

## PENGARUH BUKAAN *GUIDE VANE* TERHADAP KINERJA TURBIN PIKOHIDRO TIPE *CROSS-FLOW*

Mafruddin<sup>1\*</sup>, Marsuki<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro  
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Metro, Lampung  
Email: mafruddin.mawon@yahoo.com<sup>1</sup>, marsuki123@yahoo.com<sup>2</sup>

### Abstrak

Turbin *Cross-flow* merupakan salah satu jenis turbin implus yang paling umum digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air salah satunya pembangkit listrik tenaga pikohidro. Lokasi yang dapat diaplikasikan turbin *Cross-flow* sebagai pembangkit listrik tenaga pikohidro yaitu di desa Sumber Agung Kecamatan Suoh Kabupaten Lampung Barat. Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja turbin *Cross-flow* yaitu bukaan *guide vane*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bukaan *guide vane* terhadap kinerja turbin *Cross-flow*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini melalui 6 (enam) tahapan yaitu studi pustaka, observasi, desain turbin, pembuatan turbin, pengujian turbin dan analisis hasil pengujian. Variasi bukaan *guide vane* yaitu bukaan 20%, 40%, 60% dan 80%. Dari hasil penelitian diketahui bahwa bukaan *guide vane* berpengaruh terhadap kinerja turbin *Cross-flow*. Efisiensi tertinggi turbin *Cross-flow* diperoleh dengan bukaan *guide vane* 80% yaitu sebesar 40%, sedangkan untuk bukaan 60% efisiensi turbin sebesar 39%, untuk bukaan 40% efisiensi turbin sebesar 37% dan bukaan 20% efisiensi turbin sebesar 35%.

**Kata Kunci:** *Guide Vane*, Kinerja, Turbin *Cross-flow*

### Pendahuluan

Turbin *Cross-flow* merupakan salah satu jenis turbin implus yang paling umum digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air seperti pembangkit listrik tenaga pikohidro. Pemilihan ini didasarkan pada tingginya efisiensi yang dihasilkan turbin *Cross-flow*. Tingginya efisiensi dari turbin *Cross-flow* diperoleh karena pemanfaatan energi air dilakukan dengan dua tahap sehingga menghasilkan efisiensi yang tinggi.

Lokasi yang dapat diaplikasikan turbin *Cross-flow* sebagai pembangkit listrik tenaga pikohidro yaitu di desa Sumber Agung Kecamatan Suoh Kabupaten Lampung Barat. Masyarakat di daerah tersebut masih minim akan energi listrik sedangkan pada daerah tersebut terdapat sumber daya air yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air (pikohidro). Dimana sumber daya air yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air memiliki debit rata-rata

0,003167 m<sup>3</sup>/s dan mempunyai ketinggian 26 m.

Salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja turbin *Cross-flow* yaitu bukaan *guide vane*. *Guide vane* merupakan alat pengarah pada turbin *Cross-flow* yang berfungsi mengarahkan dan mengatur kapasitas air yang masuk kedalam *runner* turbin.

Menurut M. Asief Rosyidin, dkk, 2012. menyimpulkan bahwa perubahan *guide vane* pada *head* yang berbeda-beda berpengaruh terhadap unjuk kerja dari turbin air *Cross flow*[1].

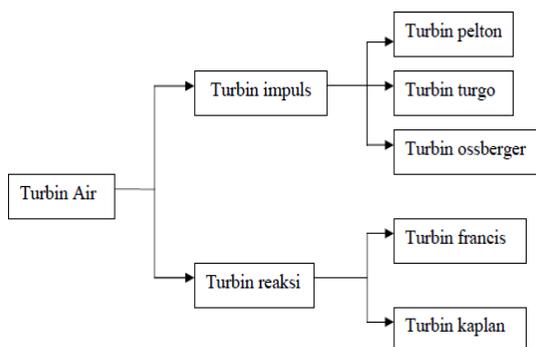
Acharya, et al. 2015. Melakukan penelitian dengan memvariasikan sudut pengarah (*guide vane*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut pengarah (*guide vane*) berpengaruh terhadap kinerja turbin *Cross-flow* [2].

