

EKSPERIMENTAL PENGARUH VARIASI SUDUT SUDU BERPENAMPANG SEGITIGA TERHADAP DAYA DAN EFISIENSI TURBIN *CROSSFLOW* POROS HORIZONTAL

Yoga Prasetyo

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: yogaprasetyo16050754025@mhs.unesa.ac.id

Priyo Heru Adiwibowo

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

Abstrak

Pola pengembangan pembangkitan kelistrikan Indonesia masihlah condong bergantung pada ketersediaan bahan bakar berbasis energi fosil. Dengan memanfaatkan energi terbarukan, selaku usaha guna memberikan pengurangan pada ketergantungan terhadap energi fosil. Pembangkit listrik tenaga air sudah banyak dilaksanakan pengembangannya pada berbagai daerah pada negara Indonesia, utamanya turbin air tipe aliran silang (*crossflow*) yang aplikasinya meliputi seluruh lokasi menggunakan debit aliran air serta head ataupun tinggi jatuh air yang rendah serta menengah. Tujuan dari penelitian berikut yakni guna mengetahui pengaruh variasi sudut sudu berpenampang segitiga terhadap daya dan efisiensi pada turbin *crossflow* poros horizontal.

Penelitian berikut menerapkan metode eksperimen dan menggunakan variasi sudut sudu berpenampang segitiga yaitu 80° , 90° , 100° dan 110° dengan jumlah sudu 6 serta variasi kapasitas aliran air sejumlah 9,855 L/s, 11,804 L/s, serta 14,320 L/s. Turbin berikut dilakukan pengujian terhadap sistem guna memperoleh nilai daya serta efisiensi.

Hasil dari penelitian berikut pada variasi sudut sudu 80° , 90° , 100° juga 110° diperoleh daya turbin optimum yang dihasilkan dari pada sudut sudu 110° pada kapasitas 14,320 L/s sejumlah 2,839 Watt menggunakan pembebanan 6000 gram serta mempunyai ketahanan pembebanan sehingga 8000 g. Sementara itu, efisiensi turbin maksimum dihasilkan dari pada sudut sudu 110° pada kapasitas 11,804 L/s sejumlah 77,14% menggunakan pembebanan 6500 g serta mempunyai ketahanan pembebanan hingga 9500g.

Hal ini dikarenakan karakteristik dari pada sudut sudu 110° yakni memiliki lebar sudut sudu yang lebih kecil, sehingga hambatan yang disebabkan oleh aliran air dapat dikurangi dan gaya dorong air untuk memutar turbin dapat dioptimalkan.

Kata kunci: *Crossflow*, Daya, Efisiensi, Sudu Segitiga, Turbin

Abstract

Indonesia's electricity generation development patterns still tend to rely on the availability of fossil fuel-based fuels. By utilizing renewable energy, in an effort to reduce reliance on fossil fuels. Hydropower has been widely carried out development in various regions in Indonesia, especially Crossflow water turbines whose applications include all locations with water flow discharge and head or high low and medium water falls. The purpose of this study is to determine the effect of triangular angle variations on power and efficiency in horizontal shaft crossflow turbines.

This study used an experimental method using variations in triangular angles of 80° , 90° , 100° and 110° with a total of 6 spoons and variations in water flow capacity of 9,855 L/s, 11,804 L/s, and 14,320 L/s. These turbines are tested on the system for power value and efficiency.

The results of this study on variations of angles of 80° , 90° , 100° and 110° obtained optimum turbine power generated from at a 110° angle at a capacity of 14,320 L/s of 2,839 Watts with a load of 6000 grams and has a load resistance of up to 8000 grams. While the maximum turbine efficiency is generated from at a 110° angle at a capacity of 11,804 L/s of 77.14% with a load of 6500 grams and has a load resistance of up to 9500 grams.

This is because the characteristics of the 110° angle of blade are having a smaller blade angle, so obstacles caused by the flow of water can be reduced and water thrust to turn the turbine can be optimized.

Keywords: *Crossflow*, Power, Efficiency, Triangular Angle, Turbine

PENDAHULUAN

Energi ialah kebutuhan utama manusia. Keterbatasan sumber daya energi berbasis fosil serta dampak polusi, menunjang tiap negara pada belahan dunia saat ini melakukan pengembangan pada melakukan pengembangan pada energi alternatif yang ramah lingkungan serta sumbernya terbarukan. Melalui mengambil dari manfaat energi terbarukan, selaku usaha guna memberikan pengurangan pada bergantungnya terhadap energi fosil. Terbatasnya sumber energi dari minyak bumi menjadikan upaya guna melakukan pencarian akan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan serta tidak memakan banyak biaya. Ekonomi masyarakat di desa sampai sekarang ialah sebuah permasalahan pemerintahan yang tak selesai-selesai, hal tersebut disebabkan kemiskinan serta pendapatan perkapita masyarakat yang rendah serta derajat pendidikan yang relatif rendah memberikan penambahan akan makin susahnyanya masyarakat desa guna maju serta mengalami perkembangan di samping akses jalan yang merupakan permasalahan (Jasa, 2010). Sumber energi terbarukan seperti yang dimaksudkan yaitu, sinar matahari, angin, air, bio massa, bio gas, sampah kota, panas bumi, bahan bakar nabati cair, gerakan serta akan perbedaan suhu lapisan laut (Menteri ESDM RI, 2018).

Dominan listrik di masa sekarang didapatkan dari berbagai pembangkit listrik yang memakai sumber daya batu bara, minyak bumi, air, tenaga surya, angin, serta nuklir, itu pun dengan jumlah skala yang besar yang menjadikan memerlukan suatu sumber daya yang juga besar. Persoalan tersebut menyebabkan makin langka sumber daya itu sendiri menengok sumber daya misalnya minyak bumi, batu bara, serta nuklir memerlukan waktu yang cukup lama guna bisa diperbaharukan kembali melewati tahapan alam (Prasetyo & Adiwibowo, 2016). Kebutuhan energi listrik di Indonesia dalam kurun waktu 17 tahun, kebutuhan setiap tahunnya akan semakin meningkat, pada tahun 2003 konsumsi energi listrik membutuhkan 91,72 TWh dan diproyeksikan akan meningkat menjadi 272,34 TWh pada tahun 2020 dengan rata-rata peningkatan sebesar 6,5% tiap tahun. Hal ini diakibatkan pertambahan penduduk maupun pertumbuhan industri yang menggunakan energi listrik, sehingga pertumbuhan permintaan akan energi listrik akan menjadi sesuatu yang pasti dan berkelanjutan (Muchlis & Permana, 2003).

Kapasitas untuk membangkitkan tenaga listrik hingga di tahun 2018 sampai pada angka 64,5 GW ataupun mengalami kenaikan atau peningkatan sejumlah 3% dilakukan perbandingannya bersama kapasitas di tahun 2017. Kapasitas terpasang pembangkit listrik tahun 2018 sebagian besarnya bersumber dari pembangkit energi fosil khususnya batu bara sebanyak 50%, kemudian gas bumi sebanyak 29%, BBM sebanyak 7% serta energi

terbarukan (14%) (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019).

Pola pengembangan pembangkitan listrik pada negara Indonesia masihlah condong bergantung pada tersedianya bahan bakar berbasis energi fosil. Ketersediaan energi fosil mengalami penipisan yang menyebabkan adanya upaya mengembangkan pembangkit listrik berbasis energi nonfosil. Persentase energi bauran yang dilakukan pengembangannya guna mengatasi berkurangnya bahan bakar fosil masihlah amat kecil, akan tetapi perkembangan telah bermula. Potensi daya serap teknologi tak lepas dari cakupan regulasi yang dilakukan penerapannya oleh pemerintah. Satu di antara beberapa segmen energi baruan ialah energi air menggunakan tingkatan kecukupan kapasitas tak terbatas pada negara Indonesia. Penggunaan potensi air selaku sumber daya yang menggerakkan sistem untuk membangkitkan listrik khususnya dalam tataran energi kinetik masihlah amat minimal. Penelitian dasar serta empiris amat memberikan kemungkinan akan dilaksanakan menengok cadangan potensi air yang sudah luas dan tersebar pada berbagai daerah. Serapan teknologi itu sendiri menggunakan penerapan pada lapangan selaku satu di antara beberapa kandidat guna memberikan penanggulangan pada kelangkaan tersedianya daya listrik dalam lokus yang belumlah memiliki kemungkinan guna dipakai sebagai perpanjangan jaringan listrik. Manfaat yang lain yakni memberikan peningkatan pada rasio elektrifikasi serta memberikan peningkatan pada taraf hidup di sekitarnya (Saleh, 2014). Menengok keadaan itu sendiri, sehingga potensi energi air yang dipakai selaku sumber energi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ataupun disingkat PLTMH amat tinggi.

