

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI JUMLAH SUDU BERPENAMPANG V TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

Gigga Ryan Priambodho

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: giggapriambodho16050754026@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

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

Abstrak

Kebutuhan energi listrik di Indonesia akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk dan perubahan gaya hidup manusia. Dalam mengatasi menipisnya cadangan energi fosil sebagai sumber energi listrik maka tenaga air merupakan jenis energi terbarukan yang memiliki potensi besar. *Microhydro* atau sering dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga *Microhydro* (PLTMH), pembangkit ini menghasilkan energi listrik dibawah 100 KW. Turbin *crossflow* dipilih karena dirasa lebih unggul dalam kriteria pemilihan turbin serta lebih mudah dalam pembuatan dan pengaplikasiannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah sudu berpenampang V pada turbin *crossflow* poros horizontal. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan memvariasikan jumlah sudu berpenampang V sebanyak 6, 8 dan 10 sudu dengan sudut sudu sebesar 100°, selain itu kekasaran permukaan sudu pada penelitian ini diabaikan. Pengujian dilakukan pada variasi kapasitas air sebesar 9.855 L/s, 11,804 L/s dan 14,320 L/s dan variasi pembebanan sebesar 500 g, 1000 g, 1500 g dan seterusnya hingga turbin berhenti berputar. Hasil dari penelitian didapatkan turbin dengan jumlah sudu 8 memiliki daya dan efisiensi yang paling optimal daripada turbin dengan jumlah sudu 6 dan 10. Daya tertinggi dimiliki oleh turbin dengan jumlah sudu 8 yang terjadi pada kapasitas aliran 11,804 L/s dengan pembebanan 6500 gram, memiliki daya sebesar 2,834 Watt. Efisiensi turbin tertinggi juga dihasilkan oleh jumlah sudu 8 pada kapasitas 11,804 L/s dengan pembebanan 6500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 77,55%. Hal ini dikarenakan pada jumlah sudu 8 pada kapasitas 11,804 L/s ketinggian air tidak terlalu tinggi sehingga aliran air tepat menepi sudu turbin sehingga aliran air bisa dimanfaatkan dengan optimal untuk memutar turbin dan dapat menghasilkan rpm dan torsi yang lebih tinggi dan tahan terhadap pembebanan tinggi.

Kata kunci: *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Jumlah Sudu, Turbin.

Abstract

Electricity energy needs in Indonesia will continue to increase as the economic growth, population and human lifestyle change. In overcoming the depletion of fossil energy reserves as a source of electrical energy, water power is a kind of renewable energy that has great potential. Microhydro or often known as the Microhydro Power Plant (PLTMH), this generator generates electrical energy below 100 KW. The Crossflow turbine is chosen as it excels in turbine selection criteria and is easier in manufacturing and application. The aim of the study was to determine the influence of the number of different V-section sudu in the horizontal shaft crossflow turbine. The study used the experimental method by varying the number of the V-cross sections of 6, 8 and 10 sudu with a sudu angle of 100°, and the surface roughness of the research was ignored. Testing was conducted on variations in water capacity of 9,855 L/s, 11,804 L/s and 14,320 L/s and the loading variation of 500 g, 1000 g, 1500 g and so on until the turbine stopped spinning. The results of the study gained a turbine with a total of 8 Sudu has the most optimal power and efficiency than a turbine with a number of Sudu 6 and 10. The highest power is owned by a turbine with a total of 8 sudu that occurs in the flow capacity of 11.804 L/s with a loading of 6500 grams, has a power of 2.834 watts. The highest turbine efficiency is also generated by the total of 8 sudu at a capacity of 11.804 L/s with a loading of 6500 grams with an efficiency value of 77.55%. This is because the number of Sudu 8 in the capacity of 11.804 L/s water height is not too high so that the water flow precisely hit the turbine, so that the water flow can be utilized optimally to rotate the turbine and can produce higher rpm and torque and resistant to high loading.

Keywords: *Crossflow, Power, Efficiency, Number of Blade, Turbine.*

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan energi yang sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia dalam sektor apapun. Kebutuhan energi listrik di Indonesia akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi, penduduk dan perubahan gaya hidup manusia. Seiring meningkatnya penggunaan energi listrik tetapi

berbanding terbalik dengan sumber energi yang berasal dari energi fosil. Berdasarkan Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2017, Konsumsi listrik nasional terus tumbuh tiap tahunnya pada kisaran 6% dan program menerangi 2500 desa merupakan upaya pemerintah untuk meningkatkan rasio elektrifikasi.

Energi listrik yang berasal dari energi fosil semakin lama semakin sedikit, karena energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbarui. Menurut Blueprint Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun. Oleh karena itu, antisipasi yang perlu dilakukan agar terhindar dari krisis energi dengan memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbarui seperti angin, air, matahari, panas bumi, biofuel dan lain-lain.

Menurut data Dirjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (ESDM) pada tahun 2016 Indonesia memiliki potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) lebih dari 158.288 MW. Sedangkan Tenaga air merupakan jenis energi terbarukan yang memiliki potensi terbesar dibandingkan dengan sumber-sumber energi terbarukan lainnya. Potensi tenaga air di Indonesia mencapai 75.091 MW. Namun pemanfaatan potensi air melalui penyediaan listrik nasional baru mencapai 10,1% atau sebesar 7,572 MW. Ada risiko yang cukup besar jika potensi sumber daya air tidak dikelola dengan maksimal. Beberapa diantaranya, dapat mengakibatkan banjir dan longsor pada saat musim hujan dan kekeringan saat terjadi musim kemarau. Cara memanfaatkan tenaga air menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin air. Dari potensi tenaga air yang dapat dimanfaatkan ini digolongkan menjadi 2, yaitu pembangkit listrik tenaga air (PLTA) dengan daya diatas 100 Kw dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dengan daya kurang dari 100 KW.

Menurut data dari Kementrian ESDM yang dilaporkan hingga tahun 2016 sudah terealisasi sebanyak 17 PLTMH dengan kapasitas total sebesar 1094 KW. Berdasarkan data Potensi tenaga air yang ada di Indonesia di yakini Potensi PLTMH dapat terus meningkat dan terserap hingga 19,3 GW dimana kebanyakan sistem turbin yang digunakan adalah turbin *crossflow* karena lebih efektif untuk memanfaatkan head dan debit sungai di Indonesia. Pembangkit listrik jenis ini dalam proses pembuatannya sangat ekonomis namun masih dalam skala kecil.

Penelitian yang dilakukan oleh Rohermanto, Agus (2007) yang berjudul "PLTMH mengandung makna, secara bahasa diartikan *micro* adalah kecil dan *hydro* adalah air, maka dapat dikatakan bahwa *micro hydro* adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang berskala kecil, karena pembangkit tenaga listrik ini memanfaatkan aliran air sungai atau aliran irigasi sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan turbin dan memutar

generator. Jadi pada prinsipnya dimana ada air mengalir dengan ketinggian minimal 2,5 meter dengan debit 250 liter/detik, maka disitu ada energi listrik". Selain dari pada itu *micro hydro* tidak perlu membuat waduk yang besar seperti PLTA.

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro menjadi salah satu solusi dalam memanfaatkan sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi dan mengurangi penggunaan energi fosil yang kian hari semakin meningkat. Salah satu komponen vital yang diperlukan untuk instalasi PLTMH adalah turbin.

