

## PERENCANAAN TURBIN CROSS FLOW SUDU BAMBUR SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PICO HIDRO KAPASITAS 200 WATT

Efrita Arfa Zuliari<sup>[1]</sup> dan Ali Khomsah<sup>[2]</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya<sup>[1]</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya<sup>[2]</sup>

Email: ali.khomsah@gmail.com

### ABSTRAK

Sumber energi listrik sudah merupakan kebutuhan primer bagi masyarakat kota, tingkat elektrifikasi di perkotaan sudah menyeluruh, tetapi di sisi lain masih ada sebagian penduduk yang rumahnya terpencil belum mendapatkan elektrifikasi. Usaha untuk memenuhi kebutuhan diarahkan menuju kemandirian energi listrik bagi masyarakat melalui tercapainya swa-efisiensi energi bagi masyarakat. Pada penelitian ini dirancang dan dibuat untuk diuji, seperangkat alat pembangkit listrik picohydro dengan sudu turbin yang terbuat dari bahan bambu, seberapa jauh bambu dapat dimanfaatkan sebagai material turbin, mengingat bambu dapat diperoleh dengan mudah dan murah serta mudah diproses. Pengujian yang telah dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja perangkat pembangkit listrik terkait daya dan efisiensi. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan energi kinetik air yang berasal dari pompa sebagai penggerak turbin yang kemudian menggerakkan generator. Hasil dari pengujian dengan memvariasikan rasio pulley terjadi peningkatan tegangan dan daya output. Pada beban nol output tegangan maksimum sebesar 223 Volt, pada rasio pulley 1:4,5 dapat menyalakan beban lampu maksimum sebesar 200 watt dengan aktual daya dan efisiensi total maksimal masing-masing sebesar 74,04 watt dan 23,3 %. Efisiensi total maksimum sebesar 29% terjadi pada rasio pulley 1:3,5.

**Kata kunci** : swa-efisiensi energi, pico hydro, sudu bambu

### PENDAHULUAN

Salah satu cara menyejahterakan masyarakat adalah dilakukan dengan meningkatkan pembangunan di bidang kelistrikan, yaitu dengan jalan pembangunan infrastruktur khususnya infrastruktur kelistrikan. Pembangunan kelistrikan yang ada sampai saat ini belum bisa mencukupi kebutuhan masyarakat terutama di desa-desa terpencil. Pembangkit listrik tenaga picohydro (PLTPH) merupakan suatu pembangkit listrik skala kecil yang memanfaatkan aliran air sungai sebagai tenaga (*resources*) untuk menggerakkan turbin, mengubah energi potensial air menjadi kerja mekanis, memutar turbin dan generator untuk menghasilkan daya listrik skala kecil, yaitu sekitar 5-100 kW (*microhydro*), yang sama sekali tidak menggunakan bahan bakar. Penerapan PLTPH merupakan upaya positif untuk mengurangi laju perubahan iklim global yang sedang menjadi isu penting dewasa ini.

Pembangunan PLTPH membuat masyarakat semakin giat menjaga lingkungan, termasuk hutan demi terus tersedianya pasokan aliran sungai. Desa Sodrofoyo merupakan desa yang belum mempunyai infrastruktur listrik sebagai alat penerangan, dan jauh dari jaringan listrik PLN yang ada. Akan tetapi di lalui oleh aliran Sungai yang merupakan salah satu sumber air yang dapat di jadikan sumber energi listrik berskala kecil. Untuk itu perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui potensi aliran air sungai yang dapat dijadikan sumber listrik untuk rumah tinggal yang terpencil, yang terdapat sumber energi air.



Gambar 1. Potensi aliran air skala picohydro di Desa Trawas-Mojokerto.

Adapun tujuannya yaitu adalah untuk mendapatkan gambar perencanaan dan spesifikasi teknis turbin pembangkit.