Pemerintahan pun sudah menciptakan sebuah aturan undang-undang yang memberikan tunjangan pada bidang Pembangkit Listrik Tenaga Mikro yakni PP Nomor 3 tahun 2005 tentang Ketenagalistrikan dijelaskan, untuk memberikan jaminan untuk menyediakan energi primer guna membangkitkan suatu tenaga listrik, diberikan prioritas pemakaian sumber energi setempat melalui kewajiban mengutamakan penggunaan sumber energi terbarukan. Melalui hal tersebut telah sepatutnya pemerintahan memulai melakukan pengembangan akan potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro lebih banyak. Namun pada pembangunan sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro hendaknya memberikan perhatian yang lebih kepada aspek - aspek di antaranya aspek teknis, aspek lingkungan, serta aspek ketersediaan sumber energi (Putro et al., 2012).

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro memiliki makna, secara bahasa dimaknai sebagai *micro* maknanya kecil kemudian *hydro* maknanya air, sehingga bisa dinyatakan bahwasanya *micro hydro* merupakan

Pembangkit Listrik Tenaga Air atau disingkat dengan PLTA yang memiliki skala kecil, sebab pembangkit tenaga listrik berikut menggunakan aliran air sungai ataupun aliran irigasi selaku sumber tenaga guna menjadi penggerak dari turbin serta memutarakan generator. Sehingga di dalam prinsip di mana terdapat air yang mengalir yang memiliki ketinggian min 2,5 m menggunakan debit 250 l/detik, sehingga di situ terdapat energi listrik. Di samping hal tersebut, *micro hydro* tak diperlukan menciptakan waduk yang besar misalnya PLTA (Gunawan et al., 2013). Turbin air bisa dimaknai selaku sebuah mesin untuk menggerakkan di mana fluida kerjanya ialah air. Berdasar dari prinsip kerja turbin (momentum fluida kerjanya) untuk memberikan perubahan pada energi potensial air berubah menjadi energi mekanis (Mafruddin & Marsuki, 2017).

Pembangkit listrik mikro hidro merupakan pembangkit listrik tenaga air berskala kecil. Pembangkit listrik mikro hidro dibangun berdasarkan adanya air yang mengalir pada sebuah lokasi menggunakan kapasitas serta ketinggian yang mencukupi. Kapasitas air yang dimaksud ialah jumlah volume aliran air persatuan waktu (*flow capacity*), lalu perbedaan ketinggian antara daerah aliran hingga ke instalasi disebut *head*. Peralatan PLTMH terdiri dari turbin, generator, dan panel kontrol (Suparyawan et al., 2013).

Pembangkit listrik tenaga air sudah banyak dilaksanakan pengembangannya pada daerah - daerah pada negara Indonesia, utamanya pada turbin air tipe aliran silang (*crossflow*) yang pengaplikasiannya meliputi keseluruhan lokasi menggunakan debit aliran air serta *head* ataupun tinggi jatuhnya air yang rendah serta menengah. Penggunaan jenis turbin *crossflow* lebih memberikan keuntungan bila dilakukan perbandingannya bersama pemakaian kincir air ataupun jenis turbin mikrohidro lainnya. Satu di antara beberapa contoh yakni daya guna ataupun efisiensi rata-rata turbin tersebut lebih tinggi daripada daya guna kincir air. Hasil uji laboratorium yang dilaksanakan oleh pabrik turbin *Ossberger* Jerman Barat yang memberikan kesimpulan bahwasanya daya guna kincir air jenis yang terunggul sekali pun hanyalah meraih 70 % sementara itu, efisiensi turbin *crossflow* meraih 82%. Tingginya efisiensi turbin *crossflow* tersebut disebabkan oleh penggunaan energi air dalam turbin berikut dilaksanakan 2 kali, yang pertama energi tumbukan air di sudu-sudu ketika air mulai masuk, serta yang kedua ialah daya dorong air di sudu-sudu ketika air akan meninggalkan *runner*. Kerja air yang memiliki tingkatan berikut nyatanya memberi manfaat pada persoalan efektifitas yang tinggi serta kesederhanaan dalam sistem keluaran air dari *runner* (Pratilastiarso & Hamka, 2016). Secara umum, kincir air mempunyai wujud sudu lurus. Kincir air yang berbentuk sudu segitiga, yang bisa memberikan hasil efisiensi

5,73% lebih banyak jika dilakukan perbandingannya bersama bentuk sudu lurus (Jasa et al., 2014).

Turbin Aliran Silang atau *crossflow* ialah satu di antara beberapa alat yang bisa memeberikan konversi energi air menjadi energi listrik menggunakan bantuan generator. *Crossflow* meliputi sudu - sudu yang dilakukan pemasangannya di sepasang piringan paralel yang disebut *runner* serta suatu nosel, dengan kapasitas airnya (debit) antara 0,01 m³/s hingga 7 m³/s serta tinggi air jatuh (*head*) antara 1m hingga 200m (Prihartanto, 2018).

Turbin *crossflow* memiliki pengarah air sehingga celah bebas menggunakan sudu pada sekeliling roda menjadi sedikit. Turbin berikut dipakai guna membangkitkan listrik tenaga air kecil menggunakan daya berkisar 750 kW. Head yang bisa dipakai adalah 1m hingga 200m serta berkapasitas antara 0,02 m³/s hingga 7 m³/s. Kecepatan dari perputarannya adalah 60rpm hingga 200 rpm bergantung pada diameternya. Keefisiensiannya kurang lebih 80% (Dietzel, 2018). Turbin *crossflow* dengan keefisiensiannya yang tinggi disebabkan pemakaian energi air pada turbin ini terjadi 2 kali. Pertama, energi tumbukan air terhadap sudu turbin dimana air mengalir masuk, kemudian yang kedua yaitu daya dorong air terhadap sudu saat air akan melewati keluar *runner*. Kondisi kinerja air yang bertahap berikut menyebabkan keunggulan dari segi keefektifannya yang baik serta kemudahan pada sistim keluaran air dari *runner* (Putra & Prasetyo, 2018).

Dalam Penelitian (Pramesti, 2018) dengan judul "*Analisa Pengaruh Sudut Sudu Terhadap Kinerja Turbin Kinetik Poros Horizontal Dan Vertikal*". Berdasar dari hasil penelitian, sehingga bisa ditarik sebuah kesimpulan bahwasanya daya output yang diperoleh dari turbin maksimal berjumlah 1,53 Watt terjadi di debit 90 m³/jam menggunakan sudut pengarah aliran 15°. Efisiensi paling tinggi yakni sejumlah 18% terjadi dengan debit aliran 50 m³/jam menggunakan sudut pengarah aliran sejumlah 15°. Turbin menggunakan tipe poros horizontal mempunyai nilai daya serta efisiensi yang sedikit lebih banyak bila dilakukan perbandingannya bersama turbin poros vertikal.

Dalam Penelitian (Christiawan et al., 2017) yang berjudul "*Studi Analisis Pengaruh Model Sudu Turbin Terhadap Putaran Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*". Model sudu yang dipakai ialah sudu setengah lingkaran, sudu segitiga, sudu sirip. Pengukuran kecepatan rpm dari 3 model turbin, dilihat perhitungannya dari sudut nozzle 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35° dan 40°. Hasil pengukuran yang dilaksanakan, didapatkan rpm paling tinggi sejumlah 151,6 dan torsi tertinggi sebesar 0,017 Nm pada sudut nozzle 30° yakni di sudu turbin segitiga. Sementara itu, bagi luasan air paling baik yakni sudu setengah lingkaran

sejumlah 3,19 l. Dari hasil penelitian diperoleh turbin yang terbaik ialah turbin model sudu segitiga sebab memberikan hasil yakni rpm serta torsi optimal di sudut 30° .