Berdasarkan penelitian terdahulu diketahui bahwa bukaan *guide vane* berpengaruh terhadap kinerja turbin *Cross-flow*. Maka dari itu dalam penelitian ini akan dilakukan desain dan pembuatan turbin yang sesuai dengan sumber daya air

dan diaplikasikan sebagai pembangkit listrik skala pikohidro dengan memvariasikan bukaan *guide vane*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bukaan *guide vane* terhadap kinerja turbin *Cross-flow*. Dengan penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kinerja turbin yaitu turbin dengan efisiensi yang tinggi.

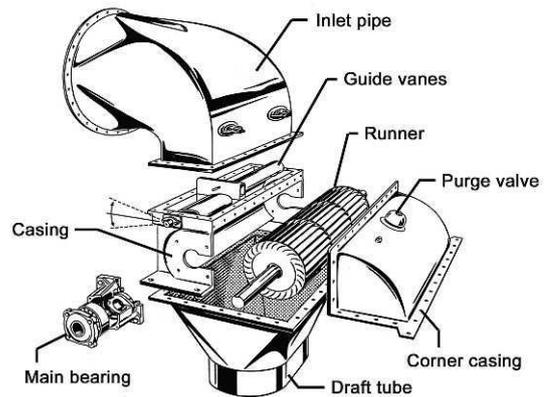
### Tinjauan Pustaka

Turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak dimana fluida kerjanya adalah air [3]. Berdasarkan prinsip kerja turbin (momentum fluida kerjanya) dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin air diklasifikasikan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.



Gambar 1. Diagram klasifikasi turbin air [4].

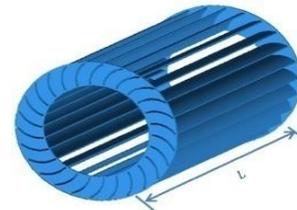
Turbin *Cross-flow* dibuat pertama kali di Eropa. Nama *Cross-flow* diambil dari aliran air yang melintasi kedua sudu gerak atau *runner* dalam menghasilkan putaran (rotasi). Prinsip kerja turbin ini ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Namun penemuan tersebut belum dikembangkan, sehingga pada tahun berikutnya dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki. Maka dari itu turbin ini disebut juga dengan Turbin Banki [5].



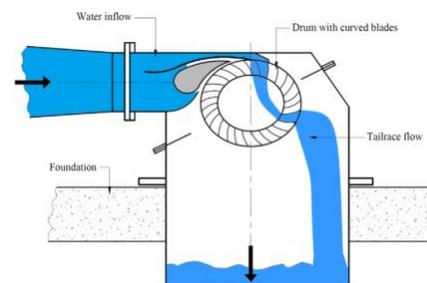
Gambar 2. Konstruksi Turbin Turbin *Cross-flow* [5].

*Guide vane* pada turbin *Cross-flow* berfungsi untuk mengarahkan air yang masuk kedalam *runner* turbin sehingga dengan bukaan *Guide vane* yang tepat dapat meningkatkan kinerja turbin. *Guide vane* juga berfungsi untuk mengatur kapasitas air menuju turbin dengan arah dan kecepatan tertentu.

Salah satu komponen utama pada turbin *Cross-flow* yaitu *runner*.



Gambar 3. *Runner* Turbin *Cross-flow* [4]



Gambar 4. Aliran Masuk Turbin *Cross-flow* [6]

Pikohidro merupakan istilah yang digunakan untuk pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi air. Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) adalah suatu instalasi pembangkit listrik tenaga air skala kecil atau piko dengan daya listrik

yang dihasilkan tidak lebih dari 5 kW. Pembangkit listrik skala piko pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air yang ada pada aliran air, baik saluran irigasi, sungai maupun air terjun. Energi potensial yang diperoleh dari perbedaan ketinggian akan berubah menjadi energi kinetik karena terdapat penyempitan luas penampang pada nosel. Setelah itu aliran air dari nosel akan memutar turbin dan poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator sehingga menghasilkan listrik [7].

