

## Experimental Study on Effect of Blade Number and Attack Angle on Power and Rotation of Crossflow Water Turbine

Rijal Surya Rahmany<sup>1,\*</sup>, Alfian Djafar<sup>1</sup> dan Sulistijono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Teknologi Mekanik, Prodi Teknik Mesin, Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan – Balikpapan

<sup>2</sup>Laboratorium Teknologi Material, Prodi Teknik Material dan Metalurgi, Jurusan Ilmu Kebumihan dan Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan – Balikpapan

\*Korespondensi: rijalrahmany@gmail.com

**Abstract.** Development of micro hydro-scale power plants (MHP) is needed, as one of the efforts to fulfill the electricity demand in Indonesia, especially in rural areas that have the potential of water energy resources. The device that can convert water energy into mechanical energy is a turbine, which can be connected to a generator to generate electricity. Crossflow type hydro turbine is commonly used turbines in MHP. It consists of two main components: nozzle and runner. This study discusses the effect of angle of attack of the nozzle and the number of blade of runner to the rotation and power of crossflow turbine. Variations of angle of attack and number of blades used are 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, 80° and 16, 20, 24 pieces of blade. The method used in this study is an experimental study on a crossflow turbine model made using dimensionless analysis. The results obtained is 30° an angle of attack resulting in the highest rotation and power in turbine with 20 pieces of blades followed by turbine with 16 pieces of blades and 24 pieces of blades. The highest rotation produced by turbines with 20, 16, and 24 blades are 625.6 rpm; 599,5 rpm; And 515.9 rpm. The highest power produced by turbines with 20, 16 and 24 blades are 1889.17 watts; 1419.27 watts; and 882.05 watts. Turbine with the number of blades 20 produce the highest rotation on angle of attack of 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, and turbine with the number of blades 24 produce the highest rotation on the angle of attack of 70° and 80°.

**Abstrak.** Pembangunan pembangkit listrik skala mikro hidro (PLTMH) diperlukan sebagai salah satu usaha pemenuhan kebutuhan listrik di Indonesia, utamanya pada daerah-daerah terpencil yang memiliki potensi energi air. Turbin *crossflow* adalah turbin yang umum digunakan pada PLTMH dan terdiri dari dua komponen utama yaitu *nozzle* dan *runner*. Dalam penelitian ini dibahas pengaruh *angle of attack* dari *nozzle* dan pengaruh jumlah sudu *runner* terhadap putaran dan daya yang dihasilkan turbin *crossflow*. Variasi jumlah sudu yang digunakan adalah 16, 20, dan 24 buah sudu dengan angle of attack 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, dan 80°. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi eksperimental pada model turbin *crossflow* yang dibuat menggunakan *dimensionless analysis*. Hasil yang didapatkan adalah *angle of attack* 30° menghasilkan putaran dan daya tertinggi pada turbin dengan sudu 20 buah diikuti turbin dengan sudu 16 buah dan 24 buah. Putaran tertinggi yang dihasilkan turbin dengan sudu 20, 16, dan 24 buah adalah masing-masing sebesar 625,6 rpm; 599,5 rpm; dan 515,9 rpm. Daya tertinggi yang dihasilkan turbin dengan jumlah sudu 20, 16 dan 24 buah adalah masing-masing sebesar 1889,17 watt; 1419,27 watt; dan 882,05 watt. Turbin dengan jumlah sudu 20 menghasilkan putaran paling tinggi dibandingkan sudu 16 dan 24 pada angle of attack 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, dan turbin dengan jumlah sudu 24 menghasilkan putaran paling tinggi dibandingkan sudu 20 dan 16 pada angle of attack 70° dan 80°.

**Kata kunci:** turbin air, *crossflow*, *angle of attack*, jumlah sudu

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Angka kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan mulai dari 200 TWh pada tahun 2015 hingga diproyeksikan akan mencapai 315 TWh pada tahun 2020 [1]. Berdasarkan data dari statistik ketenagalistrikan 2014 Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, disebutkan bahwa penggunaan minyak, batu bara, dan gas alam sebagai energi pembangkit listrik masih sebesar 87% dari total kapasitas terpasang pembangkit

tenaga listrik nasional. Hal tersebut masih belum sejalan dengan Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang ketenagalistrikan menetapkan bahwa sumber energi harus dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan, yang kemudian dijelaskan pemanfaatannya tersebut mengutamakan sumber energi baru terbarukan (EBT).