Adapun kelebihan PLTPh adalah sebagai berikut:

1. Ramah Lingkungan dan tebarui ; PLTPh merupakan pembangkit listrik yang paling ramah lingkungan juga tidak mencemari dan merusak alam, karena menggunakan air sebagai sumber tenaganya. PLTMH juga tidak mengganggu aliran sungai secara signifikan.
  2. Teknologi yang handal ; Teknologi yang digunakan handal dan kokoh sehingga mampu beroperasi lebih dari 15 tahun.
  3. Biaya oprasional murah
  4. Tingkat perawatan peralatan lebih sederhana.
  5. Efisiensi tinggi (70%-85%).
  6. Pengoperasiannya mudah.
  7. Tidak konsumtif terhadap pemakaian air.
  8. Energi yang dihasilkan dapat diperhitungkan.
- Sumber potensi yang banyak terdapat di Indonesia.

## DASAR TEORI

### Kapasitas Aliran Air (debit)

Pengukuran debit aliran sungai biasanya dilakukan dengan menggunakan alat pelampung dan *stop watch*, pengukuran dilakukan pada titik tertentu. Dan bisa dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = V \cdot A \quad (1)$$

Ket:

Q = Debit Aliran (cfs)

V = Kecepatan Aliran (ft/s)

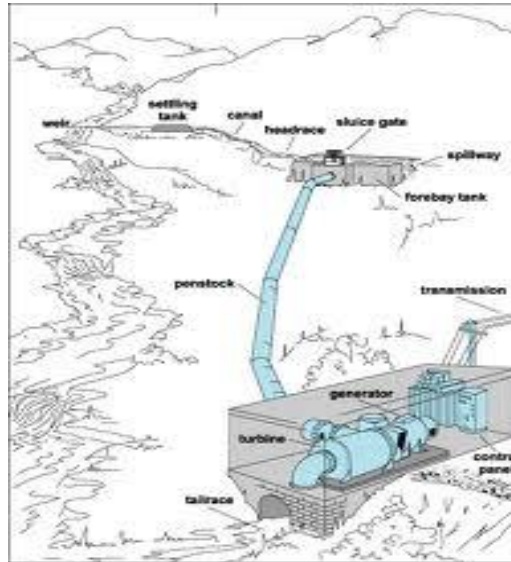
A = Luas Penampang (ft<sup>2</sup>)

### Tinggi Jatuh (*head*)

*Head* adalah ketinggian vertikal dimana air jatuh. Pengukuran *head* agar lebih teliti seharusnya dilakukan dengan menggunakan Theodolite, tetapi dalam penelitian ini beda ketinggian didapat dengan cara sederhana dengan menggunakan selang air, pengukuran dilakukan di hulu sungai mendekati sumber mata air, yang diperkirakan merupakan lokasi bendungan, dan dilakukan pula di lokasi tertentu, yang diperkirakan sebagai tempat instalasi mesin pembangkit (*power house*). Besarnya *head* dinyatakan dengan satuan meter (m).

### Turbin Cross Flow & Penentuan Daya

Selain itu, dari hasil survey debit dan tinggi jatuh air, akan direncanakan besar kapasitas pembangkitan dan jenis tubin yang akan digunakan, sesuai dengan perencanaan yang diambil. Kapasitas daya antara 5 kW sampai 100 kW merupakan Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro. Gambar 1 menunjukkan skema PLTMH, ketinggian head, h adalah ketinggian antara bak penenang dengan *power house*, yang didalamnya terdapat turbin, generator, dan panel elektrik.



Gambar 3. Daya air.

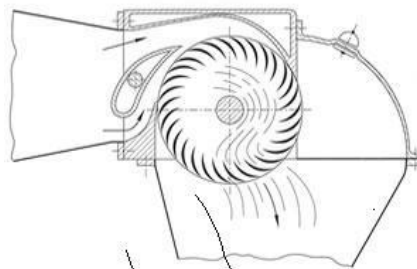
Daya air yang ditimbulkan oleh adanya debit dan ketinggian aliran air dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \text{ (S.I unit)} \quad (2)$$

Dimana :

- P = Daya air (Watt)
- $\rho$  = Massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )
- Q = Debit aliran air ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- g = Gravitasi bumi ( $\text{m/s}^2$ )
- h = ketinggian air (m)

