya pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 4000 gram. Keluaran daya selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran daya diperoleh 0,590 Watt dengan beban melonjak sampai hingga beban 2000 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 3500 gram.



Gambar 6. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 11,0231 L/s

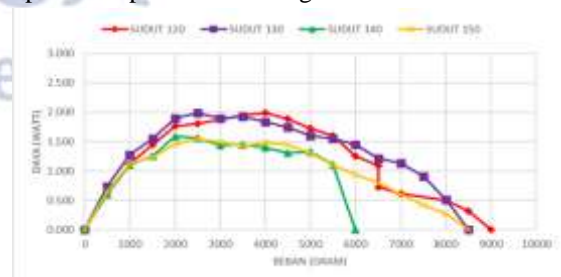
Menurut hasil pada grafik 6 diatas kapasitas aliran air 11,0231 L/s, keluaran daya turbin pada sudut sudu 120° sebesar 1,439 Watt dengan terjadi peningkatan beban hingga 3500 gram dan saat pembebanan kian bertambah, daya yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 7000 gram. Berikutnya hasil pengukuran daya turbin sudut sudu 130°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 1,199 Watt dengan terjadi kenaikan daya sampai pada pembebanan 2500 gram dengan daya lebih kecil dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai daya dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 7000 gram. Kemudian daya yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 1,215 Wat juga dengan terjadi kenaikan daya saat mencapai beban 2000 gram dan kemudian daya pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 4500 gram. Keluaran daya

selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran daya diperoleh 0,816 Watt dengan beban melonjak sampai hingga beban 2000 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 5000 gram.



Gambar 7. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 14,3205 L/s

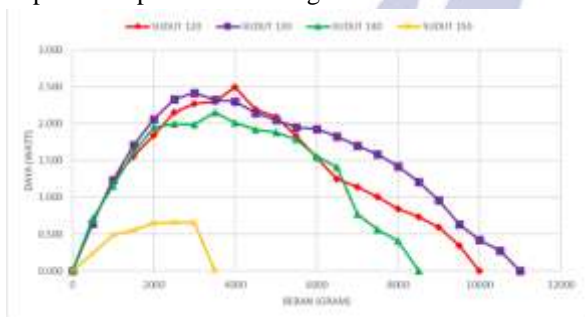
Menurut hasil pada grafik 7 diatas kapasitas aliran air 14,3205 L/s, keluaran daya turbin pada sudut sudu 120° sebesar 1,512 Watt dengan terjadi peningkatan beban hingga 3500 gram dan saat pembebanan kian bertambah, daya yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 8000 gram. Berikutnya hasil pengukuran daya turbin sudut sudu 130°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 1,431 Watt dengan terjadi kenaikan daya sampai pada pembebanan 4000 gram dengan daya lebih kecil dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai daya dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 7000 gram. Kemudian daya yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 1,496 Watt juga dengan terjadi kenaikan daya saat mencapai beban 2500 gram dan kemudian daya pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 5500 gram. Keluaran daya selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran daya diperoleh 1,134 Watt dengan beban melonjak sampai hingga beban 2000 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 5000 gram.



Gambar 8. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 16,1506 L/s

Menurut hasil pada grafik 8 diatas kapasitas aliran air 16,1506 L/s, keluaran daya turbin pada sudut sudu 120° sebesar 1,987 Watt dengan terjadi peningkatan beban hingga 4000 gram dan saat pembebanan kian bertambah, daya yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 9000 gram.

gram. Berikutnya hasil pengukuran daya turbin sudut sudu 130°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 1,985 Watt dengan terjadi kenaikan daya sampai pada pembebanan 2500 gram dengan daya lebih kecil dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai daya dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 8500 gram. Kemudian daya yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 1,587 Watt juga dengan terjadi kenaikan daya saat mencapai beban 2000 gram dan kemudian daya pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 6000 gram. Keluaran daya selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran daya diperoleh 1,547 Watt dengan beban melonjak sampai hingga beban 2500 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 8500 gram.