Salah satu sumber energi baru dan terbarukan (*renewable energy*) yang dapat dimanfaatkan adalah energi air atau *hydro energy*. Berdasarkan

RUPTL PT. PLN (Persero) 2016-2025 [2], disebutkan bahwa potensi tenaga air di Indonesia mencapai 75.000 MW dan setelah memperhatikan aspek sosial, lingkungan, dan ekonomi, ada 26.321 MW potensi energi air yang memungkinkan untuk dimanfaatkan. Dari 26.321 MW potensi tersebut, energi yang sudah digunakan sebagai pembangkit listrik baru sekitar 4.338 MW atau 16%. Salah satu pemanfaatan energi air di Indonesia adalah pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), yaitu *Power Plant* yang bekerja pada *head* (H) dan debit (Q) rendah dan memiliki kapasitas lebih rendah dari 100 kW

Alat yang digunakan untuk mengubah energi air menjadi energi listrik adalah turbin air. Turbin air memiliki berbagai macam tipe yang digunakan sesuai dengan keadaan aliran air. Namun salah satu jenis turbin air yang paling umum untuk digunakan pada PLTMH adalah turbin air tipe *crossflow*. Turbin air tipe *crossflow* menjadi salah satu pilihan yang menguntungkan dan mudah diaplikasikan jika dilihat dari sisi ekonomi [3]. Keuntungan lain dari turbin air tipe *crossflow* adalah dimensi dan komponennya yang sederhana. Turbin tipe *crossflow* hanya terdiri dari *nozzle* dan *runner* yang relatif mudah dibuat dan tidak memerlukan proses khusus seperti turbin Pelton, *Francis*, Kaplan, yang sebagiannya masih harus menggunakan metode *casting* ataupun proses *machining* non-konvensional lainnya. Proses pembuatan dan pengaplikasian turbin *crossflow* sebagai pembangkit listrik harus dilakukan dengan baik dan efisien. Pembuatan *runner* dan *nozzle* yang merupakan komponen utama turbin air tipe *crossflow* perlu diteliti agar dapat menghasilkan turbin air yang berkualitas dalam usaha pemenuhan kebutuhan listrik di Indonesia.

Sugiri, 2011 [4], melakukan penelitian pengaruh jumlah sudu roda jalan terhadap efisiensi turbin aliran silang (*crossflow*). Metode yang digunakan adalah studi eksperimental dengan menggunakan *runner* berdiameter 80mm, panjang 130mm, dan variasi jumlah sudu 18 buah, 20 buah, dan 22 buah. *Head* yang digunakan adalah 2,5 m. Hasil yang didapatkan yaitu jumlah sudu 20 buah menunjukkan efisiensi tertinggi dibandingkan dengan jumlah sudu yang lain yaitu sebesar 76%.

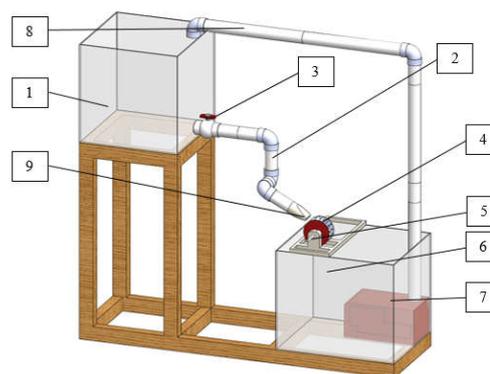
Penelitian dengan jumlah sudu yang lebih sedikit dilakukan oleh Ilyas dan Sahid, 2013 [5], yang melakukan penelitian menggunakan variasi jumlah sudu 10, 12, 14, dan 16 buah dengan debit 0,0036 m<sup>3</sup>/s. Efisiensi terbaik didapat pada penggunaan sudu sebanyak 16 buah. Penelitian pengaruh jumlah sudu juga dilakukan oleh Kosjoko, 2015 [6] yang melakukan penelitian dengan variasi jumlah sudu 8, 10, dan 12 buah. Hasil yang didapatkan yaitu jumlah sudu 12 buah menunjukkan performa tertinggi

dibandingkan jumlah sudu 8 dan 10 buah. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan jumlah sudu pada *runner* akan menghasilkan peningkatan performa pada turbin *crossflow*.