Dalam penelitian (Budiartawan et al., 2017) yang memiliki judul “*Pengaruh Variasi Sudu Sudu Segitiga Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro*”. Kincir air ialah satu di antara beberapa komponen utama untuk membangkitkan listrik tenaga piko hidro. Desain kincir air amat memberikan pengaruh pada performansi yang menjadi hasil dari kincir air itu sendiri. Kincir air yang berbentuk sudu segitiga memiliki kemudahan berdasarkan sisi pembuatan sudu itu sendiri. Uji kincir air sudu segitiga dilaksanakan melalui melakukan pengujian pada model kincir air lengkap menggunakan bak uji model sistem PLTPH. Sudu kincir yang dilakukan pengujiannya yakni 70° , 80° , 90° , 100° serta 110° memiliki tujuan guna tahu akan sudut sudu kincir air sudu segitiga yang teroptimal. Data yang diteliti mencakup kapasitas aliran, Head efektif kincir, putaran kincir, daya poros, serta efisiensi. Dari uji yang dilaksanakan didapat efisiensi kincir paling tinggi hingga 27,1% di sudu menggunakan sudut 100° .

Dalam penelitian (Sutrimo & Adiwibowo, 2019) yang berjudul “*Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal*”. Hasil penelitian berikut yakni variasi jumlah sudu mempunyai pengaruh yang cukup besar pada nilai daya serta efisiensi yang merupakan hasil dari turbin *crossflow*. Jumlah sudu 6 buah dengan kapasitas aliran 13,408 L/s serta pembebanan 6000 gram memberikan hasil yakni daya tertinggi, yakni sejumlah 3,683 Watt. Efisiensi paling tinggi pun diperoleh dari turbin menggunakan variasi jumlah sudu 6 dalam kapasitas aliran 11,775 L/s serta pembebanan 5500 g menggunakan nilai efisiensi sejumlah 57,98%. Persoalan beriku disebabkan makin banyaknya jumlah sudu mengakibatkan penyempitan serta turbin serupa dengan lingkaran penuh yang menjadikan daya air tak maksimal ketika melakukan pendorongan pada turbin, di samping hal tersebut massa yang berasal dari turbin pun memberikan pengaruh pada kerja dari turbin tersebut.

Beberapa peneliti terdahulu banyak yang sudah melaksanakan inovasi yang bertujuan memperoleh hasil kinerja turbin yang optimal, namun masihlah belum terdapat peneliti yang melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi sudut sudu dengan permodelan segitiga pada bentuk sudu turbin *crossflow* menggunakan poros horizontal. Guna memberikan pengembangan pada penelitian itu sendiri, sehingga peneliti memiliki minat mengkaji serta melakukan penelitian akan daya serta efisiensi pada turbin *crossflow* melalui memberikan

variasi akan sudut sudu berpenampang segitiga menggunakan poros horizontal.

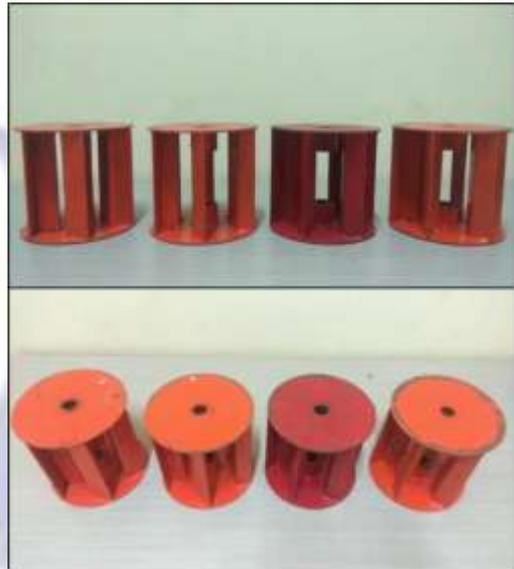
METODE

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas ialah variabel yang mempengaruhi ataupun menjadi faktor merubah ataupun perubahannya ataupun menimbulkan variabel terikat (Sugiyono, 2013). Variabel bebas pada penelitian berikut:

- Variasi sudut sudu 80° , 90° , 100° , dan 110°



Gambar 1. Turbin *Crossflow* Penampang Segitiga

Variabel Terikat

Menurut (Sugiyono, 2013), variabel terikat ialah variabel yang diberikan pengaruhnya ataupun menjadi akibat, terdapatnya variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian berikut meliputi:

- Daya serta efisiensi yang menjadi hasil oleh turbin *crossflow*

Variabel Kontrol

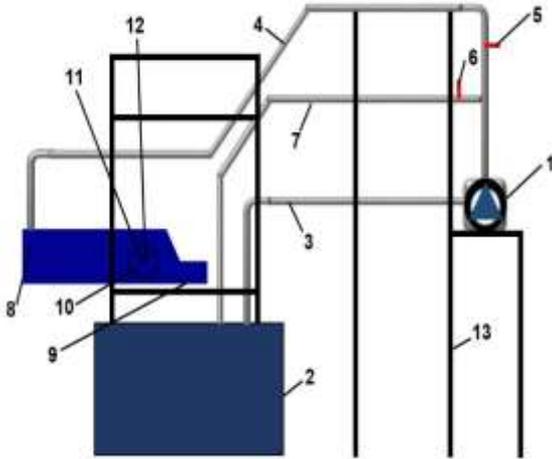
Variabel kontrol ialah sebuah variabel yang dilakukan pengendaliannya ataupun dijadikan konstan supaya pengaruh variabel bebas kepada variabel terikat tak diberikan pengaruhnya oleh beberapa faktor lainnya dari luar yang tak dilakukan penelitiannya (Sugiyono, 2013). Pada penelitian berikut variabel yang di kontrol mencakup:

- Fluida kerja yang dipakai yaitu air.
- Jumlah sudu penampang segitiga yang digunakan adalah 6 sudu.
- Kapasitas atau debit aliran air pada pengujian adalah 9,855 L/s, 11,804 L/s, dan 14,320 L/s.
- Bukaan katup dilakukan penyesuaiannya di 130° , 140° , dan 150° .

- Pembebanan secara bertahap sejumlah 500 g, 1000 g, 1500 g, serta 2000 g serta kemudian sampai turbin berhenti berputar.

Peralatan serta Instrumen Penelitian

Peralatan yang dipakai pada penelitian berikut mencakup:



Gambar 2. Desain Instalasi Alat Uji

Ket.:

1. Mesin pompa
2. Reservoir air
3. Saluran pipa suction
4. Saluran pipa discharge
5. Katup utama
6. Katup bypass
7. Saluran bypass
8. Saluran inlet
9. Saluran outlet
10. Turbin
11. Poros Turbin
12. Bearing
13. Rangka utama

Teknik Pengumpulan Data

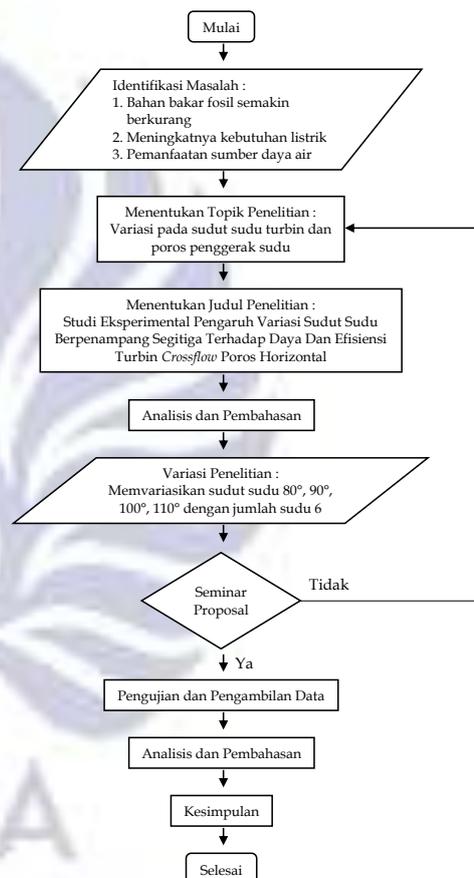
Pengumpulan data dilakukan guna mendapatkan hasil yang diperlukan untuk tercapainya tujuan penelitian. Tujuan yang dipaparkan pada wujud hipotesis ialah sebuah jawaban sementara pada pertanyaan penelitian. Data yang dilakukan pengambilannya didapat dari variabel-variabel yang terdapat pada hipotesis. Teknik pengumpulan data pada penelitian berikut dilaksanakan melalui melakukan pengukuran ataupun pengujian akan objek penelitian serta melakukan pencatatan pada hasil yang sudah didapatkan.