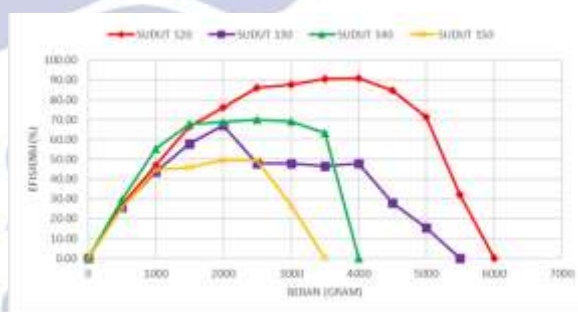


Gambar 9. Grafik Daya Turbin pada Kapasitas 18,1116 L/s

Menurut hasil pada grafik 9 diatas kapasitas aliran air 18,1116 L/s, keluaran daya turbin pada sudut sudu 120° sebesar 2,498 Watt dengan terjadi peningkatan beban hingga 4000 gram dan saat pembebanan kian bertambah, daya yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 10000 gram. Berikutnya hasil pengukuran daya turbin sudut sudu 130°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 2,414 Watt dengan terjadi kenaikan daya sampai pada pembebanan 3000 gram dengan daya lebih kecil dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai daya dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 11000 gram. Kemudian daya yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran daya yang diperoleh sebesar 2,150 Watt juga dengan terjadi kenaikan daya saat mencapai beban 2000 gram dan kemudian daya pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 4500 gram. Keluaran daya selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran daya diperoleh 0,659 Watt dengan beban melonjak sampai hingga beban 2500 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 3500 gram.

Setelah dijabarkan pada penjelasan dari grafik 5 sampai 9 diatas diambil kesimpulan sebagai berikut besarnya kapasitas aliran air akan mempengaruhi besarnya daya turbin karena rotasi dan torsi turbin berbeda dalam tiap pembebanan. Semakin meningkatnya kapasitas aliran air, menyebabkan putaran turbin semakin besar, putaran turbin yang besar menghasilkan daya turbin yang semakin besar pula begitu juga sebaliknya. Sedangkan penurunan daya disebabkan oleh jumlah beban yang terus bertambah sehingga gaya dorong untuk menumbuk turbin juga besar pula agar turbin mampu berputar. Penambahan jumlah beban yang dilakukan, membuat turbin menghasilkan torsi menjadi semakin besar. Dengan pembebanan yang semakin besar pula, gaya yang ditimbulkan juga semakin besar. Sehingga apabila gaya turbin tidak cukup besar untuk menahan peningkatan pembebanan yang dilakukan, putaran turbin akan berkurang hingga berhenti berputar. Salurarah pengarah air yang dipasangkan membuat debit aliran air langsung menerpa sudut turbin dan mengurangi aliran memasuki turbin yang menjadi penghambat turbin. Selain itu sudut sudu penampang yang lebih kecil memiliki lebar sudut sudu yang lebih besar, kondisi ini memudahkan aliran air memasuki celah-celah sudu turbin sehingga gaya dorong pada turbin dapat dimanfaatkan lebih maksimal.

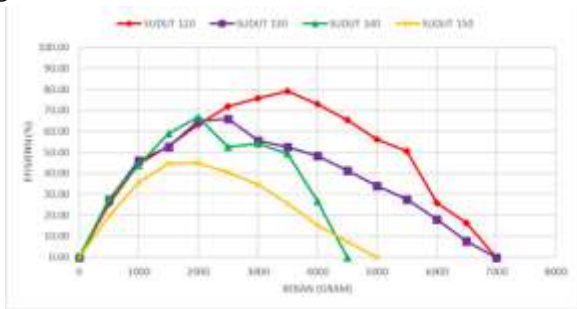
▪ Pengaruh Variasi Panjang Ujung Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Tiap Kapasitas



Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 9,5715 L/s

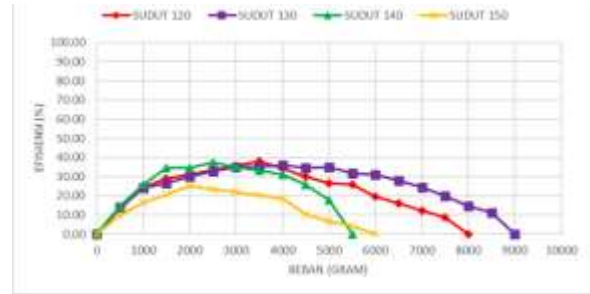
Menurut hasil pada grafik 10 diatas kapasitas aliran air 9,5715 L/s, keluaran efisiensi turbin pada sudut sudu 120° sebesar 90,94 % dengan terjadi peningkatan beban hingga 4000 gram dan saat pembebanan kian bertambah, efisiensi yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 6000 gram. Berikutnya hasil pengukuran efisiensi turbin sudut sudu 130°, keluaran efisiensi yang diperoleh sebesar 67,01 % dengan terjadi kenaikan efisiensi sampai pada pembebanan 2000 gram dengan efisiensi lebih kecil dari variasi sudut sudu

sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai efisiensi dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 5500 gram. Kemudian efisiensi yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran efisiensi yang diperoleh sebesar 70,14 % juga dengan terjadi kenaikan efisiensi saat mencapai beban 2500 gram dan kemudian efisiensi pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 4000 gram. Keluaran efisiensi selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran efisiensi diperoleh 46,91 % dengan beban melonjak sampai hingga beban 2000 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 3500 gram.



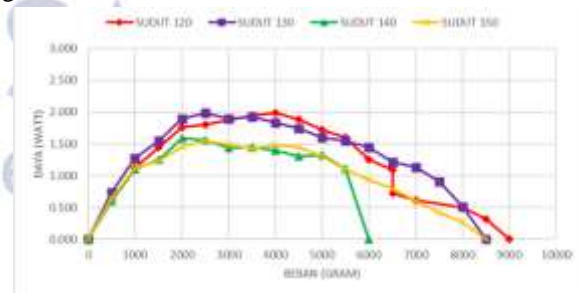
Gambar 11. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 11,0231 L/s

Menurut hasil pada grafik 11 diatas kapasitas aliran air 11,0231 L/s, keluaran efisiensi turbin pada sudut sudu 120° sebesar 79,22 % dengan terjadi peningkatan beban hingga 3500 gram dan saat pembebanan kian bertambah, efisiensi yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 7000 gram. Berikutnya hasil pengukuran efisiensi turbin sudut sudu 130°, keluaran efisiensi yang diperoleh sebesar 65,99 % dengan terjadi kenaikan efisiensi sampai pada pembebanan 2500 gram dengan efisiensi lebih kecil dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai efisiensi dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 7000 gram. Kemudian efisiensi yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran efisiensi yang diperoleh sebesar 66,87 % juga dengan terjadi kenaikan efisiensi saat mencapai beban 2000 gram dan kemudian efisiensi pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 4500 gram. Keluaran efisiensi selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran efisiensi diperoleh 44,91 % dengan beban melonjak sampai hingga beban 2000 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 5000 gram