Mockmore dan Merryfield (1949). Memperkenalkan turbin *Cross-flow* dan melakukan penelitian serta mengembangkan dasar teoritis, efisiensi maksimal turbin yang diperoleh yaitu 68% [8].

Olgun, (1998) melakukan penelitian dengan memvariasikan rasio diameter, bukaan *gate* pada dua *nozzle* turbin yang berbeda serta pada *head* yang berbeda. Efisiensi maksimal turbin yaitu 72% [9].

Choi, et al. 2008 melakukan penelitian secara numerik (CFD) dengan memvariasikan bentuk *nozzle*, sudut sudu *runner*, sudut *inlet runner* (sudut *nozzle*) yaitu 25°, 30° dan 35°, dan jumlah sudu (*blade*) yaitu 15, 26 dan 30 [10].

Choi and Son, 2012 melakukan penelitian secara numerik (CFD) dengan memvariasikan bentuk *nozzle* terhadap kinerja dari turbin *Cross-flow* [11].

Rajab Yassen, 2014 melakukan penelitian (CFD) untuk mengoptimalkan kinerja turbin *Cross-flow* dengan memvariasikan jumlah sudu, sudut nosel, rasio diameter dalam dan diameter luar, profil nosel, profil sudu, lebar busur semburan nosel. Hasil penelitian menunjukkan sifat aliran yang sangat kompleks dan memberikan wawasan yang sangat baik untuk parameter optimasi struktur aliran dan kinerja turbin [12].

Acharya, et al. 2015 melakukan penelitian secara numerik (CFD ANSYS) dengan memvariasikan bentuk *nozzle*, mengubah sudut pengarah (*guide vane*) dan jumlah sudu (*blade*) [2].

Soenoko, 2016 melakukan penelitian dengan memvariasikan sudut *nozzle* (30°-75°) dan variasi laju aliran air terhadap kinerja turbin *Cross-flow* pada tingkat pertama. Efisiensi optimal yaitu dengan sudut *nozzel* 30° [13].

Langkah pengukuran daya air yang digunakan dapat diketahui dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut.

Kecepatan aliran air di dalam pipa dapat diketahui dengan persamaan berikut [14].

$$v = \frac{Q}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

- $v$  = Kecepatan aliran air (m/s)
- $Q$  = Debit air yang digunakan (m<sup>3</sup>/s)
- $A$  = Luas penampang *Penstocks* (m<sup>2</sup>)

Karakteristik aliran atau besarnya bilangan *Reynold* dapat diketahui dengan persamaan berikut [14].

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

- $Re$  = Bilangan *Reynold*
- $\rho$  = Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)
- $v$  = Kecepatan aliran air (m/s)
- $d$  = Diameter dalam pipa (m)
- $\mu$  = Viskositas dinamik (N.s/m<sup>2</sup>)

*Mayor losses* merupakan kerugian akibat gesekan antara air dengan dinding pipa [14].

$$H_{L(mayor)} = f \cdot \frac{l \cdot v^2}{d \cdot 2 \cdot g} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

- $H_{L(mayor)}$  = Kerugian *head* karena gesekan (m)
- $d$  = Diameter dalam pipa (m)
- $l$  = Panjang pipa (m)
- $v$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)
- $g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- $f$  = Koefisien gesekan

*Minor losses* merupakan kerugian akibat adanya nosel [14].

$$H_{L(\text{minor})} = k \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

- $H_{L(\text{minor})}$  = Kerugian *head* (m)
- $v$  = Kecepatan aliran fluida (m/s)
- $g$  = Percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)
- $k$  = koefisien kerugian (*loss*)