Setyarini dkk, 2012 [7] menyatakan bahwa posisi sudut pancar miring memberikan pengaruh terhadap torsi, daya, dan efisiensi pada turbin air tipe *crossflow*. Penelitian tentang pengaruh sudut pancar juga dilakukan oleh Setiawan dkk, 2013 [8], yang melakukan penelitian terkait pengaruh debit air dan sudut serang *nozzle* terhadap unjuk kerja turbin air tipe *crossflow*. Penelitian dilakukan menggunakan rangkaian yang tersusun atas beberapa peralatan utama. Diantaranya adalah *runner*, *nozzle*, *rotameter*, *tachometer*, dan neraca pegas. Variasi debit yang digunakan adalah 5 gpm (*gallon per minute*) dan 10 gpm. Sedangkan variasi sudut serang *nozzle* yang digunakan adalah 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, dan 80° dengan jumlah sudu yang digunakan adalah 18 buah sudu. Hasil yang didapatkan adalah debit 10 gpm menunjukkan kinerja turbin yang lebih baik dari 5 gpm dan sudut serang efektif adalah 30° dengan efisiensi turbin 72,9 %.

## Metode Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan metode studi eksperimental menggunakan model turbin dan rangkaian penelitian yang dibuat mengacu pada skala Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Parameter yang akan diukur adalah putaran dan daya yang merupakan indikator performa dari turbin. Skema model turbin dan rangkaian penelitian ditunjukkan oleh gambar 1.



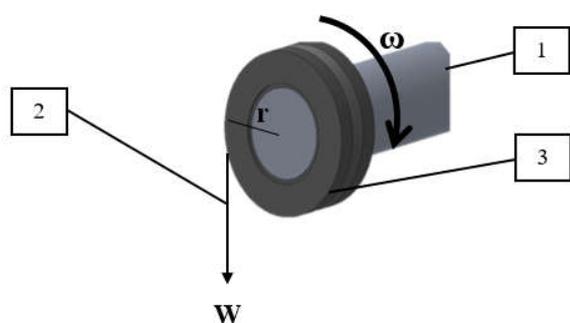
Gambar 1. Skema model turbin

Gambar 1 menunjukkan skema model alat penelitian yang akan dibuat. Dari skema yang ditunjukkan, bagian-bagian yang terdapat pada skema tersebut adalah:

1. Wadah penampung air utama
2. Pengalir
3. *Valve*

4. *Runner*
5. Poros yang akan dihubungkan ke *pulley* dan beban
6. Wadah penampung air buangan
7. Pompa
8. Pipa kembali
9. *Nozzle*

Variabel *output* dari penelitian ini didapatkan dari putaran yang diukur menggunakan *tachometer*. Pengukuran daya dilakukan dengan memberikan pembebanan pada *pulley* yang terhubung ke poros *runner*. Data yang dicatat adalah nilai beban serta putaran yang dihasilkan pada saat pembebanan. Skema hubungan antara poros pada turbin dan *pulley* terhadap beban ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Beban pada poros dan puli

Perhitungan dilakukan dengan batasan, debit prototipe yang digunakan adalah 0,3 m<sup>3</sup>/s, *head* prototipe sebesar 5 m, dan debit model sebesar 0,001 m<sup>3</sup>/s. Nilai ini dijadikan acuan pada persamaan *dimensionless analysis* sebagai berikut.

$$\frac{P H^4}{Q^3 \rho} = f\left(\frac{H^5 g}{Q^2}\right) \quad (1)$$

dimana P adalah daya (watt), Q adalah debit (m<sup>3</sup>/s), H adalah *head* (m), G adalah konstanta gravitasi (m/s<sup>2</sup>) dan ρ adalah massa jenis (kg/m<sup>3</sup>).

Setelah *head* pada rangkaian didapatkan, nilai tersebut disubstitusikan pada persamaan (2) untuk mencari nilai kecepatan keluar air dan luas penampang permukaan *nozzle*.

$$V_{air} = c \sqrt{2 g H_m} \quad (2)$$

dimana V<sub>air</sub>, kecepatan air keluar *nozzle* (m/s) dan C, konstanta untuk air yang besarnya 0,98.

$$A = \frac{Q_m}{V_{air}} \quad (3)$$

dimana A adalah luas penampang *nozzle*.