Turbin *crossflow* dibuat pertama kali di Eropa, nama *crossflow* diambil dari aliran air yang melintasi kedua sudu gerak atau runner dalam menghasilkan putaran (rotasi). Prinsip kerja turbin ini ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M Michell pada tahun 1903. Namun penemuan tersebut belum dikembangkan, sehingga pada tahun berikutnya dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama Turbin Banki. Salah satu keistimewaan turbin air *crossflow* adalah masih bisa digunakan pada tinggi jatuh 1 m dengan kapasitasnya antara 0,02 m³/s sampai dengan 7 m³/s (Dietzel,1995). Sehingga dapat diartikan turbin *crossflow* ini adalah turbin yang cocok digunakan untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) di daerah-daerah yang memiliki potensi sumber daya airnya relatif kecil misalnya disungai-sungai kecil atau saluran irigasi. Turbin *crossflow* juga mempunyai keuntungan yaitu proses fabrikasi dan pemeliharaan turbin *crossflow* mudah dan murah.

Penelitian Pamesti, Yasinta Sindy (2018) yang berjudul "Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik poros horisontal dan vertikal". Variasi sudut pengarah aliran dengan sudut yang akan diteliti ini menggunakan sudut 5°, 10°, 15° dan variasi debit aliran 50, 70 dan 90 m³/jam. Selain itu, turbin kinetik ini menggunakan variasi poros vertikal dan horizontal. Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa daya output yang dihasilkan turbin maksimal sebesar 1,53 Watt terjadi pada debit 90 m³/jam dengan sudut pengarah aliran 15°. Efisiensi tertinggi yaitu sebesar 18% terjadi pada debit aliran 50 m³/jam dengan sudut pengarah aliran sebesar 15°. Turbin dengan tipe poros horizontal memiliki nilai daya dan efisiensi yang sedikit lebih besar jika dibandingkan dengan turbin poros vertikal.

Penelitian yang dilakukan oleh Riduan, Mujib dan Adiwibowo, Priyo Heru (2016) dalam penelitian yang berjudul "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi *Crossflow* Poros Vertikal Dengan Sudu Setengah Silinder" menjelaskan bahwa jumlah sudu sangat berpengaruh terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan

turbin *crossflow* poros vertikal. Daya dan efisiensi turbin tertinggi terjadi pada sudu 12 apabila dibandingkan dengan sudu 6 dan sudu 8 pada kapasitas 7,49228 L/s dan pembebanan 2000 gram diperoleh daya sebesar 2,188528 watt dan efisiensi 75,19308 %. Penelitian tersebut dibuat beberapa buah *runner* masing-masing memiliki 6 buah, 8 buah dan 12 buah mata sudu. Sudu dipasang pada rangkaian turbin, dan diberikan variasi kapasitas dan pembebanan. Pemberian variasi kapasitas dan pembebanan dari proses pengujian didapatkan putaran turbin, kemudian dianalisis lebih lanjut untuk didapatkan daya dan efisiensi dari turbin air.

Penelitian yang dilakukan oleh Sutrimo, Dian dan Adiwibowo, Priyo Heru (2019) dalam penelitian yang berjudul “Eksperimental Variasi Jumlah Sudu L Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Horizontal” menyatakan bahwa daya turbin *crossflow* tertinggi dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 6 buah pada kapasitas aliran 13,408 L/s yaitu 3,683 Watt dengan pembebanan 6.000 g, diikuti oleh variasi jumlah sudu 8 dan yang paling rendah dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 10. Efisiensi tertinggi dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 6 buah pada kapasitas aliran 11,775 L/s yaitu 57,98% dengan pembebanan 5.500 g, diikuti oleh variasi jumlah sudu 8 dan efisiensi yang paling rendah dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 10.

Penelitian yang dilakukan oleh Ihsanto, Muhammad Wahdani dan Adiwibowo, Priyo Heru (2019) dalam penelitian yang berjudul “Eksperimental Pengaruh Variasi Rasio Sudu Berpenampang Datar Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi *Crossflow* Poros Horizontal” menyatakan bahwa hasil dari penelitian didapatkan turbin dengan rasio 15/16 memiliki daya dan efisiensi yang paling optimal daripada turbin dengan rasio 13/16 dan 14/16. Daya tertinggi dimiliki oleh turbin dengan rasio 15/16 yang terjadi pada kapasitas 12.58 L/s dengan pembebanan 8000 gram, memiliki daya sebesar 3,136 Watt. Efisiensi tertinggi juga dihasilkan oleh rasio 15/16 pada kapasitas 12.58 L/s dengan pembebanan 8000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 58,21%. Hal ini dikarenakan pada rasio 15/16 turbin mampu memanfaatkan aliran air dengan baik dan jarak antar lebar turbin dan lebar saluran semakin sempit maka luasan aliran air yang ditampung sudu semakin besar sehingga mampu menghasilkan rpm tinggi serta torsi yang besar.

Penelitian yang dilakukan oleh Christiawan dkk. (2017) yang berjudul “Studi Analisis Pengaruh Model Sudu Turbin Terhadap Putaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)” menyatakan bahwa hasil yang didapatkan dari ketiga model turbin didapatkan hasil perhitungan torsi untuk masing-masing jenis turbin hasil pengukuran yang dilakukan, diperoleh rpm tertinggi sebesar 151,6 Rpm dan torsi tertinggi

sebesar 0,017 Nm pada sudut nozzle 300 yaitu pada sudu turbin segitiga. Sedangkan untuk luasan air terbaik adalah sudu setengah lingkaran sebesar 3,19 liter. Dari hasil penelitian didapat turbin yang paling baik adalah turbin model sudu segitiga karena menghasilkan rpm dan torsi optimal pada sudut 300.

Penelitian yang dilakukan oleh Budiartawan dkk. (2017) yang berjudul “Pengaruh Sudu Sudu Segitiga Terhadap Performansi Pembangkit Listrik Piko Hidro” menyatakan bahwa hasil penelitian didapatkan efisiensi tertinggi kincir air sudu segitiga pada sudut sudu segitiga 100° yaitu sebesar 27,1% pada sudut nosel 1/3 beta. Kemudian disusul kincir air sudu segitiga pada sudut 90°, 110°, 80° dan terakhir 70° pada masing-masing sudut nosel 1/3 beta.

Beberapa peneliti terdahulu banyak yang sudah melakukan inovasi dengan tujuan mendapatkan hasil kinerja turbin yang optimal, tetapi masih belum ada peneliti yang melakukan penelitian tentang pengaruh variasi jumlah sudu dengan penampang V pada bentuk sudu turbin *crossflow* dengan poros horizontal. Untuk mengembangkan penelitian tersebut, sehingga peneliti tertarik melakukan kajian dan meneliti optimasi daya dan efisiensi pada turbin *crossflow* dengan memvariasikan jumlah sudu berpenampang V menggunakan poros horizontal.

METODE

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

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

- Variasi jumlah sudu pada *runner* turbin sebanyak: 6, 8 dan 10 sudu.