*Head efektif* Merupakan *head* bersih, dimana faktor gesekan dan belokan pada pipa atau *nozzle* sudah dipertimbangkan dengan perhitungan [15].

$$H_e = H - H_{L(\text{mayor})} - H_{L(\text{minor})} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

- $H_e$  = *head efektif* (m)
- $H$  = Ketinggian/*head* (m)
- $H_{L(\text{mayor})}$  = Kerugian *head* karena gesekan (m)
- $H_{L(\text{minor})}$  = kerugian *head* akibat belokan pipa atau adanya *nozzle* (m)

Sehingga besarnya daya air yang digunakan dapat diketahui dengan persamaan berikut [12].

$$P_{\text{air}} = \rho \cdot g \cdot H_e \cdot Q \dots\dots\dots (6)$$

$$P_{\text{air}} = \gamma \cdot H_e \cdot Q \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

- $P_{\text{air}}$  = Daya air (W)
- $\rho$  = Massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  = Gaya grafitasi (m/s<sup>2</sup>)
- $H_e$  = *Head efektif* atau ketinggian
- $Q$  = (m<sup>3</sup>/s)
- $\gamma$  = Debit air (m<sup>3</sup>/s)  
Berat jenis air (N/m<sup>3</sup>)

Secara teoritis efisiensi maksimal turbin *Cross-flow* dapat diketahui berdasarkan sudut nosel [8, 12].

$$\eta = \frac{1}{2} \cdot C^2 \cdot (1 + \Psi) \cdot \cos^2 \alpha_1 \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

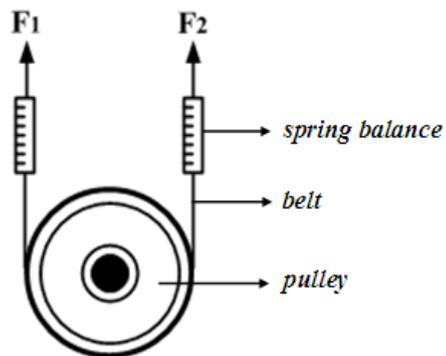
- $\eta$  = Efisiensi turbin
- $C$  = Koefisien kekasaran nosel (0,98)

$\Psi$  = Koefisien kekasaran sudu (*blade*) (0,98)

$\alpha_1$  = Sudut nosel (°)

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan turbin dapat dilakukan dengan pengujian menggunakan metode pengeraman (*Rope brake*) dan untuk mengetahui daya turbin digunakan persamaan berikut [3].

$$T = F_g \cdot r \dots\dots\dots (9)$$



Gambar 6. *Rope brake* [16]

Dan kecepatan sudut yaitu [2].

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} \dots\dots\dots (10)$$

sehingga daya turbin yaitu [2]

$$P_t = T \cdot \omega \dots\dots\dots (11)$$

Dimana:

- $P_t$  = Daya yang dihasilkan turbin (W)
- $T$  = Torsi yang dihasilkan turbin (Nm)
- $F_g$  = Selisih gaya tarik dan tekan pada putaran tertentu (N)
- $F_g = F_{ta} - F_{te}$  atau  $F_1 - F_2$  (N)
- $r$  = Jari-jari puli pada *runner* turbin (m)
- $\omega$  = Kecepatan sudut *runner* (rad/s)
- $n$  = Putaran turbin (rpm)

Efisiensi Mekanik Turbin ( $\eta_t$ ) [2].

$$\eta_t = \frac{P_{\text{turbin}}}{P_{\text{air}}} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

- $\eta_t$  = Efisiensi mekanik turbin
- $P_{\text{air}}$  = Daya air (W)
- $P_{\text{turbin}}$  = Daya turbin (W)

## Metode Penelitian

Lokasi pengujian turbin dilakukan di desa Sumber Agung Kecamatan Suoh Kabupaten Lampung Barat.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen nyata (*true experimental research*). Metode eksperimen meliputi tahap perencanaan, membuat turbin, sampai dengan mengujian kinerja turbin.