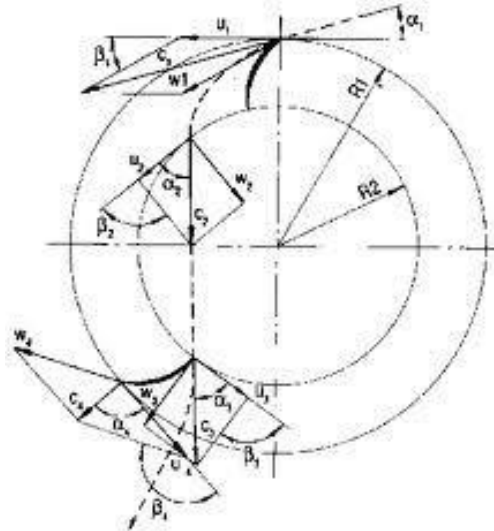
Daya dari energy kinetic air yang dihasilkan akan digunakan untuk menggerakkan turbin, adapun dengan beberapa pertimbangan dalam perencanaannya ini akan digunakan turbin *cross-flow*, yang perencanaannya disesuaikan dengan criteria dasar turbin tersebut, mengingat turbin tersebut banyak digunakan karena keuntungan pemakaiannya berkaitan dengan kemudahan pembuatan dan pemasangannya.



Gambar 4. Skema turbin *cross-flow*.

**Turbin cross flow**

*Banki turbine* atau turbin aliran silang adalah merupakan jenis turbin *athmosphere radial flow*, yaitu turbin aliran radial yang daerah kerjanya pada tekanan atmosfer, sehingga akan mudah dalam perakitannya karena tidak membutuhkan seal-seal kedap udara. Bantalan tidak mengalami kontak secara langsung dengan air, sehingga mudah untuk diberikan pelumasan dan tidak memerlukan seal penutup. Gambar 4 menunjukkan skema turbin aliran silang.



Gambar 5. Segitiga Kecepatan pada Blade.

Skema dasar diagram kecepatan, di mana energy kinetic air dengan kecepatan  $V_1$  atau  $c_1$  menumbuk ujung blade pada sudut  $\alpha_1$ , seperti terlihat pada gambar 5. Sudut  $\beta_1$  adalah sudut antara kecepatan tangensial  $u_1$  dan kecepatan  $w_1$ .

**Daya turbin**

Daya keluaran turbin yang besarnya dapat dirumuskan melalui persamaan sebagai berikut,

$$hp = (Q.H.e)/8,8 \text{ (British unit).....} \tag{3}$$

$$e = (2C^2 u_1/V_1)(1 + \psi)(\cos\alpha_1 - u_1/V_1) \tag{4}$$

pada kondisi efisiensi maksimum,

$$u_1 = 1/2 V_1 \cos \alpha_1 \tag{5}$$

$$e_{max} = 1/2 C^2 (1 + \psi) \cos^2 \alpha_1 \tag{6}$$

Dimana :

$e$  = efisiensi maksimum keseluruhan turbin

$C$  = efisiensi nozel

$\psi = v_2/v_1$ , koefisien empiris, besarnya sekitar 0,98

Debit aliran air,

$$Q = (C s_0 L/144)(2gH)^{1/2} \tag{7}$$

$$= C(kD_1 L/144)(2gH)^{1/2}$$

**Diameter runner, panjang runner dan Lebar rim,**

Diameter runner, panjang runner dan Lebar rim dapat diperoleh melalui persamaan sebagai berikut

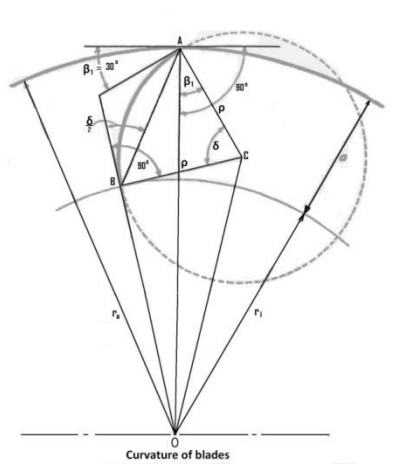
$$D_1 = \frac{60 u_1}{\pi N} \tag{8}$$

Dengan mengambil asumsi harga  $\alpha_1=16^\circ$  dan  $\beta_1=30^\circ$ , maka akan didapatkan harga diameter runner dan perbandingan harga jari-jari runner,

$$D_1 = 862H^{1/2}/N \tag{9}$$

$$L = 144 Q N / (862 H^{1/2} C k (2gH)^{1/2}) \tag{10}$$

$$\frac{r_2}{r_1} = 0,667 \dots \tag{11}$$



Gambar 6. Dimensi runner.