Variabel berpengaruh pada *runner* adalah lebar *runner*, diameter dalam *runner* (D<sub>dalam</sub>) dan diameter luar *runner* (D<sub>luar</sub>). Lebar *runner* dibuat sesuai dengan lebar *nozzle* dan ditetapkan L<sub>runner</sub> = L<sub>nozzle</sub> = L = 4 cm. Diameter luar (D<sub>luar</sub>) dihitung sesuai

persamaan (4). Nilai diameter dalam *runner* ditetapkan 2/3 dari diameter luar *runner*.

$$L \cdot D_{luar} = \frac{2,62 Q_m}{\sqrt{H_m}} \quad (4)$$

dimana L adalah lebar *runner* dan *nozzle* dan D<sub>luar</sub> adalah diameter luar *runner*.

Daya yang dihasilkan turbin dihitung menggunakan persamaan (5).

$$P_t = T \frac{2 \pi n}{60} \quad (5)$$

dimana P<sub>t</sub> adalah daya yang dihasilkan turbin (watt), T adalah torsi pada poros *runner* (N.m) dan n adalah putaran turbin (rpm).

Analisis pada penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil dari model dengan prototipe menggunakan persamaan *dimensionless* yang telah ditetapkan. Putaran yang didapatkan dari hasil pengujian dengan pembebanan disubstitusikan ke persamaan (5) sehingga didapatkan nilai daya pada turbin. Variabel dependent yang digunakan pada penelitian adalah putaran dari turbin dan daya output yang dihasilkan turbin. Sedangkan variabel *independent* yang digunakan pada penelitian adalah jumlah sudu turbin (16, 20, dan 24 buah sudu) dan *angle of attack* pada *nozzle* (10°, 20°, 30°, 40°, 50°, 60°, 70°, dan 80°).

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan nilai *head* pada rangkaian adalah sebesar 0,51 m, kecepatan keluar air sebesar 3,1 m/s, luas permukaan *nozzle* sebesar 3,2 m<sup>2</sup>, diameter luar *runner* sebesar 9,2 cm, dan diameter dalam *runner* sebesar 6,1 cm. Nilai-nilai ini dijadikan acuan untuk membangun rancangan penelitian berdasarkan skema yang telah dibuat.

Gambar 3 menunjukkan rangkaian pengujian yang telah dibuat, dan gambar 4 menunjukkan *runner* (a) 16 sudu (b) 20 sudu (c) 24 sudu. Gambar 5 menunjukkan *nozzle* pada rangkaian yang telah dibuat.

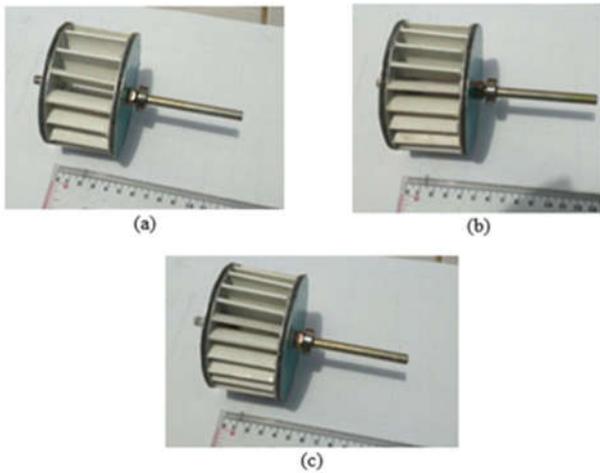
### Hasil dan Pembahasan

Gambar 6 menunjukkan pengaruh jumlah sudu terhadap putaran yang dihasilkan oleh turbin. Pada gambar 6 dapat dilihat bahwa turbin dengan jumlah sudu 16, 20, maupun 24 sama-sama menghasilkan putaran tertinggi pada *angle of attack* sebesar 30°. Masing-masing putaran tertinggi yang dihasilkan oleh turbin adalah sebesar 625,6 rpm untuk turbin dengan 20 sudu, 599,5 rpm untuk turbin dengan 16 sudu, dan 515,5 rpm untuk turbin dengan 24 sudu. Hal ini menunjukkan putaran tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan jumlah sudu 20 dan yang terendah adalah turbin dengan jumlah sudu 24. Nilai ini sama dengan penelitian terdahulu yang meng-