Gambar 3. Turbin *Crossflow* berpenampang V

Variabel Terikat

Menurut Sugiyono (2014), variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi:

- Daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *crossflow*

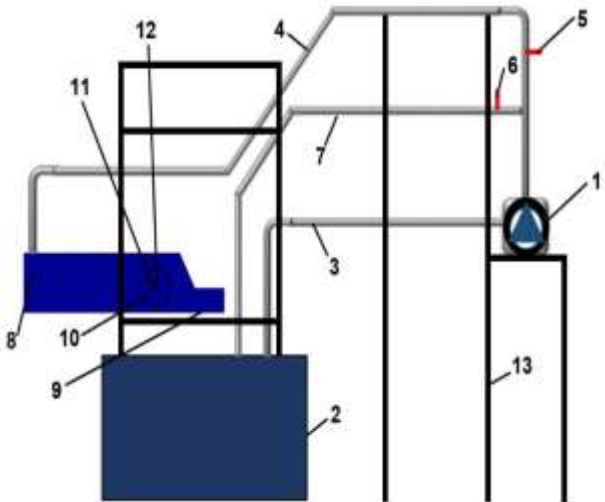
Variabel Kontrol

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

- Fluida kerja yang digunakan adalah air.
- Sudut sudu berpenampang “V” turbin *crossflow* menggunakan sudut 100 °.
- Kapasitas atau debit aliran air selama pengujian adalah 14,320 L/s, 11,804 L/s, 9.855 L/s.
- Bukaannya disesuaikan pada 130°, 140° dan 150°.
- Pembebanan sebesar 500 g, 1000 g, 1500 g, dan 2000 g dan seterusnya hingga turbin berhenti berputar.

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:



Gambar 2. Desain Instalasi Alat Uji

Keterangan:

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

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Tujuan yang diungkapkan dalam bentuk hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap

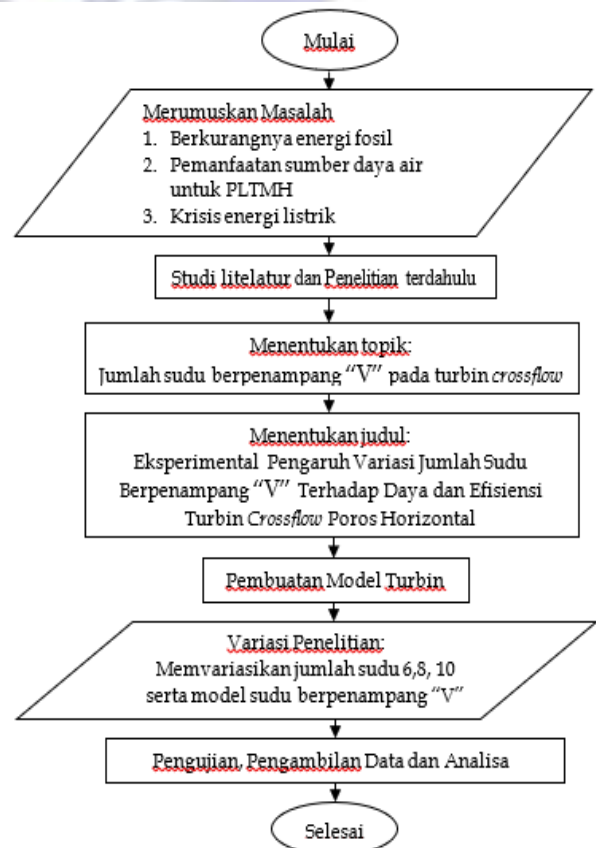
petanyaan penelitian. Data yang dikumpulkan ditentukan oleh variabel-variabel yang ada dalam hipotesis. Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengukur atau menguji obyek yang diteliti dan mencatat hasil tersebut.

Teknik Analisa Data

Analisa data adalah suatu metode atau cara untuk mengolah sebuah data menjadi informasi sehingga dapat dipahami yang nantinya bisa dipergunakan untuk mengambil sebuah kesempatan dan menemukan solusi. Pada eksperimen teknik analisa data yang digunakan adalah dengan menggunakan metode analisis data kualitatif deskriptif. (Moleong, 2008:6) menjelaskan bahwa penelitian deskriptif adalah penelitian yang menggambarkan dan melukiskan keadaan obyek penelitian berdasarkan fakta-fakta pada saat pengujian.

Analisis penelitian ini dilakukan dengan cara mengambil data yang tertera pada alat ukur yang kemudian akan dimasukkan dalam table, dan dihitung secara teoritis. Selanjutnya data disajikan dalam bentuk table dan grafik supaya waktu menarik kesimpulan lebih sederhana dan mudah dipahami. Adapun tujuan analisa data ini dilakukan untuk memberi informasi mengenai kinerja alat yang paling optimal, hubungan antara variabel-variabel dan fenomena-fenomena apa saja yang terjadi pada objek selama pengujian ketika dilakukan penelitian tentang pengaruh variasi jumlah sudu pada turbin *crossflow* untuk sudu berpenampang “V”.

Flowchart Penelitian



Gambar 3. Flowchart penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh variasi jumlah sudu terhadap daya dan efisiensi pada turbin *crossflow* dengan variasi jumlah sudu berpenampang V poros horizontal. Data yang didapatkan selama proses pengujian dimasukkan kedalam tabel yang sebelumnya telah dibuat, data dalam penelitian ini meliputi besar sudut pada bukaan katup saluran *bypass*, tinggi ambang pada *V-Notch Weir*, tinggi ambang pada saluran, kecepatan putaran turbin, berat beban, hasil neraca dan gaya yang dihasilkan neraca pegas. Hasil penelitian kemudian disajikan kedalam bentuk nilai dan grafik, tabel pengambilan data juga dilampirkan agar memudahkan dalam memahami grafik yang disajikan.

Dalam proses pengambilan data, dilakukan 3 kali percobaan, hal tersebut dilakukan karena analisa data di ambil dari rata-rata data dari tiga kali proses pengambilan, hal ini dimaksudkan agar data yang diperoleh benar-benar sesuai dengan kondisi yang ada atau *valid*. Data tersebut didapatkan dari pengujian turbin *crossflow* poros horizontal dengan sudu berpenampang V dan variasi jumlah sudu sebanyak 6, 8, dan 10. Data yang dihasilkan digunakan untuk perhitungan daya dan efisiensi dihasilkan turbin. Sebelum melakukan perhitungan daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin maka perlu diketahui terlebih dahulu kapasitas air dan kecepatan aliran air.

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

$$Q = Cd \cdot \frac{8}{15} \cdot \sqrt{2g} \cdot tg \frac{\theta}{2} \cdot H^{\frac{5}{2}}$$
 (Pritchard and Leylegian, 2012:648)
 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)
- Menghitung Luas Penampang Aliran (A)
 Luas penampang dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$A = T \cdot l$$
 (Pritchard and Leylegian, 2011:638)
 Keterangan:
 A = Luas penampang saluran (m²)
 T = Tinggi ambang ujung keluaran pengarah (m)
 l = Lebar keluaran pengarah (m)
- Menghitung Kecepatan Aliran (V)
 Kecepatan Aliran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$V = \frac{Q}{A}$$
 (Pritchard and Leylegian, 2011:617)
 Keterangan:
 V = Kecepatan Aliran (m/s)
 Q = Kapasitas Aliran (m³/s)
 A = Luas Penampang saluran (m²)

- Menghitung Daya Air yang Mengalir (Pa)
 Daya air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Pa = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3$$
 (Pritchard and Leylegian, 2011:504)
 Keterangan:
 Pa = Daya air (Watt)
 ρ = Massa jenis Fluida (kg/m³)
 A = Luas penampang saluran (m²)
 V = Kecepatan Aliran (m³/s³)
- Gaya
 Besarnya gaya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$F = (m_{beban} - m_{neraca}) \cdot g$$
 (2.5) (R.S. Khurmi & J.K. Gupta, 2005:10)
 Keterangan:
 F = Gaya (N)
 m_{beban} = Masa Beban (kg)
 m_{neraca} = Massa pada neraca (kg)
 g = Gravitasi (9,81 m/s²)
- Menghitung Torsi Turbin (T)
 Torsi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T = F \cdot r$$
 (Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10)
 Keterangan:
 T = Torsi (N.m)
 F = Gaya (N)
 r = Jari-jari poros putaran
- Menghitung Kecepatan Anguler Turbin
 Kecepatan anguler turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