Sehingga besar lebar rim,

$$a = 0,17 D_1 \tag{12}$$

**Jari-jari Blade**

Radius *curvature* atau jari-jari dari blade seperti terlihat pada gambar 6. didapat dari persamaan sebagai berikut,

$$\rho = 0,366r_1 \tag{13}$$

**Kecepatan spesifik**

$N_s$ . Kecepatan spesifik,  $N_s$  yang besarnya berkisar antara 2 sampai 16 untuk turbin *cross flow*, menurut Mockmore, hasil eksperimen yang dilakukan menunjukkan bahwa, efisiensi maksimum terjadi pada harga  $N_s = 14$ . Besarnya harga kecepatan spesifik dinyatakan sebagai,

$$N_s = N \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}} \tag{14}$$

Dimana :

$N_s$  = Kecepatan specific

$N$  = Putaran turbin (rpm)

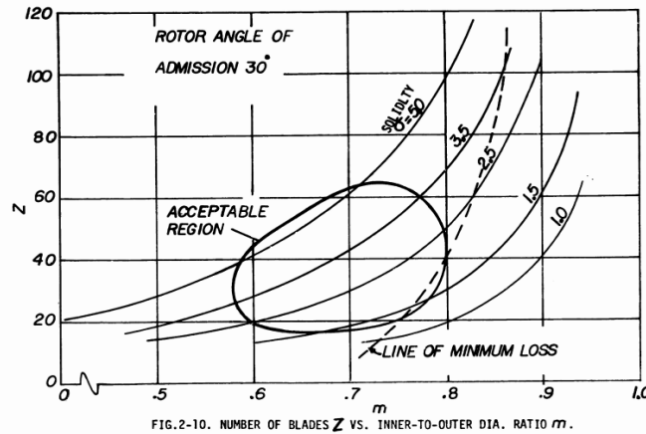
$P$  = Daya air (hp)

$H$  = Tinggi elevasi (ft)

**Solidity**

Solidity didefinisikan sebagai rasio yang terjadi antara jumlah panjang chord total pada blade dengan keliling turbin, di mana B, c dan R masing-masing merupakan jumlah blade, panjang chord dari blade dan radius turbin.

$$\sigma = \frac{cB}{2\pi R} \tag{15}$$



Gambar 7. Daerah penerimaan desain turbin.

**METODE**

Pada penelitian ini dilakukan survei langsung pada lokasi, yang bertujuan untuk mendapatkan data-data primer dan data sekunder. Untuk data debit dilakukan sebanyak 2 (dua) kali, yaitu saat puncak musim penghujan dan puncak musim kemarau sehingga laju aliran (debit) sungai maksimum dan minimum dapat diukur. Sedangkan dalam perhitungan nanti menggunakan debit rata-rata

Metodologi penelitian mencakup: survey potensi, perhitungan daya terpakai dan penentuan jenis turbin yang dipakai



Gambar 2. Survey lokasi sumber Air.

### Perencanaan Turbin

Data awal perencanaan diperkirakan berdasarkan hasil survey potensi energi air di desa Trawas Mojokerto, adapun data tersebut sebagai berikut.

Debit air,  $Q = 0,016 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,565 \text{ cfs}$  (*cubic feet per second*)