Langkah penelitian meliputi:

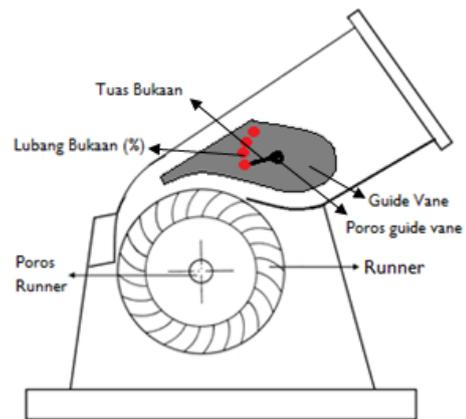
1. Studi pustaka
2. Observasi  
Dari hasil pengukuran diperoleh data sebagai berikut:
  - a. Debit air (Q) = 0,00316 m<sup>3</sup>/s
  - b. Head = 26 m
  - c. Panjang pipa = 52 m
3. Desain turbin
4. Pembuatan turbin
5. Pengujian turbin
6. Analisis hasil eksperimen

Spesifikasi turbin yang dilakukan pengujian yaitu seperti pada Tabel 1. berikut.

Tabel 1. Spesifikasi turbin *Cross-flow*

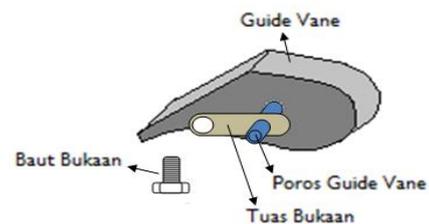
Parameter	Nilai
Diameter luar (m)	0,145 m
Diameter dalam (m)	0,097 m
Lebar sudu (m)	0,0508 m
Jarak antar sudu (m)	0,025 m
Jari-jari sudu (m)	0,023 m
Jumlah sudu	18 sudu
Tebal <i>nozzle</i> (m)	0,0184 m
Diameter <i>penstok</i> (m)	0,0508 m

Variasi bukaan *guide vane* turbin dijelaskan pada gambar berikut.



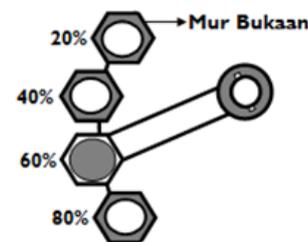
Gambar 7. Komponen turbin

Komponen *guide vane* turbin *Cross-flow* dijelaskan seperti gambar berikut.



Gambar 8. Komponen *guide vane*

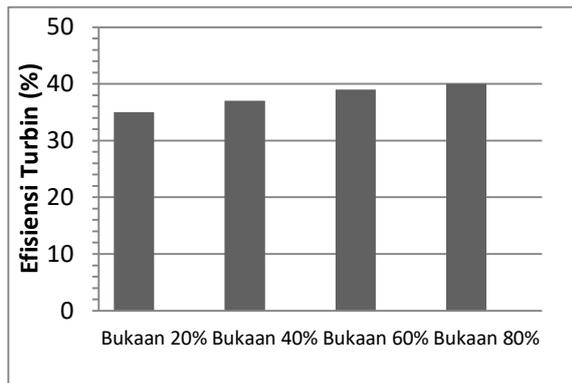
Variasi bukaan *guide vane* dijelaskan dalam gambar berikut.



Gambar 9. Variasi bukaan *guide vane*

## Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengujian pengaruh bukaan *guide vane* terhadap kinerja turbin *Cross-flow* diperoleh efisiensi turbin yaitu sebagai berikut.