Teknik Analisa Data

Analisis penelitian berikut dilaksanakan melalui metode malkukan pengambilan akan data yang tercantum dalam alat ukur dan selanjutnya dicantumkan pada tabel, lalu

dilakukan perhitungannya dengan teoritis. Kemudian data dipaparkan pada wujud table atau grafik agar waktu menyimpulkan lebih sederhana serta mudah untuk dipahami. Ada pun tujuan analisa data berikut dilaksanakan guna memberikan informasi tentang kinerja alat yang teroptimal, hubungan antara beberapa variabel serta beberapa fenomena apasajakah yang terjadi dengan objek ketika uji berlangsung dan saat melaksanakan eksperimen mengenai pengaruh sudut sudu memiliki penampang segitiga di turbin *crossflow*.

Flowchart Penelitian



Gambar 3. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Dalam bab berikut diberikan penjelasannya hasil penelitian serta pembahasan tentang pengaruh variasi sudut sudu berpenampang segitiga pada daya serta efisiensi terhadap turbin *crossflow* dengan poros horizontal. Data yang diperoleh selama tahapan uji dicantumkan pada tabel yang sudah diciptakan, data pada penelitian berikut mencakup besaran sudut pada bukaan klep saluran *bypass*, tinggi ambang pada *V-Notch Weir*, tinggi ambang pada saluran, kecepatan putaran turbin, berat beban, hasil neraca SERTA gaya yang diperoleh

neraca pegas. Hasil penelitian selanjutnya dilakukan penyajiannya dalam wujud nilai serta grafik, tabel mengambil data pun dilakukan pelampirannya supaya mempermudah untuk memberikan pemahaman akan grafik.

Pada tahapan pengambilan data dilakukan 3 kali percobaan, hal tersebut dilakukan karena analisa data didapat dari rata-rata 3 kali tahapan pengambilan data, persoalan berikut dilakukan supaya data yang didapatkan disesuaikan bersama keadaan yang ada dan *valid*. Data itu sendiri diperoleh dari uji turbin *crossflow* poros horizontal menggunakan sudu memiliki penampang segitiga serta variasi sudut sudu antara lain 80°, 90°, 100° dan 110°. Data yang didapatkan dipakai guna menghitung daya serta efisiensi pada turbin. Sebelum menghitung daya serta efisiensi pada turbin sehingga dapat diketahui lebih dulu kapasitas air juga kecepatan aliran air.

- Melakukan Perhitungan pada Kapasitas Air (Q)

Daya air didapatkan melalui menggunakan persamaan:

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

(Pritchard & Leylegian, 2011)

Ket.:

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)

- Melakukan Perhitungan pada Luas Penampang Aliran (A)

Luas penampang didapatkan melalui penggunaan persamaan:

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

(Pritchard & Leylegian, 2011)

Ket.:

A = Luas penampang saluran (m²)

T = Tinggi ambang ujung keluaran pengarah (m)

l = Lebar keluaran pengarah (m)

- Melakukan Perhitungan pada Kecepatan Aliran (V)

Kecepatan Aliran didapatkan melalui penggunaan persamaan:

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

(Pritchard & Leylegian, 2011)

Ket.:

V = Kecepatan aliran (m/s)

Q = Kapasitas aliran (m³/s)

A = Luas Penampang saluran (m²)

- Melakukan Perhitungan pada Daya Air yang Mengalir (Pa)

Daya air didapatkan melalui penggunaan persamaan:

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

(Pritchard & Leylegian, 2011)

Keterangan:

Pa = Daya air (Watt)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)

A = Luas penampang saluran (m²)

V = Kecepatan aliran (m³/s³)

- Gaya (F)

Besarnya gaya diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

(Khurmi & Gupta, 2005)

Keterangan:

F = Gaya (N)

m_{beban} = Masa beban (kg)

m_{neraca} = Massa pada neraca (kg)

g = Gravitasi (9,81 m/s²)

- Melakukan Perhitungan pada Torsi Turbin (T)

Torsi turbin didapatkan melalui penggunaan persamaan:

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

(Khurmi & Gupta, 2005)

Ket.:

T = Torsi (N.m)

F = Gaya (N)

r = Jari-jari poros putaran (m)

- Melakukan Perhitungan pada Kecepatan Anguler Turbin (ω)

Kecepatan anguler diperoleh memakai persamaan:

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

(Khurmi & Gupta, 2005)

Ket.:

ω = Kecepatan anguler turbin (rad/s)

n = Putaran (rpm)

- Melakukan Perhitungan pada Daya Turbin (P_t)

Daya turbin diperoleh memakai persamaan:

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

(Khurmi & Gupta, 2005)

Ket.:

P_t = Daya turbin (Watt)

T = Torsi (N.m)

ω = Kecepatan anguler (rad/s)

- Melakukan Perhitungan pada Efisiensi Turbin (η_t)

Efisiensi turbin didapatkan memakai persamaan:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \cdot 100\% \quad (9)$$

(Khurmi & Gupta, 2005)

Ket.:

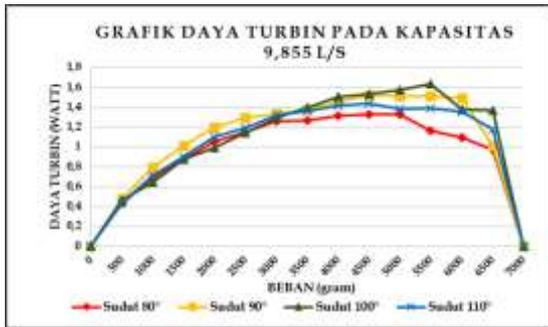
η_t = Efisiensi turbin (%)

P_t = Daya turbin (Watt)

P_a = Daya air (Watt)

Pembahasan

- Hasil Pengaruh Variasi Sudut Sudu Terhadap Daya Turbin Tiap Kapasitas.

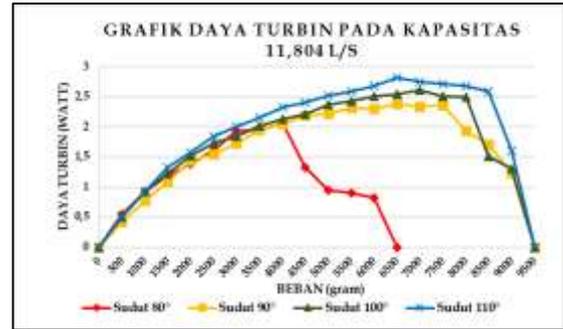


Gambar 4. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 9,855 L/s

Berdasar dari gambar 4 bisa diamati sebuah grafik daya turbin yang menjadi hasil dari pengujian turbin pada variasi sudut sudu 80°, 90°, 100°, 110° menggunakan kapasitas aliran air 9,855 L/s. Daya turbin yang memiliki sudut sudu 80° meningkat sampai dengan pembebanan 5000 g menggunakan daya yang didapatkan yakni sejumlah 1,330 Watt, kemudian daya menurun sampai turbin menjadi berhenti berputar di pembebanan 7000 g. Daya turbin pada sudut sudu 90° meningkat sampai dengan pembebanan 4500 g memiliki daya yang diperoleh yakni sejumlah 1,518 Watt, kemudian daya menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 7000 g. Daya turbin di sudut sudu 100° meningkat sampai dengan pembebanan 5500 g menggunakan daya yang dihasilkan sejumlah 1,633 Watt, kemudian daya menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 7000 g. Daya turbin pada sudut sudu 110° meningkat sampai dengan pembebanan 4500 g menggunakan daya yang dihasilkan sejumlah 1,441 Watt, kemudian daya menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 7000g.