Tinggi jatuh air,  $H = 16 \text{ ft} = 4,877 \text{ m}$

Kecepatan specific,  $N_s=14$

1. Daya pada turbin, Mengingat turbin dengan kapasitas kecil, efisiensi turbin di asumsikan sebesar 40 %,  $e = 0,4$  maka  $hp = (Q.H.e)/8,8 = (0,565.16.0,4)/8,8 = 0,4623$
2. Diameter dan lebar roda sudu,  
 $L = 144 Q N / (862 H^{1/2} C_k (2gH)^{1/2}) = 144 Q N / (862(0,98)(0,087)(2g)^{1/2} H) = 0,244 Q N/H$   
 $N = (862/D_1)H^{1/2}$ , maka  
 $L = (210,5 Q) / (D_1 H^{1/2})$   
 $LD_1 = 210,5 Q / (H^{1/2}) = 210,5 (0,565) / (4) = 29,727$   
Diambil harga  $L = 4,13386 \text{ inch}$  (10,5 cm) dan  $D_1 = 7,0866 \text{ inch}$  (18 cm)
3. Putaran Runner  $N = (862/D_1)H^{1/2} = (862/7,0866) 4 = 486 \text{ rpm}$
4. Ketebalan nosel (jet), luas penampang nosel  $= Q/V = 0,565 / (0,98)(8,02)(4) = 0,0196 \text{ ft}^2$   
 $s_o = A/L = 0,0196(144) / 4,13386 = 0,683 \text{ inch}$
5. Jarak antar sudu pada runner,  
 $s_1 = k D_1 = (0,087) (7,0866) = 0,62 \text{ inch}$   
 $t = s_1 / \sin \beta_1 = 0,62 / 0,5 = 1,24 \text{ inch}$   
maka jumlah blade pada runner,  
 $n = \pi D_1 / t = (3,14)(7,0866) / 1,24 = 17,95$  atau  $n = 18 \text{ blade}$ .
6. Lebar rim,  $a = 0,17 D_1 = 0,17 (7,0866) = 1,2 \text{ inch}$  (3,06 cm)
7. Jari-jari sudu  $\rho = 0,326 r_1 = 0,326 (3,5433) = 1,155 \text{ inch}$  (2,93 cm)
8. Kecepatan specific,  $N_s = N P^{1/2} / H^{5/4} = 486 (0,4623^{0,5}) / (16^{1,25}) = 10,3$



Gambar 8. Turbin Sudu Bambu

### Pengujian Turbin.

Setelah turbin dengan blade bambu dibuat lalu dirangkai untuk dilakukan pengujian, rangkaian peralatan secara garis besar terdiri atas 1.Pompa, 2.Turbin *Crossflow*, 3.Reservoir V-notch untuk mengukur debit air. Pengujian turbin dilakukan dengan mensimulasikan penggerak turbin, menggunakan aliran air dari pompa listrik, dengan daya 1500 watt dan diameter output pompa 3 inchi. Set up pengujian seperti terlihat pada gambar di bawah.



Gambar 9. Set up Pengujian.

Gerak mekanis putar turbin digunakan untuk menggerakkan generator MISG (Motor Induksi Sebagai Generator) atau biasa disebut juga *IMAG (Induction Motor As Generator)*, output listrik yang dihasilkan oleh generator digunakan untuk menyalakan beban lampu seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Generator MISG & Beban Lampu

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian yang ditampilkan merupakan hasil pengujian dengan maksimum beban lampu dan daya yang dihasilkan, hasil tersebut didapatkan dari beberapa variasi perbandingan putaran sistem transmisi dan bukaan *guide valve* turbin. Effisiensi total yang dihasilkan merupakan perkalian antara efisiensi turbin, efisiensi transmisi, & efisiensi generator MISG. Adapun data hasil uji ditabelkan sebagai berikut.

Tabel 1. Maksimum Pembebanan & Daya pada rasio pulley 1:3.

Kondisi	Beban	Tegangan	Arus	Putaran (rpm)	Daya (Watt)	Keterangan
<b>Bukaan 2</b>	150	84	0,39	477	32,76	Beban = 0, V= 157 Volts
<b>Bukaan 3</b>	45	148	0,3	483	<b>44,4</b>	Beban = 0, V= 194 Volts

Data tabel 1 menunjukkan bahwa pada bukaan 2 mampu menerima beban lampu resistif sampai 150 watt, sedangkan pada bukaan 3 beban hanya sampai 45 watt, tetapi sebaliknya daya yang



merupakan perkalian arus dengan tegangan, pada beban lampu 45 watt lebih besar yaitu sebesar 44,4 watt.

Tabel 2. Maksimum Pembebanan & Daya pada rasio pulley 1: 3,5(Beban = 0, V=155 Volts).