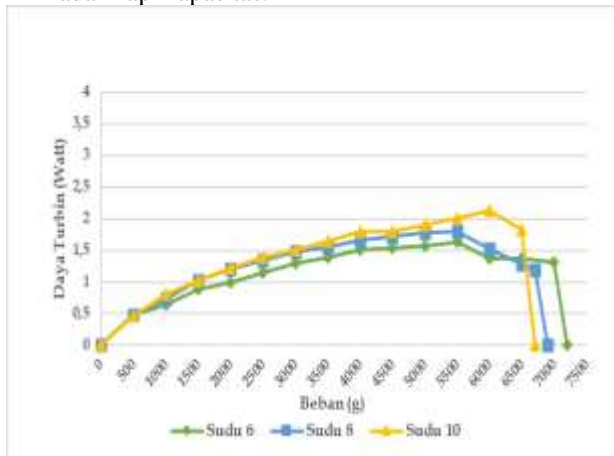
$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$
 (Khurmi, R.S., J.K.Gupta, 2005:10)
 Keterangan:
 ω = Kecepatan anguler turbin (rad/s)
 n = Putaran (rpm)
- Menghitung Daya Turbin (Pt)
 Daya turbin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Pt = T \cdot \omega$$
 (Pritchard and Leylegian, 2012:504)
 Keterangan:
 Pt = Daya turbin (Watt)
 T = Torsi (N.m)
 ω = Kecepatan anguler (rad/s)
- Menghitung Efisiensi Turbin (η)
 Efisiensi turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{Pt}{Pa} \cdot 100\%$$
 (Pritchard and Leylegian, 2012:504)
 Keterangan:
 η = Efisiensi turbin
 Pt = Daya turbin (Watt)
 Pa = Daya air (Watt)

Pembahasan

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



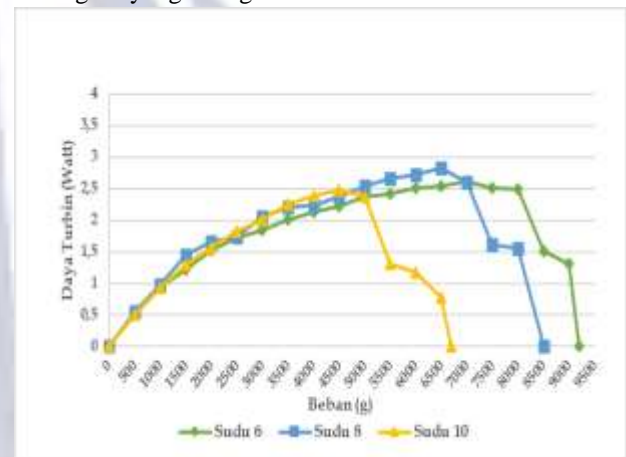
Gambar 4. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 9,885 L/s

Berdasarkan gambar 4 dapat dilihat grafik yang dihasilkan dari percobaan pada turbin berpenampang V dengan jumlah sudu 6, 8 dan 10. Daya turbin dengan jumlah sudu 6 mengalami peningkatan hingga pembebanan 5500 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,633 Watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 7200 gram. Daya turbin dengan jumlah sudu 8 terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 5500 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 1,804 Watt, lalu daya yang dihasilkan mengalami penurunan hingga berhenti pada pembebanan 6900 gram. Daya turbin dengan jumlah sudu 10 mengalami peningkatan hingga pembebanan 6000 gram dengan daya yang dihasilkan sebesar 2,130 Watt, lalu daya yang dihasilkan mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 6700 gram.

Pada gambar 4, grafik yang dihasilkan oleh turbin dengan jumlah sudu 6, 8, dan 10, turbin berpenampang V dengan jumlah sudu 10 mengalami peningkatan secara terus menerus hingga pembebanan 6000 gram dan mengalami penurunan pada pembebanan 6500 gram hingga berhenti pada pembebanan 6700 gram, hal ini dikarenakan pada kapasitas tersebut turbin dengan jumlah sudu 10 dapat menerima energi kinetik air lebih banyak sehingga daya air yang diterima dapat lebih banyak. akibatnya turbin dapat berputar hingga pembebanan yang tinggi, sedangkan penurunan daya turbin disebabkan oleh semakin besar pembebanan sehingga dibutuhkan daya yang lebih besar untuk memutar turbin.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 10 dan kapasitas aliran 9,855 L/s pada pembebanan 6000 gram memiliki nilai daya tertinggi yaitu 2,130 Watt. Hal ini terjadi karena pada kapasitas aliran 9,855 L/s akan menyebabkan putaran turbin semakin cepat sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar. Selain itu, pada kapasitas 9,855 L/s jumlah sudu turbin yang semakin banyak menyebabkan semakin cepat pula gaya dorong dari air yang diterima turbin akibat semakin sering gaya dorong turbin mengenai sudu, akibatnya turbin dapat menerima energi kinetik lebih banyak. Sedangkan penurunan daya disebabkan karena

peningkatan pembebanan sehingga gaya dorong yang diperlukan untuk memutar turbin menjadi semakin besar. Selain itu dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa dengan memvariasikan jumlah sudu turbin berpenampang V memiliki ketahanan terhadap pembebanan yang berbeda-beda, dimana turbin dengan jumlah sudu 6 memiliki ketahanan terhadap pembebanan yang paling tinggi yaitu turbin berhenti berputar pada pembebanan 7200 gram, kemudian diikuti turbin dengan jumlah sudu 8 dan 10 buah dengan pembebanan akhir sebesar 6900 gram dan 6700 gram. Hal tersebut dikarenakan semakin banyak jumlah sudu turbin maka semakin sering sudu turbin untuk memotong aliran air, sehingga pada pembebanan kritis dan pada saat turbin dengan jumlah sudu 10 memotong aliran air mengakibatkan adanya dua gaya dorong yang berbeda sehingga menyebabkan saling meniadakan, artinya transfer energi kinetik air ke pembebanan mengalami *losses* yang diakibatkan gaya dorong air yang saling meniadakan.



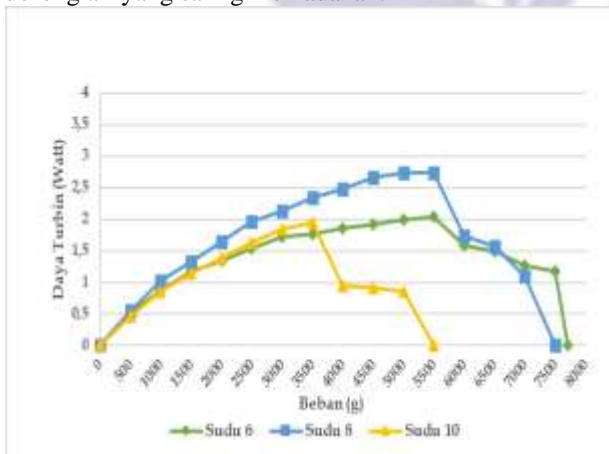
Gambar 5. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 11,804 L/s

Dari gambar 5 diatas dapat dilihat, daya turbin pada jumlah sudu 6 mengalami peningkatan nilai daya hingga pembebanan 7000 gram dengan daya turbin sebesar 2,615 Watt, setelah itu daya turbin menurun dan berhenti pada pembebanan 9200 gram. Daya turbin dengan jumlah sudu 8 juga mengalami peningkatan hingga pembebanan 6500 gram dengan nilai daya sebesar 2,834 Watt, setelah itu daya turbin mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 8500 gram. Selanjutnya, pada variasi jumlah sudu 10 daya turbin mengalami peningkatan hingga pembebanan 4500 gram dengan nilai daya sebesar 2,481 Watt, setelah itu daya menurun terus-menerus dan berhenti pada pembebanan 6700 gram.