Dalam gambar 4 tersebut juga dapat diketahui bahwa sudut sudu 80° mengalami peningkatan daya turbin mencapai 1,330 Watt, kemudian pada sudut sudu 90° mengalami peningkatan daya turbin mencapai 1,518 Watt dan terus daya turbin hingga sudut sudu 100° yaitu 1,633 Watt. Sesudah hal tersebut, daya turbin menurun di sudut sudu 110° menjadi 1,441 Watt. Sehingga bisa ditarik sebuah kesimpulan bahwasanya dengan kapasitas aliran air 9,855 L/s, daya turbin tertinggi dihasilkan dari di sudut sudu 100° yaitu sejumlah 1,633 Watt.

Hal ini dikarenakan pada sudut sudu 100° memiliki lebar sudut sudu yang lebih kecil dari pada lebar sudut sudu 80° dan 90°, namun memiliki lebar sudut sudu yang lebih besar dari pada lebar sudut sudu 110°, sehingga dengan kapasitas aliran air 9,855 L/s, sudut sudu 100° lebih efektif dalam memanfaatkan energi kinetik akibat gaya dorong air terhadap sudu turbin. Sedangkan penurunan daya turbin disebabkan karena adanya peningkatan pembebanan.

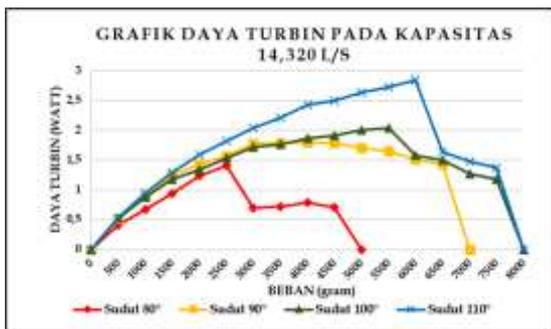


Gambar 5. Grafik Daya Turbin Pada Kapasitas 11,804 L/s

Berdasarkan gambar 5 bisa dilihat grafik daya turbin yang diperoleh dari pengujian turbin pada variasi sudut sudu 80°, 90°, 100°, 110° menggunakan kapasitas aliran air 11,804 L/s. Daya turbin di sudut sudu 80° meningkat sampai dengan pembebanan 4000 g menggunakan daya turbin yang diperoleh sejumlah 2,065 Watt, kemudian daya menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 6500 g. Daya turbin pada sudut sudu 90° meningkat sampai dengan pembebanan 6500 g menggunakan daya yang diperoleh sejumlah 2,381 Watt, kemudian daya menurun sampai dengan turbin berhenti berputar pada pembebanan 9500 g. Daya turbin pada sudut sudu 100° meningkat sampai dengan pembebanan 7000 g memiliki daya yang diperoleh sejumlah 2,615 Watt, kemudian daya menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 9500 g. Daya turbin pada sudut sudu 110° meningkat sampai dengan pembebanan 6500 g memperoleh daya yang diperoleh sejumlah 2,820 Watt, kemudian mengalami penurunan daya serta berhenti berputar di pembebanan 9500 g.

Pada gambar 5 juga bisa diketahui bahwasanya pada sudut sudu 80° mengalami peningkatan daya turbin mencapai 2,065 Watt, selanjutnya pada sudut sudu 90° mengalami peningkatan daya turbin mencapai 2,381 Watt, kemudian pada sudut sudu 100° juga mengalami peningkatan daya turbin mencapai 2,615 Watt dan terus meningkatnya daya turbin sampai dengan sudut sudu 110° yaitu mencapai 2,820 Watt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 11,804 L/s, daya turbin tertinggi dihasilkan dari di sudut sudu 110° yaitu sejumlah 2,820 Watt.

Hal ini disebabkan karena meningkatnya kapasitas aliran air menjadikan gaya dorong air terhadap turbin menjadi lebih besar, sehingga daya turbin juga mengalami peningkatan. Kemudian, pada sudut sudu 110° memiliki lebar sudut sudu yang paling kecil dibandingkan dengan sudut sudu 80°, 90° dan 100°. Sehingga dengan kapasitas aliran air 11,804 L/s, sudut sudu 110° lebih efektif dalam memanfaatkan energi kinetik akibat gaya dorong air terhadap sudu turbin karena hambatan aliran air terhadap sudu turbin menjadi lebih berkurang. Sedangkan penurunan daya turbin disebabkan karena adanya peningkatan pembebanan.



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

Berdasar dari gambar 6 bisa diamati bahwasanya grafik daya turbin yang dihasilkan dari pengujian turbin pada variasi sudut sudu 80°, 90°, 100°, 110° dengan kapasitas 14,320 L/s. Daya turbin di sudut sudu 80° meningkat sampai dengan pembebanan 2500 g memperoleh daya yang dihasilkan sejumlah 1,413 Watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar di pembebanan 5000 g. Daya turbin pada sudut sudu 90° meningkat sampai dengan pembebanan 4000 g memperoleh daya yang dihasilkan sejumlah 1,799 Watt, lalu mengalami penurunan daya hingga turbin berhenti berputar di pembebanan 7000 g. Daya turbin di sudut sudu 100° meningkat sampai dengan pembebanan 5500 g menghasilkan daya yang diperoleh sejumlah 2,037 Watt, kemudian daya menurun sampai dengan turbin berhenti berputar pada pembebanan 8000 g. Daya turbin pada sudut sudu 110° meningkat sampai dengan pembebanan 6000 g menghasilkan daya yang diperoleh sejumlah 2,839 Watt, kemudian mengalami penurunan daya kemudian berhenti di pembebanan 8000 g.

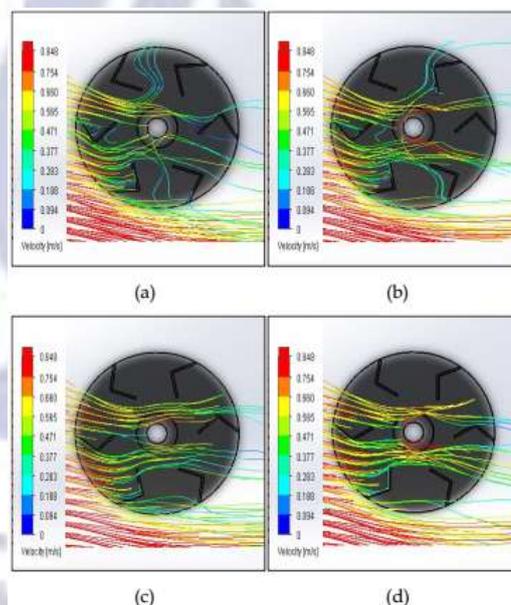
Pada gambar 6 juga bisa diketahui bahwasanya pada sudut sudu 80° mengalami peningkatan daya turbin mencapai 1,413 Watt, selanjutnya pada sudut sudu 90° mengalami peningkatan daya turbin mencapai 1,799 Watt, kemudian pada sudut sudu 100° mengalami peningkatan daya turbin mencapai 2,037 Watt dan terus terjadi meningkatnya daya turbin sampai dengan sudut sudu 110° yaitu mencapai 2,839 Watt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 14,320 L/s, daya turbin tertinggi dihasilkan dari sudut sudu 110° yaitu sejumlah 2,839 Watt.

Hal ini disebabkan karena meningkatnya kapasitas aliran air menjadikan gaya dorong air terhadap turbin menjadi lebih besar, sehingga daya turbin juga mengalami peningkatan. Kemudian, pada sudut sudu 110° memiliki lebar sudu sudu yang paling kecil dibandingkan dengan sudut sudu 80°, 90° dan 100°. Sehingga dengan kapasitas aliran air 14,320 L/s, sudut sudu 110° lebih efektif dalam memanfaatkan energi kinetik akibat gaya dorong air terhadap sudu turbin karena hambatan aliran air terhadap sudu turbin menjadi lebih berkurang. Sedangkan penurunan daya turbin disebabkan karena adanya peningkatan pembebanan.