Gambar 12. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 14,3205 L/s

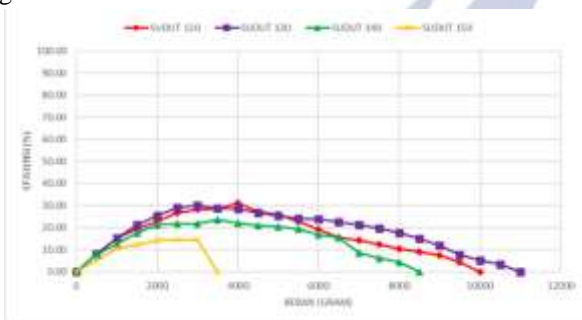
Menurut hasil pada grafik 12 diatas kapasitas aliran air 14,3205 L/s, keluaran efisiensi turbin pada sudut sudu 120° sebesar 37,96 % dengan terjadi peningkatan beban hingga 3500 gram dan saat pembebanan kian bertambah, efisiensi yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 8000 gram. Berikutnya hasil pengukuran efisiensi turbin sudut sudu 130°, keluaran efisiensi yang diperoleh sebesar 35,93 % dengan terjadi kenaikan efisiensi sampai pada pembebanan 4000 gram dengan efisiensi lebih kecil dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai efisiensi dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 7000 gram. Kemudian efisiensi yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran efisiensi yang diperoleh sebesar 37,55 % juga dengan terjadi kenaikan efisiensi saat mencapai beban 2500 gram dan kemudian efisiensi pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 5500 gram. Keluaran efisiensi selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran efisiensi diperoleh 25,01 % dengan beban melonjak sampai hingga beban 2000 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 5000 gram.



Gambar 13. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 16,1506 L/s

Menurut hasil pada grafik 13 diatas kapasitas aliran air 16,1506 L/s, keluaran efisiensi turbin pada sudut sudu 120° sebesar 34,77 % dengan terjadi peningkatan beban hingga 4000 gram dan saat pembebanan kian bertambah, efisiensi yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 9000 gram. Berikutnya hasil pengukuran efisiensi turbin sudut sudu 130°, keluaran

efisiensi yang diperoleh sebesar 34,74 % dengan terjadi kenaikan efisiensi sampai pada pembebanan 2500 gram dengan efisiensi lebih kecil dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai efisiensi dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 8500 gram. Kemudian efisiensi yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran efisiensi yang diperoleh sebesar 24,41 % juga dengan terjadi kenaikan efisiensi saat mencapai beban 2000 gram dan kemudian efisiensi pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 6000 gram. Keluaran efisiensi selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran efisiensi diperoleh 23,8 % dengan beban melonjak sampai hingga beban 2500 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 8500 gram.



Gambar 14. Grafik Efisiensi Turbin pada Kapasitas 18,1116 L/s

Menurut hasil pada grafik 14 diatas kapasitas aliran air 18,1116 L/s, keluaran efisiensi turbin pada sudut sudu 120° sebesar 31 % dengan terjadi peningkatan beban hingga 4000 gram dan saat pembebanan kian bertambah, efisiensi yang dihasilkan perlahan menyusut dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 10000 gram. Berikutnya hasil pengukuran efisiensi turbin sudut sudu 130°, keluaran efisiensi yang di-peroleh sebesar 29,95 % dengan terjadi kenaikan efisiensi sampai pada pembebanan 3000 gram dengan efisiensi lebih kecil dari variasi sudut sudu sebelumnya dan seiring bertambahnya beban, turbin mengalami penurunan nilai efisiensi dan turbin tidak bergerak saat mencapai beban 11000 gram. Kemudian efisiensi yang dihasilkan pada variasi sudut sudu 140°, keluaran efisiensi yang diperoleh sebesar 23,45 % juga dengan terjadi kenaikan efisiensi saat mencapai beban 2000 gram dan kemudian efisiensi pada variasi ini menyusut sampai turbin tidak lagi bergerak pada beban 4500 gram. Keluaran efisiensi selanjutnya adalah pada sudut sudu 150°, keluaran efisiensi diperoleh 14,42 % dengan beban melonjak sampai hingga beban 2500 gram dan turbin tidak berputar sampai beban 3500 gram.

Berdasarkan gambar grafik 10 sampai 14 setiap kapasitas aliran air luas penampang aliran tetap, hal demikian menyebabkan besarnya daya air terus meningkat seiring bertambahnya kapasitas. Hal ini mempengaruhi nilai efisiensi karena efisiensi diperoleh dengan cara nilai daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikalikan 100 persen.