Gambar 10. Efisiensi turbin

Dari Gambar 10. dapat diketahui bahwa bukaan *guide vane* berpengaruh terhadap kinerja turbin *Cross-flow*. Dimana efisiensi tertinggi diperoleh dengan bukaan *guide vane* 80% yaitu sebesar 40% sedangkan untuk bukaan yang lebih rendah menghasilkan efisiensi yang rendah yaitu 39% untuk bukaan *guide vane* 60%, 37% untuk bukaan *guide vane* 40% dan 35% untuk bukaan *guide vane* 20%.

### Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa bukaan *guide vane* berpengaruh terhadap kinerja turbin. Efisiensi turbin tertinggi sebesar 40% diperoleh dengan bukaan *guide vane* 80%. Bukaan *guide vane* semakin kecil maka efisiensi turbin semakin menurun.

### Daftar Pustaka

- [1]. Rosyidin, M. A., Sutikno, D dan Sugiarto. 2012. Pengaruh Bukaan Guide Vane Terhadap Unjuk Kerja Turbin Cross Flow Tipe C4-20 Pada Instalasi PLTMH Andung Biru. *Jurnal Teknik Mesin*.
- [2]. Acharya, N., Kim C.G., Thapa, B., and Lee, Y.H., 2015. Numerical analysis and performance enhancement of a cross-flow hydro turbine. *Renewable Energy xxx 1-8*.
- [3]. Arismunandar, W. 2004. *Penggerak Mula Turbin*. ITB. Bandung.
- [4]. Elbatran A.H., Yaakob, O.B., Ahmed, Y.M., and Shabara, H.M., 2015. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 43 40–50*.
- [5]. Dietzel, F., dan Sriyono, D. 1993. *Turbin Pompa Dan Kompresor*. Erlangga. Jakarta.
- [6]. Loots, I., Dijk, M.V., Barta, B., Vuuren, S.J.V., and Bhagwn, 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*.
- [7]. Setiadi, Y., Soesilo, E., & Septe, E. (2015). Perancangan Pico Hydro Portable Type Kincir Air Sebagai Pembangkit Energi Listrik. *Abstract Of Undergraduate Research, Faculty Of Industrial Technology, Bung Hatta University, 5(1)*.
- [8]. Mockmor, C.A. and Merryfield, F. 1984. “The Banki Water Turbin”, *Oregon State College, Bulletin Series, No.25*.
- [9]. Olgun, H. 1998. Investigation of the performance of a cross-flow turbine. *International journal of energy research, (22,953-964)*.
- [10]. Choi, Y.D., Lim, J.I., Kim, Y.T., and Lee, Y.H., 2008. Performance and internal flow characteristics of a cross-flow hydro turbine by the shapes of nozzle and runner blade. *Journal of fluid science and technology (Vol. 3 No. 3)*
- [11]. Choi, Y.D., and Son, S.W., 2012. Shape effect of inlet nozzle and draft tube on the performance and intenal flow of cross-flow

hydro turbine. *Journal of the Korean society of marine engineering* Vol. 36. No 3 (351-357).

- [12]. Rajab Yassen, S. 2014. "Optimization of the Performance of Micro Hydro-Turbines for Electricity Generation". *The programme of research was carried out in the School of Engineering & Technology, University of Hertfordshire, Hatfield, UK.*
- [13]. Soenoko, R. 2016. First Stage Cross Flow Turbine Performance. *International Journal of Applied Engineering Research*. ISSN 0973-4562 Volume 11, Number 2 pp 938-943. Research India Publications.
- [14]. Munson, Bruce R., Okiishi, Theodore H., Huebsch, Wade W., and Rothmayer, Alric P., 2013. *Fundamentals of Fluid Mechanics*. Edisi 7.
- [15]. Abdul Nasir, B. 2014. Design Considering Of Micro-Hydro-Electrik Power Plant. *Energy procedia* 50 19-29.
- [16]. Tohari M. dan Ibrahim Lubis H. 2015. Pengujian Unjuk Kerja Turbin Crossflow Skala Laboratorium Dengan Jumlah Sudu 20. *Jurnal Teknik Mesin*.