Berdasar dari gambar 4, 5, juga 6 bisa diamati bahwasanya grafik perbandingan daya turbin yang diperoleh di setiap kapasitas aliran air. Di kapasitas aliran air 9,855 L/s, daya turbin yang diperoleh tak terlalu besar,

namun secara keseluruhan variasi sudut sudu turbin tetap mengalami peningkatan. Kemudian di kapasitas aliran air 11,804 L/s, daya turbin yang dihasilkan mengalami peningkatan dan mencapai pembebanan yang lebih besar dari kapasitas aliran air 9,855 L/s, akan tetapi jika dibandingkan pada kapasitas aliran air 14,320 L/s, beberapa daya turbin yang diperoleh dengan kapasitas aliran air 11,804 L/s memang lebih besar dari pada kapasitas 14,320 L/s. Namun di sudut sudu 110°, daya turbin yang diperoleh di kapasitas aliran air 14,320 L/s sedikit lebih besar dibandingkan pada kapasitas aliran air 11,804 L/s.

Hal ini dikarenakan sudut sudu yang kecil lebih banyak memberikan ruang untuk menampung aliran air, tetapi menyebabkan lebar sudu sudu menjadi lebih besar sehingga pada saat aliran air melewati turbin mengakibatkan lebih banyak terjadinya hambatan pada sudu turbin. Begitu juga sebaliknya, sudut sudu yang besar mengurangi ruang pada sudu turbin dan menyebabkan lebar sudu sudu menjadi lebih kecil sehingga mengurangi terjadinya hambatan pada sudu turbin.

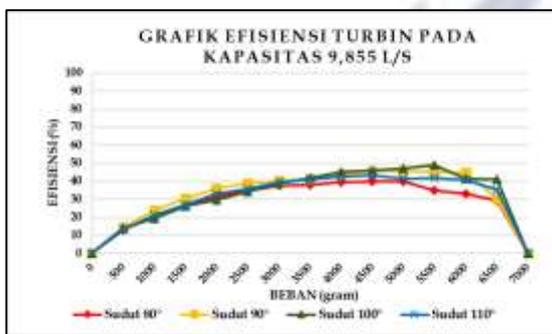


Gambar 7. Simulasi Arah Aliran Air Kapasitas 14,320 L/s pada Sudu Sudu Turbin (a) 80°, (b) 90°, (c) 100°, (d) 110°.

Berdasar pengamatan pada gambar 7 bisa diketahui bahwasanya pada kapasitas aliran air 14,320 L/s dengan sudut sudu 80° (a) yang memiliki karakteristik lebar sudu sudu yang besar dan mengakibatkan aliran air yang menumbuk sudu turbin lebih banyak menghambat putaran turbin dari pada mendorong sudu turbin. Kemudian pada sudut sudu 90° (b) memiliki lebar sudu sudu yang lebih kecil dari pada sudut sudu 80°, oleh karena itu hambatan aliran air pada sudu turbin menjadi berkurang, sehingga turbin masih mampu berputar dengan baik. Kemudian pada sudut sudu 100° (c) dapat dilihat bahwa aliran air yang menghambat putaran turbin menjadi berkurang. Hal ini dikarenakan pada sudut sudu 100° memiliki lebar sudu sudu yang lebih kecil dari pada sudut sudu sebelumnya dan menjadikan aliran air yang menumbuk

sudu turbin lebih sedikit menyebabkan hambatan pada sudu turbin. Pada sudut sudu 110° menghasilkan daya turbin yang optimum (d). Persoalan berikut disebabkan karena dengan kapasitas aliran air yang besar yaitu 14,320 L/s menghasilkan daya air yang besar juga. Nilai daya air yang besar menyebabkan gaya dorong yang besar pada sudu turbin, oleh karena itu pada sudut sudu 110° yang memiliki lebar sudu terkecil dibandingkan sudut sudu yang lain, dapat lebih efektif dalam memanfaatkan aliran air yang mendorong sudu turbin dan lebih banyak mengurangi hambatan aliran air terhadap sudu turbin. Sehingga turbin dapat berputar lebih cepat dan menghasilkan daya turbin yang optimum, yaitu sejumlah 2,839 Watt.

- Hasil Pengaruh Variasi Sudut Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pada Tiap Kapasitas.



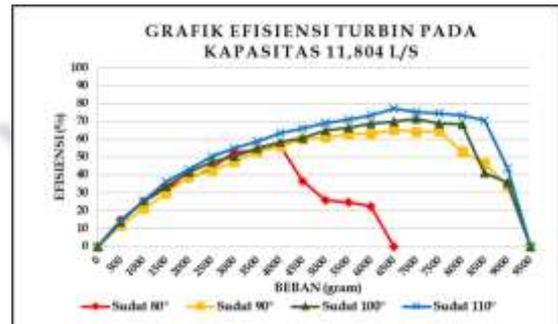
Gambar 8. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 9,855 L/s

Berdasar dari pengamatan pada gambar 8 bisa dilihat grafik efisiensi turbin yang dihasilkan dari pengujian turbin pada variasi sudut sudu 80°, 90°, 100°, 110° di kapasitas 9,855 L/s. Efisiensi turbin pada sudut sudu 80° meningkat sampai dengan pembebanan 5000 g memiliki efisiensi yang diperoleh sejumlah 40,00%, kemudian efisiensi menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 7000 g. Efisiensi turbin pada sudut sudu 90° meningkat sampai dengan pembebanan 4500 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 45,67%, kemudian efisiensi menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 7000 g. Efisiensi turbin pada sudut sudu 100° meningkat sampai dengan pembebanan 5500 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 49,14%, kemudian efisiensi menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 7000 g. Efisiensi turbin pada sudut sudu 110° meningkat sampai dengan pembebanan 4500 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 43,35%, kemudian efisiensi menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 7000 g.

Berdasarkan gambar 8 juga bisa diketahui bahwasanya pada sudut sudu 80° mengalami peningkatan efisiensi turbin mencapai 40,00 %, kemudian pada sudut sudu 90° mengalami peningkatan efisiensi turbin mencapai 45,67% dan terus mengalami peningkatan efisiensi turbin pada sudut sudu 100° hingga 49,14%. Setelah itu, turbin mengalami penurunan efisiensi turbin pada sudut sudu 110° mencapai 43,35%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 9,855 L/s, efisiensi

turbin tertinggi dihasilkan dari di sudut sudu 100° yaitu sejumlah 49,14%.

Persoalan berikut berbanding lurus dengan daya turbin yang diperoleh dikarenakan dalam mencari nilai efisiensi turbin diperlukan daya turbin yang dilakukan pembagiannya bersama daya air kemudian dilakukan pengaliannya dengan 100%, sehingga didapatkan nilai efisiensi turbin yang sebanding. Oleh karena itu, kapasitas aliran air mempengaruhi peningkatan daya yang diperoleh oleh turbin karena menjadi sebab terjadinya peningkatan putaran serta torsi pada turbin.



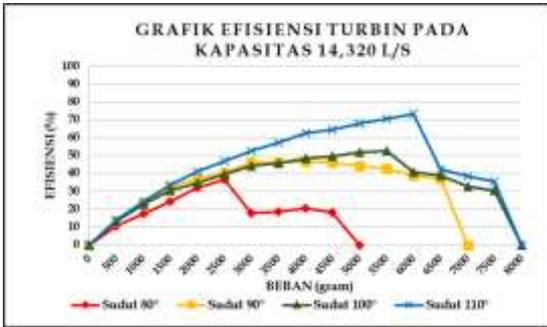
Gambar 9. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 11,804 L/s

Berdasar pengamatan pada gambar 9 bisa diketahui grafik efisiensi turbin yang dihasilkan dari pengujian turbin pada variasi sudut sudu 80°, 90°, 100°, 110° di kapasitas 11,804 L/s. Efisiensi turbin dengan sudut sudu 80° meningkat sampai dengan pembebanan 4000 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 56,48%, kemudian efisiensi menurun sampai turbin berhenti berputar dengan pembebanan 6500 g. Efisiensi turbin pada sudut sudu 90° meningkat sampai dengan pembebanan 6500 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 65,13%, kemudian efisiensi menurun sampai turbin berhenti berputar di pembebanan 9500 g. Efisiensi turbin pada sudut sudu 100° meningkat sampai dengan pembebanan 7000 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 71,55%, kemudian efisiensi menurun sampai turbin berhenti berputar di pembebanan 9500 g. Efisiensi turbin pada sudut sudu 110° meningkat sampai dengan pembebanan 6500 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 77,14%, kemudian efisiensi menurun dan berhenti di pembebanan 9500 g.