Pada penelitian ini daya dan efisiensi terbaik diperoleh pada variasi 120° dengan daya sebesar 2,498 Watt dan efisiensi 90,94 %. Hal tersebut dikarenakan pada turbin *crossflow* aliran air akan menerpa sudu turbin sebanyak dua kali. Aliran air pertama akan menerpa sudu turbin yang akan memberikan gaya dorong ke sudu untuk memutar turbin secara berlawanan arah jarum jam. Selanjutnya aliran air akan melewati diameter dalam dan menerpa sudu kedua, dimana aliran air tersebut juga memberikan gaya dorong tetapi lebih rendah dari gaya dorong yang pertama dengan arah yang sama. Dengan lebar sudut sudu yang besar, turbin dengan sudut sudu 120° mampu menampung air lebih banyak untuk memasuki celah sudunya dan memberikan gaya dorong lebih optimum dibandingkan aliran air yang memasuki diameter dalam turbin dan menerpa punggung sudu turbin searah jarum jam yang menjadi penghambat turbin berputar.

PENUTUP

Simpulan

Setelah dilakukan kajian tentang hasil penelitian yang telah dilakukan, sehingga dapat diambil kesimpulannya sebagai berikut:

- *Output* daya maksimum yang diperoleh dalam penelitian ini ialah variasi sudut sudu 120°, yaitu sebesar 2,498 Watt saat mencapai beban 4000 gram pada kapasitas aliran air 18,1116 L/s. Daya maksimum selanjutnya dihasilkan pada turbin dengan sudut sudu 140°, 130°, dan 150°.
- *Output* efisiensi yang paling optimum dihasilkan dari turbin sudut sudu 120° yaitu sebesar 90,94 % dengan pembebanan 4000 gram pada kapasitas aliran air 9,5715 L/s. Hasil efisiensi selanjutnya dihasilkan pada turbin dengan sudut sudu 140°, 130°, dan 150°.

Saran

Saran yang digunakan untuk penelitian lebih lanjut mengenai penelitian turbin *crossflow* sudut sudu v poros horizontal, adalah sebagai berikut :

- Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memvisualisasikan proses aliran fluida yang terjadi dengan adanya perubahan sudut sudu dan bukan katup tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, A. A. (2012). Partisipasi Masyarakat Dalam Pengelolaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Desa Depok Kecamatan Lebakbarang.
- Christiawan, D., Jasa, L., & Sudarmojo, Y. P. (2017). Studi Analisis Pengaruh Model Sudu Turbin Pada Pembangkit Lisrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 16(2), 104.
- Fauzy, R. I., & Adiwibowo, P. H. (2020). Studi Ekperimental Pengaruh Variasi Rasio Diameter Luar Dan Dalam Sudu Plat Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 08(02), 77–89.
- Ihsanto, M. W., & Adiwibowo, P. H. (2020). Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Sudu Berpenampang Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 08(01), 93–102.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). A Textbook of Machine Design (S.I. Units). In *Eurasia Publishing House (PVT.) LTD.* (Vol. 45, Issue 12).
- Lexy, J Moleong. (2008). Metodologi Penelitian Kualitatif. Bandung : PT. Remaja Rosdakarya
- Pramesti, Y. S. (2018). Analisa Pengaruh Sudut Sudu Terhadap Kinerja Turbin Kinetik Poros Horizontal dan Vertikal. *Mesin Nusantara*, 1(1), 51–59.
- Pritchard, P. J., & Leylegian, J. C. (2011). Introduction To Fluid Mechanics Eighth Edition. In *United States of America*. John Wiley & Sons, Inc.
- Sutrimo, D., & Adiwibowo, P. H. (2019). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Crosflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol 07(01), 95–102.
- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). Indonesia Energy Out Look 2019. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.