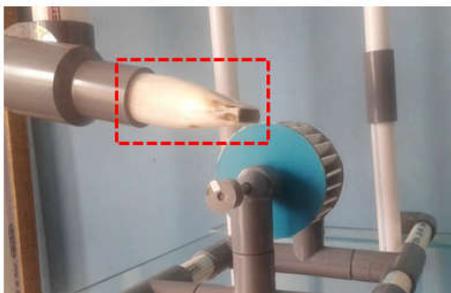
hasilkan kesimpulan bahwa turbin dengan jumlah sudu 20 menghasilkan putaran tertinggi serta *angle of attack* 30° merupakan *angle of attack* yang menghasilkan putaran tertinggi pada turbin *cross-flow*. Data putaran tertinggi pada tiap-tiap turbin dijadikan acuan untuk melakukan pengujian daya pada turbin.



Gambar 3. Rangkaian skema pengujian



Gambar 4. Runner: a) 16 sudu, b) 20 sudu, c) 24 sudu

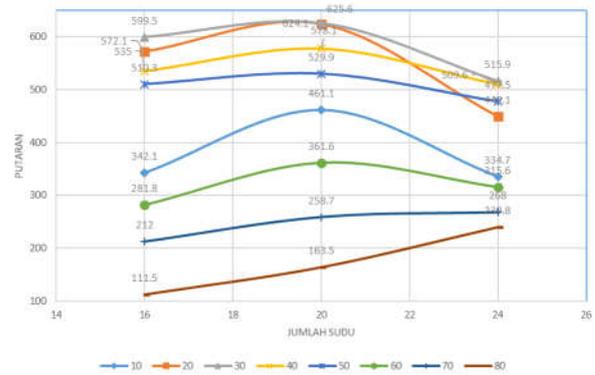


Gambar 5. Nozzle

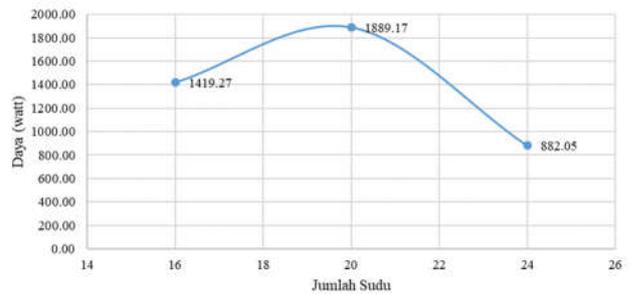
Gambar 7 menunjukkan grafik pengaruh jumlah sudu terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin pada *angle of attack* 30° yang merupakan *angle of attack* yang menghasilkan putaran tertinggi pada turbin. Sudu 20 menghasilkan daya tertinggi sebesar 1889,17 watt. Sudu 16 dan 24 menghasilkan daya yang lebih rendah masing-masing sebesar 1419,27 watt dan 882,05 watt.

Gambar 8 menunjukkan pengaruh jumlah sudu terhadap putaran yang dihasilkan oleh turbin. Pada

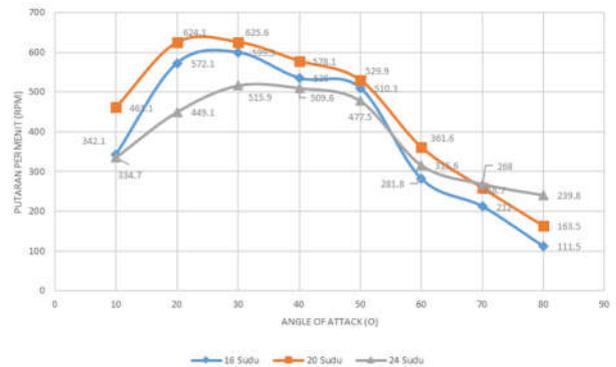
gambar 8 tampak bahwa turbin yang menggunakan 20 sudu selalu lebih baik dari turbin yang menggunakan 16 sudu dan memiliki kecenderungan grafik yang sama. Nilai putaran tertinggi juga dihasilkan oleh turbin dengan jumlah sudu 20 diikuti 16 sudu dan 24 sudu. Pada pengujian turbin dengan jumlah sudu 24, nilai putaran yang dihasilkan relatif memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan turbin 20 sudu maupun 16 sudu. Namun pada *angle of attack* sebesar 60°, nilai putaran yang dihasilkan turbin dengan jumlah sudu 24 lebih baik dari turbin dengan jumlah sudu 16, meskipun tidak sebaik turbin dengan jumlah sudu 20.