Berdasarkan gambar 9 juga bisa diketahui bahwasanya pada sudut sudu 80° mengalami peningkatan efisiensi turbin mencapai 56,48%, selanjutnya pada sudut sudu 90° mengalami peningkatan efisiensi turbin mencapai 65,13%, kemudian pada sudut sudu 100° mengalami peningkatan mencapai 71,55% dan terus mengalami peningkatan efisiensi turbin di sudut sudu 110° yaitu mencapai 77,14%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 11,804 L/s, efisiensi turbin tertinggi dihasilkan dari di sudut sudu 110° yaitu sejumlah 77,14%.

Perihal berikut memiliki perbandingan lurus bersama daya turbin yang dihasilkan turbin dikarenakan dalam mencari nilai efisiensi turbin diperlukan daya turbin yang dilakukan pembagiannya bersama daya air kemudian

dikalikan dengan 100%, sehingga didapatkan nilai efisiensi turbin yang sebanding. Oleh karena itu, kapasitas aliran air berpengaruh pada peningkatan daya turbin yang dihasilkan karena menjadi sebab terjadinya peningkatan putaran serta torsi pada turbin.



Gambar 10. Grafik Efisiensi Turbin Pada Kapasitas 14,320 L/s

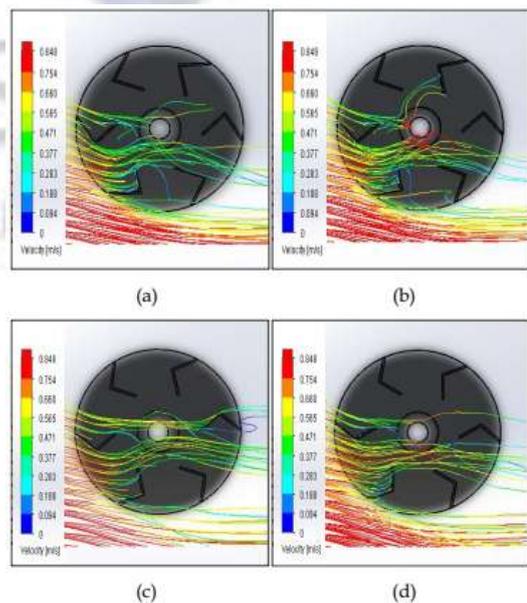
Berdasar dari pengamatan di gambar 10 bisa terlihat grafik efisiensi turbin yang dihasilkan dari pengujian pada turbin dengan variasi sudut sudu 80°, 90°, 100°, 110° pada kapasitas 14,32 L/s. Efisiensi turbin dengan sudut sudu 80° meningkat sampai dengan pembebanan 2500 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 36,60%, kemudian efisiensi menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 5000 g. Efisiensi turbin menggunakan sudut sudu 90° meningkat sampai dengan pembebanan 4000 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 46,57%, kemudian efisiensi menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 7000 g. Efisiensi turbin menggunakan sudut sudu 100° meningkat sampai dengan pembebanan 5500 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 52,74%, kemudian efisiensi menurun sampai dengan turbin berhenti berputar di pembebanan 8000 g. Efisiensi turbin menggunakan sudut sudu 110° meningkat sampai dengan pembebanan 6000 g dan efisiensi yang diperoleh sejumlah 73,53%, kemudian efisiensi menurun sampai berhenti di pembebanan 8000 g.

Berdasarkan gambar 10 tersebut bisa diketahui bahwasanya turbin yang menggunakan variasi sudut sudu 80° mengalami peningkatan efisiensi mencapai 36,60%, selanjutnya pada variasi sudut sudu 90° mengalami peningkatan efisiensi mencapai 46,57%, kemudian pada variasi sudut sudu 100° mengalami peningkatan mencapai 52,74% dan terus mengalami peningkatan efisiensi hingga pada variasi sudut sudu 110° yaitu mencapai 73,53%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan kapasitas aliran air 14,32 L/s, efisiensi tertinggi diperoleh di turbin yang menggunakan variasi sudut sudu 110° yaitu sejumlah 73,53%.

Perihal berikut memiliki perbandingan lurus bersama daya yang diperoleh turbin dikarenakan dalam mencari nilai efisiensi turbin diperlukan daya turbin yang dilakukan pembagiannya bersama daya air kemudian dikalikan dengan 100%, sehingga didapatkan nilai efisiensi turbin yang sebanding. Oleh karena itu, kapasitas aliran air mempengaruhi peningkatan daya yang diperoleh turbin karena menjadi sebab terjadinya peningkatan putaran dan torsi pada turbin.

Berdasar dari gambar 8, 9, juga 10 bisa diamati bahwa nilai efisiensi yang mengalami peningkatan disebabkan terdapat sebuah penambahan pembebanan yang diberikan ketika uji berlangsung, pembebanan tersebut mengakibatkan torsi di turbin menjadi makin besar. Akan tetapi hendaknya diberikan perhatian bahwa jika dilakukan pembebanan yang makin besar pada turbin, sehingga gaya yang ditimbulkan juga makin besar yang mana apabila daya turbin tak cukup besar guna mengatasi ditambahkannya pembebanan yang dilaksanakan, putaran turbin akan mengalami pengurangan yang menjadikan turbin mengalami perhentian perputaran.

Dari analisa pada gambar diatas dapat diketahui bahwa dengan kapasitas aliran air 9,855 L/s, efisiensi yang diperoleh tidak terlalu besar, akan tetapi efisiensi yang diperoleh tetap meningkat. Persoalan tersebut dikarenakan aliran air lebih banyak melewati turbin dan tak sepenuhnya mendorong luasan penampang sudu turbin, yang menjadikan efisiensi yang diperoleh tak terlalu tinggi sebab selain gaya dorong yang ditimbulkan tidak terlalu besar tetapi gaya dorong yang terjadi pada turbin juga kurang dapat dimanfaatkan secara maksimal. Kemudian pada kapasitas aliran 11,804 L/s, efisiensi yang diperoleh meningkat karena terjadi peningkatan kapasitas aliran daripada kapasitas aliran terdahulu. Namun, di kapasitas aliran 14,320 L/s, peningkatan kapasitas aliran mengakibatkan nilai efisiensi yang dihasilkan menjadi sedikit menurun dari pada nilai efisiensi yang dihasilkan pada kapasitas terdahulu. Perihal berikut dikarenakan peningkatan kapasitas aliran menjadikan turbin lebih banyak terendam aliran air dan sedikit mendapatkan hambatan pada sudu turbin. Oleh karena itu gaya dorong yang terjadi kurang dapat dimaksimalkan yang berakibat pada torsi turbin yang mengalami sedikit penurunan dan daya turbin yang dihasilkan tak mengalami peningkatan yang berbanding bersama peningkatan kapasitas aliran yang terjadi yang menjadikan menyebabkan efisiensi menurun.



Gambar 11. Simulasi Arah Aliran Air Kapasitas 11,804 L/s pada Sudu Sudu Turbin (a) 80°, (b) 90°, (c) 100°, (d) 110°.