Kondisi	Beban	Tegangan	Arus	Putaran	Daya	Eff. Total	Keterangan
<b>Bukaan 2</b>	165	104	0,62	438,4	64,48	<b>28,5 %</b>	Daya Maksim.
	190	96	0,66	448,1	63,36	<b>29 %</b>	Beban Maksim.
<b>Bukaan 3</b>	165	103	0,61	438	62,83	<b>25,86 %</b>	Beban=0, V=209 V

Pada perbandingan pulley 1:3,5, tegangan output relatif lebih besar begitu juga dengan output daya yang dihasilkan juga lebih besar. Effisiensi total meningkat berkisar pada kisaran 25% sampai 30%.

Tabel 2. Maksimum Pembebanan & Daya pada rasio pulley 1: 4,5.

Kondisi	Beban	Tegangan	Arus	Putaran	Daya	Eff. Total	Keterangan
<b>Bukaan 3</b>	<b>200</b>	112	0,67	351,2	<b>74,04</b>	23,3 %	Beban=0, V= 223V

Pada rasio pulley 1:4,5 beban lampu mencapai 200 Watt dengan aktual daya 75,04 Watt. Tegangan pada beban nol mencapai 223 Volt, sesuai dengan tegangan nominal listrik PLN. Terjadi peningkatan daya yang cukup signifikan dengan naiknya rasio perbandingan pulley.

## KESIMPULAN

1. Tegangan output meningkat dengan meningkatnya. rasio perbandingan pulley transmisi, hal tersebut beralasan karena tegangan listrik merupakan fungsi putaran.
2. Beban lampu sebesar 200 Watt tercapai pada perbandingan pulley 1:4,5 dengan daya terukur sebesar 74,04 Watt.
3. Effisiensi total terbear terjadi pada rasio perbandingan pulley 1:3,5, yaitu berkisar antara 25% sampai dengan 30%. Effisiensi maksimal akan terjadi bila effisiensi turbin maksimum begitu juga dengan effisiensi generator.
4. Secara umum terjadi penurunan tegangan dengan bertambahnya beban.

## Ucapan Terimakasih

Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari penelitian Hibah Bersaing dengan judul terkait yang dibiayai oleh Dikti pada tahun 2014, dan kami mengucapkan rasa terimakasih yang mendalam atas bantuan dana penelitian tersebut. Semoga penelitian ini dapat berlanjut pada tahun ke 2, sehingga cita-cita untuk merealisasikan swa-elektrifikasi di daerah terpencil dapat terealisasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bryan, Yan, et.al. 2012, *Performance evaluation of cross-flow turbine for low head application*, Sweden Word Renewable Energi Congress,.
- [2]. Durali, M, 1974. *Design of Small Water Turbines for Farms and Small Communities*, Tehran Arya Mehr University-,
- [3]. Haurissa J, et.al, 2012. *The Cross Flow Turbine Behavior towards the Turbine Rotation Quality, Efficiency, and Generated Power*, Journal of Applied Sciences Research, 8(1), ISSN 1819-544X: 448-453.
- [4]. Kamal, S & Prajitno. 2013. *Evaluasi Unjuk Kerja Turbin Air Pelton terbuat dari Kayu dan Bambu sebagai Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan untuk Pedesaan*, jurnal manusia dan lingkungan, Vol. 20. No. 2 : 190 – 198.
- [5]. Kokobu, K., et.al, 2013. *Guide Vane with Current Plate to Improve Efficiency of Cross Flow Turbine*, *Scientific Research*, Open Journal of Fluid Dynamics, 3 : 28-35
- [6]. Subekti RA. 2010. *Survey Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Kuta Malaka Kabupaten Aceh Besar Propinsi Nanggroe Aceh Darussalam*, Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology, Vol.01, No.1.
- [7]. Witdarko, Y, dkk, 2004. *Pengaruh Variasi Pembukaan Sudu Pengarah terhadap Efisiensi Turbin Cross Flow*. Jurnal Teknosains 17(3) : 499-511.
- [8]. Winardi, dkk, 2004. *Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan terhadap Unjuk Kerja Turbin Aliran Silang*, Jurnal Teknosains 17(2) : 239-251.
- [9]. Mockmore, C.A, Merryfield. 1949. *The Banki Water Turbine*, *Bulletin Series No. 25*, Oregon State College.