Berdasarkan gambar 5, kapasitas yang diatur sebesar 11,804 L/s mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin berpenampang V dengan jumlah sudu 6, 8 dan 10. Turbin berpenampang V dengan jumlah sudu 8 mengalami peningkatan daya secara bertahap hingga pembebanan 6500 gram dan setelah itu daya turbin cenderung menurun lalu berhenti pada pembebanan 8500 gram. Pada kapasitas 11,804 L/s ini, nilai daya turbin dari variasi jumlah sudu berpenampang V dengan jumlah sudu 6, 8 dan 10 sudu mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan nilai daya pada kapasitas 9,855 L/s. Meningkatnya kapasitas aliran air cenderung

meningkatkan gaya dorong guna menggerakkan turbin, artinya kapasitas aliran air yang meningkatkan berarti laju energi (Daya air) yang mendorong sudu turbin meningkat, sehingga turbin dapat bertahan dengan pembebanan tinggi.

Dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 8 dan kapasitas aliran air 11,804 L/s pada pembebanan 6500 gram memiliki nilai daya tertinggi, yaitu 2,834 Watt. Kapasitas aliran yang meningkat menyebabkan air tepat menerpa luasan sudu turbin akibatnya putaran turbin meningkat sehingga daya yang dihasilkan turbin juga semakin besar, begitupun sebaliknya, penurunan daya disebabkan karena pembebanan yang semakin besar sehingga diperlukan gaya dorong yang semakin besar pula agar turbin mampu bergerak. Selain itu dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 6 memiliki ketahanan terhadap pembebanan yang paling tinggi yaitu turbin berhenti berputar pada pembebanan 9200 gram, kemudian diikuti turbin dengan jumlah sudu 8 dengan pembebanan akhir sebesar 8500 gram dan jumlah sudu 10 buah dengan pembebanan akhir sebesar 6700 gram. Hal ini disebabkan semakin tinggi aliran air yang menerpa turbin dan semakin banyak jumlah sudu turbin maka semakin sering sudu turbin untuk memotong aliran air, sehingga pada pembebanan kritis dan pada saat turbin dengan jumlah sudu 10 memotong aliran air mengakibatkan adanya dua gaya dorong yang berbeda sehingga menyebabkan saling meniadakan, artinya terjadi kehilangan energi kinetik air yang seharusnya ditransfer ke pembebanan akibat gaya dorong air yang saling meniadakan.



Gambar 6. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 14,320 L/s

Dari gambar 6 dapat dibandingkan daya yang dihasilkan tiap variasi jumlah sudu, turbin dengan jumlah sudu 6 mengalami peningkatan daya hingga pembebanan 5500 gram dan daya yang dihasilkan sebesar 2,037 Watt, lalu mengalami penurunan hingga berhenti berputar pada pembebanan 7700 gram. Turbin dengan jumlah sudu 8 mengalami peningkatan daya hingga pembebanan 5500 gram dan daya yang dihasilkan sebesar 2,738 Watt, setelah itu putaran turbin turun secara bertahap hingga berhenti pada pembebanan 7500 gram. Pada turbin dengan jumlah sudu 10, daya yang dihasilkan turbin terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 3500 gram dengan daya yang dihasilkan turbin sebesar 1,949

Watt lalu mengalami penurunan dan berhenti pada pembebanan 5500 gram.

Berdasarkan gambar 6, kapasitas aliran air yang diatur menjadi 14,320 L/s cenderung mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin, terlihat bahwa tiap variasi sudu menunjukkan peningkatan hingga pembebanan tertentu dan berbeda-beda karakter. Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa turbin dengan variasi jumlah sudu 8 mengalami peningkatan daya hingga pembebanan 5500 gram, setelah itu daya turbin turun secara bertahap dan berhenti pada pembebanan 7500 gram. Kapasitas yang meningkat cenderung mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin *crossflow* berpenampang V dengan variasi jumlah sudu. Bertambahnya kapasitas aliran berarti memperbesar gaya dorong yang diberikan untuk memutar turbin.

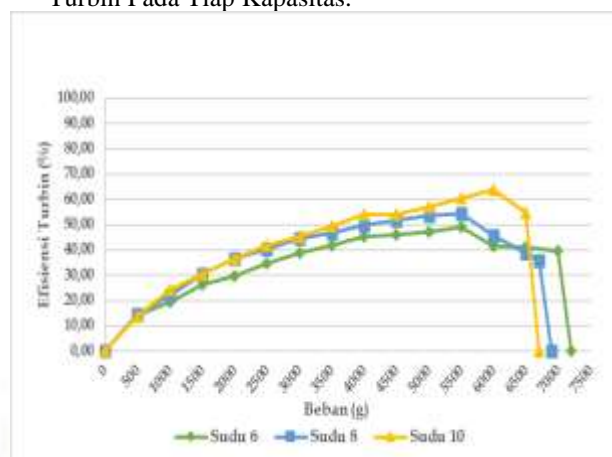
Dari gambar 6 diatas dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 8 pada kapasitas aliran 14,320 L/s dan pembebanan 5500 gram memiliki nilai daya tertinggi, yaitu 2,738 Watt. Hal ini disebabkan meningkatnya kapasitas aliran yang diberikan, sehingga gaya dorong yang diberikan sanggup membuat turbin berputar meski pembebanan semakin meningkat, namun pada titik tertentu terjadi penurunan nilai daya yang dihasilkan disebabkan semakin besarnya pembebanan yang diberikan sehingga perlu adanya gaya lebih besar untuk memutar turbin. Daya turbin yang dihasilkan pada kapasitas 14,320 L/s lebih kecil jika dibandingkan dengan daya turbin yang dihasilkan pada kapasitas 11,804 L/s, Hal ini karena pada kapasitas 14,320 L/s terjadi kenaikan tinggi ambang air yang mengenai turbin hingga $\frac{3}{4}$ dari diameter turbin, akibatnya terjadi kehilangan daya yang cukup besar karena adanya tahanan dari aliran air yang terlalu banyak merendam turbin, artinya semakin besar kapasitas aliran air yang diatur tidak selalu menyebabkan gaya yang dihasilkan untuk menggerakkan turbin juga semakin besar dan sanggup memutar turbin meskipun diberi pembebanan yang semakin besar. Selain itu dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa tetap pada turbin dengan jumlah sudu 6 memiliki ketahanan terhadap pembebanan yang paling tinggi yaitu turbin berhenti berputar pada pembebanan 7700 gram, kemudian diikuti turbin dengan jumlah sudu 8 dengan pembebanan akhir sebesar 7500 gram dan 10 buah dengan pembebanan akhir sebesar 5500 gram. Hal ini disebabkan semakin tinggi aliran air yang menerpa turbin dan semakin banyak jumlah sudu turbin maka semakin sering sudu turbin untuk memotong aliran air, sehingga pada pembebanan kritis dan pada saat turbin dengan jumlah sudu 10 memotong aliran air mengakibatkan adanya dua gaya dorong yang berbeda sehingga menyebabkan saling meniadakan, artinya terjadi kehilangan energi kinetik air yang seharusnya ditransfer ke pembebanan akibat gaya dorong air yang saling meniadakan.