Gambar 6. Pengaruh jumlah sudu terhadap putaran



Gambar 7. Pengaruh jumlah sudu terhadap daya



Gambar 8. Pengaruh Angle of Attack

Pada *angle of attack* 70° dan 80°, turbin dengan jumlah sudu 24 menghasilkan nilai putaran yang paling tinggi dibandingkan dengan turbin dengan jumlah sudu 20 maupun 16. Hal ini dikarenakan

pada sudut  $70^\circ$  dan  $80^\circ$ , aliran air hampir mendekati sumbu vertikal. Akibatnya adalah kontak yang terjadi antara aliran air dan sudu menghasilkan impuls yang lebih kecil. Pada turbin dengan jumlah sudu 24, jarak antar sudu lebih kecil dibandingkan dengan turbin dengan jumlah sudu 16 dan 20. Posisi sudu yang lebih rapat ini membuat lebih banyak aliran air yang memberikan kontak sehingga menghasilkan impuls yang lebih besar. Pada turbin dengan jumlah sudu 16 dan 20 yang jarak antar sudunya lebih renggang dibandingkan dengan turbin dengan 24 sudu, sehingga hanya sedikit aliran air yang mengalami kontak dengan sudu turbin dan menyebabkan impuls yang dihasilkan lebih kecil. Perbedaan impuls yang terjadi pada setiap jumlah sudu inilah yang mempengaruhi perbedaan putaran yang dihasilkan masing-masing turbin.

### Kesimpulan

Jumlah sudu pada turbin air tipe *crossflow* memberikan pengaruh terhadap putaran dan daya yang dihasilkan. Turbin dengan jumlah sudu 20 menghasilkan nilai putaran dan daya paling tinggi pada *angle of attack*  $30^\circ$  masing-masing sebesar 625,6 rpm dan daya sebesar 1889,17 watt. Turbin dengan jumlah sudu 16 sebesar 599,5 rpm dan 1419,27 watt. Putaran dan daya terendah dihasilkan turbin dengan yang menggunakan 24 sudu yaitu sebesar 515,9 rpm dan 882,05 watt. Turbin dengan jumlah sudu 20 menghasilkan putaran paling baik pada *angle of attack*  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ . Namun pada *angle of attack*  $70^\circ$  dan  $80^\circ$ , turbin dengan jumlah sudu 24 menghasilkan putaran paling baik. Sehingga turbin dengan jumlah sudu lebih banyak, relatif lebih baik digunakan pada *angle of attack* yang relatif lebih besar.

### Referensi

- [1] ESDM. 2005. Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025. Jakarta.
- [2] ESDM. 2016. RUPTL PT. PLN (Persero) Tahun 2016-2025. Jakarta.
- [3] Yanziwar. 2007. Perencanaan Turbin Crossflow. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 4 No. 1, Hal 51-61.
- [4] Sugiri, A., 2011. Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (*Crossflow*). Jurnal Mechanical, Vol. 2 No. 1, Hal 48-52.
- [5] Rochani, I. dan Sahid., 2013. Rancang Bangun Model Turbin Crossflow Sebagai Penggerak Mula Generator Listrik Memanfaatkan Potensi

Mikrohidro. Jurnal Teknik Energi, Vol 9 No. 2, Hal 56-60.

- [6] Kosjoko. 2015. Crossflow as Turbine Power Plant Mini Hidro (PLTM) Village to Self Energy. Info Teknik, Vol.16 No. 2, Hal 159-170.
- [7] Setyarini, P. dkk., 2012. Unjuk Kerja Turbin Arus Lintang Berlorong Pengarah dengan Variasi Sudut Pipa Pancar. Universitas Brawijaya, Malang.
- [8] Setiawan, Y. dkk., 2013. Unjuk Kerja Turbin Air Tipe Crossflow dengan Variasi Debit Air dan Sudut Serang Nosel. TURBO ISSN 2301-6663, Vol. 2 No. 1, Hal 21-25.