Berdasarkan gambar 7 dan gambar 11 dapat diketahui bahwa daya optimum dan efisiensi maksimum dihasilkan dari pada sudut sudu turbin yang sama, namun pada kapasitas yang berbeda. Daya optimum dihasilkan pada sudut sudu 110° dengan kapasitas aliran air 14,320 L/s, sedangkan efisiensi maksimum dihasilkan pada sudut sudu 110° dengan kapasitas aliran air 11,804 L/s. Menurut penjelasan diatas dapat dilakukan analisa lebih lanjut dengan data yang diperoleh saat penelitian, yaitu pada kapasitas aliran air 14,320 L/s didapatkan daya air sebesar 3,862 Watt sehingga didapatkan daya turbin yang besar pula yaitu 2,839 Watt, akan tetapi peningkatan daya tersebut tidak menghasilkan efisiensi yang maksimum. Namun, efisiensi maksimum didapatkan pada kapasitas aliran air 11,804 L/s dengan daya air sebesar 3,655 Watt dan daya turbin yang dihasilkan sebesar 2,820 Watt. Hal ini dikarenakan efisiensi adalah perbandingan antara daya output yang dihasilkan dengan daya input yang digunakan, dalam hal ini daya input yaitu daya air (P_a) dan daya output adalah daya turbin (P_t). Sehingga untuk mencapai efisiensi maksimum diperlukan nilai daya air dan daya turbin yang sebanding atau semakin kecil perbandingan antara daya output yang dihasilkan dengan daya input yang digunakan maka akan diperoleh nilai efisiensi maksimum. Berdasarkan data diatas efisiensi maksimum dihasilkan pada kapasitas aliran air 11,804 L/s pada sudut sudu 110° dengan daya turbin sebesar 2,820 watt dibagi dengan daya air sebesar 3,655 Watt maka dapat didapatkan efisiensi maksimum sebesar 77,14%. Sedangkan pada kapasitas aliran air 14,320 L/s dengan sudut sudu 110° menghasilkan daya turbin tertinggi yaitu sebesar 2,839 Watt dibagi dengan daya air sebesar 3,862 Watt maka didapatkan nilai efisiensi sebesar 73,53%. Hal tersebut dikarenakan pada kapasitas 14,320 L/s dengan sudut sudu 110° memiliki perbandingan daya output dan daya input yang lebih besar dari pada kapasitas aliran air 11,804 L/s dengan sudut sudu 110° , sehingga pada kapasitas aliran air 14,320 L/s dengan sudut sudu 110° meskipun diperoleh nilai daya turbin optimum, namun tidak diperoleh nilai efisiensi yang maksimum.

Dari hasil penelitian dan analisa data diatas dapat ditarik kesimpulan bahwasannya turbin dengan variasi sudut sudu 110° memiliki pengaruh yang signifikan terhadap daya dan efisiensi turbin *crossflow* penampang segitiga dengan poros horizontal. Hal ini dikarenakan turbin dengan variasi sudut sudu 110° memiliki lebar sudut sudu yang lebih kecil dari pada variasi sudut sudu 80° , 90° dan 100° . Seperti pada gambar 7 dan gambar 11, prinsip dari turbin *crossflow* sendiri adalah aliran air menumbuk sudu 2 kali, yaitu saat masuk dan saat keluar turbin, maka dengan karakteristik turbin 110° tersebut, hambatan aliran air pada saat menumbuk sudu yang ke 2 kali dapat dikurangi, sehingga gaya dorong air untuk memutar turbin dapat di optimalkan (Loots et al., 2015). Hal ini sesuai dengan kajian teoritis dan penelitian yang pernah dilakukan yakni ada pengaruh sudut sudu pada sudu berpenampang segitiga terhadap daya dan efisiensi turbin *crossflow* yakni dapat menambah daya dan efisiensi.

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan tentang pengaruh variasi sudut sudu segitiga pada turbin *crossflow* poros horizontal terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Daya turbin optimum dihasilkan dari pada sudut sudu 110° dengan kapasitas aliran air 14,320 L/s sebesar 2,839Watt pada pembebanan 6000 gram dan mencapai ketahanan pembebanan hingga 8000 gram.
- Efisiensi turbin maksimum dihasilkan dari pada sudut sudu 110° dengan kapasitas aliran air 11,804 L/s sebesar 77,14% pada pembebanan 6500 gram dan mencapai ketahanan pembebanan hingga 9500 gram.

Saran

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

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai visualisasi proses aliran fluida yang terjadi pada tiap variasi sudut sudu dan bukaan katup tertentu.
- Diharapkan ada penelitian lebih lanjut yang membahas tentang variasi sudut sudu berpenampang segitiga dengan sudut yang lebih besar agar didapatkan daya dan efisiensi yang lebih baik dan lebih spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiartawan, K., Suryawan, A. A. A., & Suarda, M. (2017). Pengaruh Variasi Sudut Sudu Segitiga Terhadap Performansi Kincir Air Piko Hidro. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 6(3), 294–298. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/mekanika/article/view/37480>
- Christiawan, D., Jasa, L., & Sudarmojo, Y. P. (2017). Studi Analisis Pengaruh Model Sudu Turbin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 16(2), 104. <https://doi.org/10.24843/mite.2017.v16i02p18>
- Dietzel, F. (2018). *Turbin, Pompa dan Kompresor* (D. Sriyono (ed.)). ERLANGGA.
- Gunawan, A., Oktafeni, A., & Khabzli, W. (2013). Pemantauan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 10(4), 28–36. <https://doi.org/10.17529/jre.v10i4.1113>
- 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).
- Loots, I., Van Dijk, M., Barta, B., Van Vuuren, S. J., & Bhagwan, J. N. (2015). A review of low head

- hydropower technologies and applications in a South African context. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1254–1268. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.064>
- Mafruddin, M., & Marsuki, M. (2017). Pengaruh Buka-an Guide Vane Terhadap Kinerja Turbin Pikohidro Tipe Cross-Flow. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 6(1), 31–37. <https://doi.org/10.24127/trb.v6i1.464>
- Muchlis, M., & Permana, A. D. (2003). Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 S.d 2020. *Pengembangan Sistem Kelistrikan Dalam Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang*, 19–29. <http://docplayer.info/29756081-Proyeksi-kebutuhan-listrik-pln-tahun-2003-s-d-2020.html>
- Pramesti, Y. S. (2018). Analisa pengaruh sudut sudu terhadap kinerja turbin kinetik poros horizontal dan vertikal. *Jurnal Mesin Nusantara*, 1(1), 51. <https://doi.org/10.29407/jmn.v1i1.12296>
- Prasetyo, A. D. N. B., & Adiwibowo, P. H. (2016). Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Banyak Sekat Pada Sudu Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Reaksi Cossflow Poros Vertikal Dengan Sudu Setengah Silinder. *Jurnal Teknik Mesin*, 04, 461–468. <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/18013/16418>
- Prihartanto, D. (2018). *Turbin Aliran Silang Dengan Jumlah Sudu 16 Untuk Pembangkit Listrik*. 2. https://repository.usd.ac.id/29507/2/035214033_FuIl%5B1%5D.pdf
- Pritchard, P. J., & Leylegian, J. C. (2011). *Fox and McDonald's Introduction to Fluids Mechanics* (8th ed.).
- Putra, T. D., & Prasetyo, A. (2018). Pengaruh Sudu Hydrofoil Naca 9407 Terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (Cross-Flow) Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). *PROTON*, 10(2).
- Putro, Y. S. S., Juwono, P. T., & Wicaksono, P. H. (2012). Studi Perencanaan [embangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) Di Sungai Atei Desa Tumbang Atei Kecamatan Sanamang Mantikai Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Ilmiah Universitas Brawijaya*, 48(2), 24–35. <https://scholar.google.co.id/citations?user=ollGHf0AAAAJ&hl=en>
- Saleh, Z. (2014). Analisis Profil Blade Pada Model Turbin Gorlov. *Publikasi Ilmiah*, 31–36. <https://publikasiilmiah.ums.ac.id/handle/11617/5032>
- Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). Outlook Energi Indonesia (OEI). *ISSN 2527-3000*, 8. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>
- Sugiyono. (2013). *METODE PENELITIAN KUANTITATIF, KUALITATIF, DAN R&D*. ALFABETA, CV.
- Suparyawan, D. P. D., Kumara, I. N. S., & Ariastina, W. G. (2013). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Mikrohidro di Desa Sambangan Kabupaten Bulelen Bali. *Teknologi Elektro*, 12(2).
- Sutrimo, D., & Adiwibowo, P. H. (2019). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Berpenampang L Terhadap Daya Dan Efisiensi Turbin Crossflow Poros Horizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, 7. <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/28972/26523>