Berdasarkan gambar 4, 5 dan 6 dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan jumlah sudu pada turbin reaksi *crossflow* poros horizontal memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Pada grafik (4.) dengan diberikan kapasitas aliran 9,855 L/s, variasi jumlah sudu menghasilkan daya yang tidak begitu besar namun daya yang dihasilkan turbin dengan memvariasikan jumlah sudu berpenampang V mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena pada kapasitas tersebut turbin tidak terendam sepenuhnya dan

luas area penampang aliran tidak sepenuhnya mengenai luas sudu turbin, sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin agar berputar, artinya laju energi air yang ditransfer ke turbin tidak begitu besar sehingga daya yang dihasilkan tidak terlalu besar. Seiring penambahan kapasitas aliran yang diatur dengan membuka katup saluran *bypass* pada skema pompa terlihat pada grafik (5.) pada kapasitas aliran 11,804 L/s bahwa daya yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan daripada kapasitas aliran sebelumnya, variasi yang diberikan pada jumlah sudu juga cenderung mengalami peningkatan terhadap nilai daya yang dihasilkan turbin. Kapasitas aliran yang 11,804 L/s menyebabkan air tepat menerpa luas sudu turbin akibatnya putaran turbin meningkat sehingga daya yang dihasilkan turbin juga semakin besar. Seiring dengan meningkatnya kapasitas aliran, pada grafik (6.) pada kapasitas aliran 14,320 L/s penambahan kapasitas menyebabkan variasi yang dilakukan pada jumlah sudu mengalami penurunan daya di kapasitas aliran ini. Hal ini disebabkan karena pada kapasitas 14,320 L/s luas penampang alirannya lebih tinggi dan merendam hampir $\frac{3}{4}$ dari diameter turbin sehingga terjadi dua gaya dorong dengan arah yang berbeda, gaya dorong dengan arah berbeda menyebabkan saling meniadakan, sehingga transfer energi air ke turbin tidak begitu maksimal.

Dari analisis yang diberikan diatas dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 8 pada turbin *crossflow* memiliki daya yang paling tinggi, dilanjutkan dengan jumlah sudu 6 dan daya terendah dihasilkan oleh jumlah sudu 10. Pada kapasitas 11,804 L/s turbin yang mampu menghasilkan daya tertinggi dari kapasitas lainnya yaitu turbin dengan variasi jumlah sudu 8, terbukti seperti yang ditunjukkan oleh gambar bahwa pada kapasitas ini turbin yang bisa memanfaatkan aliran air dengan sempurna dan menghasilkan daya paling tinggi adalah turbin yang memiliki variasi sudu 8 dengan daya sebesar 2,834 Watt pada pembebanan 6500 gram, karena aliran air yang menerpa sudu dapat diubah dengan baik dan dapat menampung lebih banyak air sehingga aliran air yang menerpa sudu bisa dimanfaatkan dengan optimal untuk memutar turbin dan dapat menghasilkan rpm dan torsi yang lebih tinggi dan tahan terhadap pembebanan tinggi. Turbin dengan jumlah sudu 10, memiliki daya turbin yang lebih rendah jika dibandingkan dengan semua jenis turbin, karena terdapat 2 gaya dorong yang menerpa turbin itu sendiri yang menyebabkan saling meniadakan. Untuk turbin dengan jumlah sudu 6 buah, daya yang dihasilkan cenderung lebih kecil dari daya yang dihasilkan dari turbin dengan jumlah sudu 8 buah. Hal ini dikarenakan aliran air yang menerpa turbin itu sendiri mengalir pada celah bilah sudu dan mengenai sudu turbin lainnya.

- Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pada Tiap Kapasitas.

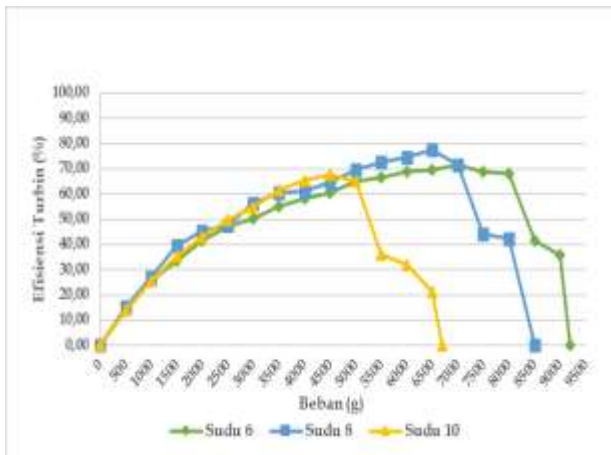


Gambar 7. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 9,855 L/s

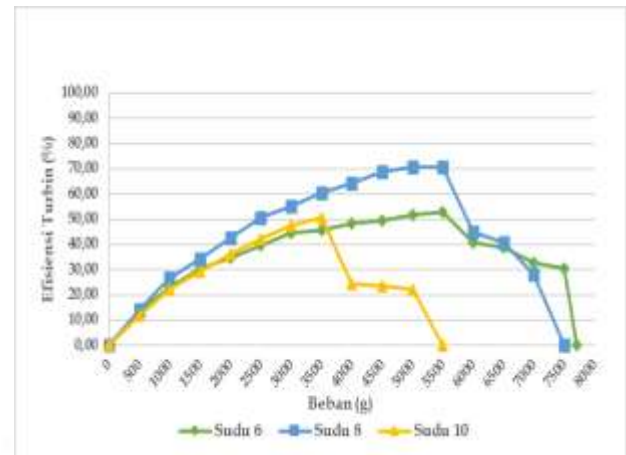
Dari gambar 7 dapat dibandingkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 6 mengalami peningkatan efisiensi hingga pembebanan 5500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 49,15%, setelah itu efisiensi turbin menurun hingga turbin berhenti berputar pada pembebanan 7200 gram. Turbin dengan jumlah sudu 8 mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 5500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 54,29%, setelah itu nilai efisiensi turbin menurun hingga berhenti pada pembebanan 6900 gram. Turbin dengan jumlah sudu 10 efisiensi turbin terus meningkat hingga pembebanan 6000 gram dengan nilai efisiensi sebesar 64,08%, lalu turbin berhenti pada pembebanan 6700 gram.

Berdasarkan gambar 7, dapat diketahui bahwa turbin dengan jumlah sudu 10, dapat mengalami kenaikan nilai efisiensi hingga pembebanan 6000 gram, setelah itu nilai efisiensi menurun hingga putaran berhenti dipembebanan 6700 gram. Hal ini karena nilai efisiensi berhubungan dengan nilai daya dan torsi yang dihasilkan oleh turbin. Apabila daya turbin mengalami penurunan maka efisiensi turbin juga akan menurun.

Dari gambar 7 pada kapasitas aliran 9,855 L/s dapat disimpulkan bahwa turbin dengan jumlah sudu 10 memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai efisiensi sebesar 64,08% pada pembebanan 6000 gram. Hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin, karena dalam mencari nilai efisiensi turbin, daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikali 100 persen. Dari rumusan itu juga dapat dilihat bahwa kapasitas aliran mempengaruhi peningkatan daya yang dihasilkan turbin karena adanya putaran dan torsi yang meningkat.



Gambar 8. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 11,804 L/s



Gambar 9. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 14,320 L/s

Pada gambar 8 dapat diketahui bahwa turbin dengan variasi jumlah sudu 6 terus mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 7000 gram, nilai efisiensi yang dihasilkan turbin sebesar 71,56%, setelah itu berangsur-angsur daya turbin mengalami penurunan hingga berhenti pada pembebanan 9200 gram. Pada turbin dengan variasi jumlah sudu 8, nilai efisiensi terus meningkat hingga pembebanan 6500 gram dengan efisiensi sebesar 77,55%, nilai efisiensi setelah itu berangsur-angsur menurun hingga turbin berhenti pada pembebanan 8500 gram. Selanjutnya pada turbin dengan variasi jumlah 10 nilai efisiensi turbin juga terus mengalami peningkatan hingga pembebanan 4500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 67,88%, setelah itu nilai efisiensi juga menurun hingga turbin berhenti pada pembebanan 6700 gram.

Berdasarkan pada gambar 8 dapat dilihat bahwa nilai efisiensi turbin dengan jumlah sudu 8 mengalami peningkatan dibanding kapasitas sebelumnya, nilai efisiensi dari variasi jumlah sudu 8 terus meningkat hingga pembebanan 6500 gram. Hal ini disebabkan karena kapasitas aliran yang diatur lebih besar dengan nilai sebesar 11,804 L/s sehingga daya turbin meningkat dan efisiensinya juga ikut meningkat.

Dari gambar 8 dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 8 pada turbin dan kapasitas aliran sebesar 11,804 L/s memiliki nilai efisiensi tertinggi dengan nilai 77,55% pada pembebanan 6500 gram, hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin karena nilai efisiensi berasal dari perhitungan daya turbin dibagi dengan daya air lalu dikali 100 persen.

Berdasarkan pada gambar 9 dapat dibandingkan bahwa turbin dengan variasi jumlah sudu 6 terus mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 5500 gram dan nilai efisiensi sebesar 66,04%, setelah itu nilai efisiensi mengalami penurunan hingga berhenti pada pembebanan 7600 gram. Turbin dengan variasi jumlah sudu 8 juga mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 5500 gram dan nilai efisiensi sebesar 70,93%, setelah ini berangsur-angsur nilai efisiensi dari turbin ini turun hingga berhenti berputar pada pembebanan 7500 gram. Terakhir adalah variasi turbin jumlah sudu 10 yang mengalami peningkatan nilai efisiensi hingga pembebanan 3500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 50,48%, lalu nilai efisiensi turbin juga turun hingga berhenti pada pembebanan 5500 gram.

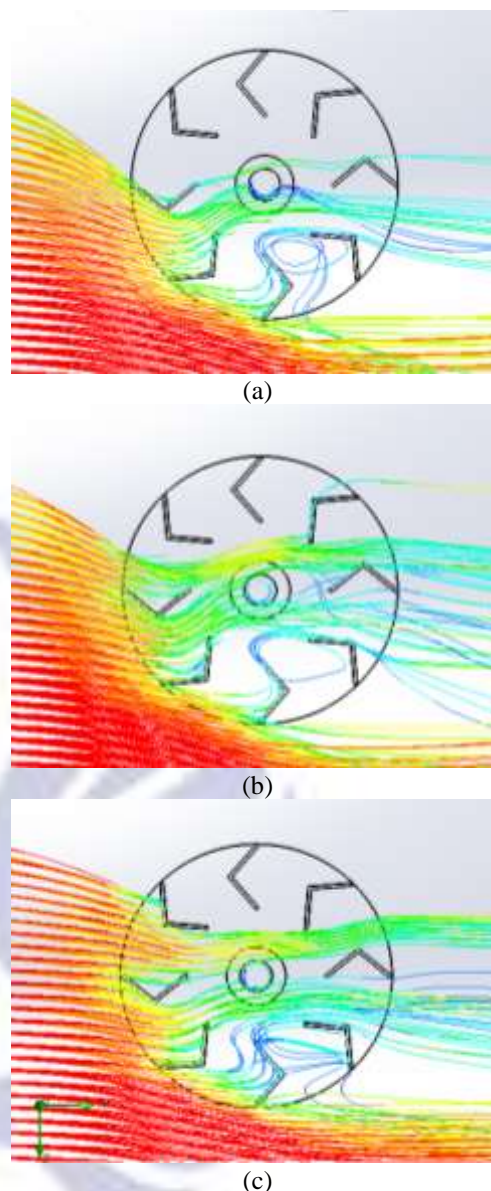
Berdasarkan pada gambar 9 pada kapasitas 14,320 L/s nilai efisiensi dari variasi jumlah sudu 6 terus meningkat hingga pembebanan 5500 gram. Nilai efisiensi turbin dengan jumlah sudu 8 mengalami penurunan dibanding kapasitas sebelumnya, hal ini disebabkan karena kapasitas aliran yang diatur lebih besar dengan nilai sebesar 14,320 L/s menyebabkan daya turbin malah menurun akibatnya efisiensinya juga ikut menurun.

Dari grafik tersebut disimpulkan bahwa variasi jumlah sudu 8 dan kapasitas 14,320 L/s memiliki nilai efisiensi tertinggi pada pembebanan 5500 gram dengan nilai efisiensi sebesar 70,93%. Hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan turbin pada kapasitas aliran yang sama karena pada dasarnya nilai efisiensi dihasilkan dari daya air dibagi dengan daya turbin lalu dikali.

Berdasarkan gambar 7, 8 dan 9 dapat dilihat bahwa dengan memvariasikan jumlah sudu pada turbin *crossflow* poros horizontal memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Nilai efisiensi meningkat karena adanya peningkatan pembebanan yang dilakukan saat pengujian, pembebanan menyebabkan torsi pada turbin semakin besar. Namun perlu diperhatikan saat pembebanan semakin besar maka gaya akan semakin besar hingga dapat menghentikan putaran turbin, saat turbin berhenti maka tidak dapat menghasilkan daya dan efisiensi. Pada grafik (7.) dengan mengatur kapasitas aliran 9,855 L/s, variasi jumlah tidak menghasilkan nilai efisiensi yang tidak begitu besar namun efisiensi yang dihasilkan turbin

cenderung mengalami peningkatan. Hal ini terjadi karena pada kapasitas tersebut turbin tidak terendam dan luasan area penampang aliran tidak sepenuhnya mengenai luasan sudu turbin, sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin agar berputar dan menghasilkan daya yang tinggi. Seiring penambahan kapasitas aliran yang diatur dengan membuka katup saluran *bypass* pada alat uji terlihat pada grafik (8.) bahwa efisiensi yang dihasilkan turbin mengalami peningkatan daripada kapasitas aliran sebelumnya, variasi jumlah sudu yang diberikan juga cenderung mengalami peningkatan terhadap nilai efisiensi yang dihasilkan turbin. Pada grafik (9.) kapasitas diatur menjadi 14,320 L/s, nilai efisiensi yang dihasilkan turbin cenderung mengalami penurunan dari pada kapasitas 11,804 L/s. Hal ini disebabkan karena pada kapasitas 14,320 L/ luas penampang alirannya lebih tinggi dan merendam kurang lebih $\frac{3}{4}$ dari diameter turbin sehingga terjadi dua gaya dorong dengan arah yang berbeda, gaya dorong dengan arah berbeda menyebabkan saling meniadakan, sehingga transfer energi air ke turbin tidak begitu maksimal.

Ketika kapasitas aliran 9,855 L/s jumlah sudu 10 buah memiliki nilai daya yang lebih tinggi dibanding dengan jumlah sudu 8 maupun sudu 6, namun saat kapasitas aliran air ditingkatkan menjadi 11,804 L/s jumlah sudu 8 memiliki karakteristik efisiensi tertinggi dengan nilai efisiensi 77,55% lalu diikuti jumlah sudu 6 buah dan 10 buah. Pada kapasitas aliran tersebut dengan jumlah sudu 8 buah memiliki maka nilai efisiensi yang dihasilkan cenderung naik sampai dimana titik paling maksimal dan setelah itu efisiensi turun. Pada kapasitas 14,320 L/s efisiensi yang dihasilkan menunjukkan kecenderungan yang sama dengan daya turbin pada kapasitas 11,804 L/s, dimana karakteristik efisiensi tertinggi tetap pada jumlah sudu 8, namun nilai efisiensi yang dihasilkan lebih rendah dibanding kapasitas 11,804 L/s, kemudian turbin dengan jumlah sudu 10 tetap memiliki karakteristik efisiensi paling rendah. Hal ini dikarenakan semakin besar kapasitas aliran dan semakin banyak jumlah sudu turbin berpengaruh terhadap nilai dari daya dan efisiensi turbin, sedangkan penurunan daya pada turbin diakibatkan oleh pembebanan yang semakin meningkat sehingga turbin memerlukan gaya yang lebih besar untuk menggerakkan turbin.



Gambar 10. Skema Aliran Air menuju Turbin sudu 8. (a) Pada kapasitas 9,855 L/s, (b) Pada kapasitas 11,804 L/s, (c) Pada kapasitas 14,320 L/s

Dari analisis yang diberikan diatas dapat disimpulkan bahwa daya turbin tertinggi didapat pada kapasitas 11,804 L/s dan pada turbin crossflow berpenampang V dengan variasi jumlah sudu 8 sebesar 77,55 %, dilanjutkan dengan variasi jumlah sudu 6 dan daya terendah dihasilkan oleh variasi jumlah sudu 10. Berdasarkan gambar 10 (a), aliran air pada kapasitas 9,855 L/s turbin tidak terendam dan luasan area penampang aliran tidak sepenuhnya mengenai luasan sudu turbin, sehingga gaya dorong yang dimiliki aliran tidak sepenuhnya mampu mendorong turbin agar berputar dan menghasilkan daya yang tinggi. Selanjutnya pada gambar 10 (b), air menerpa luasan sudu turbin lebih banyak dan lebih luas, selain itu air juga tepat mengenai sudu turbin, hal tersebut menghasilkan daya turbin dan efisiensi turbin yang paling tinggi. Pada gambar 10 (c), dapat dilihat bahwa kenaikan kapasitas aliran menyebabkan naiknya tinggi aliran air artinya luas penampang alirannya lebih tinggi dan merendam kurang lebih $\frac{3}{4}$ dari diameter turbin

sehingga terjadi dua gaya dorong dengan arah yang berbeda, gaya dorong dengan arah berbeda menyebabkan saling meniadakan, sehingga transfer energi air ke turbin tidak begitu maksimal.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi jumlah sudu berpenampang V terhadap daya dan efisiensi turbin *crossflow* poros horizontal maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

- Daya turbin optimum dihasilkan pada variasi jumlah sudu 8 didapat pada kapasitas 11,804 L/s sebesar 2,834 Watt pada pembebanan 6500 gram dan memiliki ketahanan pembebanan pembebanan hingga 8500 gram.
- Efisiensi turbin optimum dihasilkan dari pengujian pada variasi jumlah sudu 8 didapat pada kapasitas 11,804 L/s sebesar 77,55% pada pembebanan 6500 gram.

Saran

Setelah dilakukan penelitian, pengujian, pembahasan dan analisis mengenai pengaruh variasi jumlah sudu berpenampang V terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan, maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut:

- Mengingat manfaat yang diperoleh, turbin *crossflow* poros horizontal ini harusnya dapat dikembangkan. Namun, dalam pengembangannya perlu diperhatikan pula kapasitas aliran dan lebar saluran yang digunakan.
- Diharapkan ada penelitian lebih lanjut yang membahas tentang jumlah sudu berpenampang V dengan jumlah 7 dan 9 agar didapatkan daya dan efisiensi yang lebih baik dan lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- Berya, Prillia. 2012. "Makalah Turbin Air", (Online), (<https://www.academia.edu/7246445/MakalahTurbin-in-air>, diakses 1 November 2019).
- Budiartawan K., Suryawan A. A. A., Suarda M. 2017. "Pengaruh Sudut Sudu Segitiga Terhadap Performansi Pembangkit Listrik PikoHidro". *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*. Vol. 06 (3): hal. 294-298.
- Christiawan, Donny, Jasa, Lie, Sudarmojo, Yanu Prapto. 2017. "Analisis Pengaruh Model Sudu Turbin Terhadap Putaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 16 (2): hal. 104- 111.
- CINK Hydro-Energy, k.s. 2013. Turbin Crossflow, (<http://cink-hydro-energy.com/id/turbin-crossflow/>, diakses pada tanggal 1 Oktober 2019)

Dewan Energi Nasional. 2014. *Indonesian Energy Outlook* (IEO). Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. 2016. *Statistik Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi*. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Dirtzel, Fritz. 1990. *Turbin, Pompa, dan Kompresor*. Jakarta: erlangga.

Energi, Satu. 2015. "Jenis-Jenis Turbin Air PLTA/PLTMH" (<http://www.satuenergi.com/2015/04/jenis-jenis-turbin-air-pltaplthm.html> diakses 2 Oktober 2019).

Haimerl, L.A. 1960. "The Cross Flow Turbine". Jerman Barat.

KajianPustaka.com, 2019, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), (<https://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>, diakses pada tanggal 1 oktober 2019).

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

Lexy, J Moleong. 2008. *Metodologi Penelitian Kualitatif*, Bandung: PT Remaja Rosdakarya

Munson, Bruce, R., Young, Donald, F., Okiishi, Theodore, H., 2006. *Fundamental of Fluid Mechanics Fifth Edition*. New Jersey : Wiley.

Padang, Yesung Allo, Okariawandan, I Dewa Ketut, Wati, Mundara. 2014. "Analisis Variasi Jumlah Sudu Berengsel Terhadap Unjuk Kerja Turbin *Crossflow* Zero Head". *Dinamika Teknik Mesin*. Vol. 04 (1): hal. 44 – 54.

Pramesti, Yasinta Sindy. 2018. "Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik". *Jurnal Mesin Nusantara*, Vol. 01 (1): hal. 51-59.

Pritchard, Philip J., Leylegian, Jhon C. 2011. *Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition*. Danver: Jhon Wiley & Sonc Inc.

Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral. 2017. *Kajian Penyediaan dan Pemanfaatan Migas, Batubara, EBT Dan Listrik*. Jakarta: Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Riduan, Mujib dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2016. "Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros Vertikal Dengan Sudu Setengah Silinder". *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 4 (03): hal. 405-412.

Rohermanto, A. 2007. "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)". *Jurnal Pembangkit Listrik*. Vol. 04 (1): hal. 28-36.

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

Sutrino, Dian dan Adiwibowo, Priyo Heru. 2019.
“Eksperimental Variasi Jumlah Sudu L Terhadap
Daya dan Efisiensi Turbin *Crossflow* Poros
Horizontal”. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. 07 (1): hal.
95-10.

Tim. 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya:
Universitas Negeri Surabaya.

