

STUDI POTENSI DAN PERENCANAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DI SUNGAI GUCI KABUPATEN TEGAL

Ahmad Farid, Mustaqim
Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Univ.Pancasakti Tegal
Email : *farield_s@yahoo.com, banktaqim@facebook.com*

Abstrak

Kawasan Guci Kabupaten Tegal mempunyai topografi bergunung dan banyak mempunyai sungai berpotensi sumber energi yang besar untuk pembangkit listrik. Namun dalam pemenuhan kebutuhan listrik di daerah sekitar, hanya mengandalkan energi listrik dari PLN, sulitnya medan/lapangan tidak semua daerah sekitar dapat dijangkau instalasi listrik tersebut. Melihat potensi sumber energi yang ada untuk PLTMH maka perlu dilakukan suatu kajian tentang seberapa besar potensi aliran air sungai yang dapat dimanfaatkan untuk energi listrik dan perencanaan sistem mikrohidro tersebut agar daya listrik yang dihasilkan dapat maksimal. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan observasi langsung dengan melakukan pengamatan datadon survei dilapangan, metode pengumpulan data dengan mengadakan secara langsung tanya jawab kepada orang-orang yang berada disekitar lokasi, meliputi pemilik lokasi, warga, dinas terkait serta orang yang ahli dalam bidang mikrohidro, kemudian dokumentasi yaitu mengumpulkan data-data penelitian meliputi foto-foto kegiatan, data pengukuran debit, head, topografi dan data-data lain yang dilakukan selama dalam penelitian. serta studi pustaka. Hasil pengukuran, pengujian dan analisa diperoleh data aliran sungai Guci yaitu dengan debit $1,005\text{m}^3/\text{s}$, ketersediaan air yang selalu ada dengan curah hujan rata-rata $660\text{mm}/\text{bulan}$ dan memiliki potensi head $9,6\text{m}$. Hasil perencanaan sistem PLTMH Guci meliputi konstruksi sipil, diantaranya: perencanaan bendungan dengan tipe bronjong, saluran tipe U dan penstock dengan pipa PVC $\varnothing 0,22\text{m}$. Pada perencanaan mekanikal elektrikal dengan tipe turbin arus silang \varnothing runner $0,3\text{m}$ dan jumlah sudu 18 buah jari-jari runner $0,15\text{m}$. Daya yang dapat diperoleh adalah $56,7\text{ kW}$.

Kata kunci :potensi PLTMH, *penstock, runner*

A. PENDAHULUAN

Kawasan Guci Kabupaten Tegal mempunyai topografi bergunung dan banyak mempunyai sungai berpotensi sumber energi yang sangat besar untuk pembangkit listrik bila direncanakan dengan matang dapat mengatasi krisis energi.

Salah satu potensi energi yang masih terus dikembangkan di daerah tersebut adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Pengembangan energi mikrohidro sangat relevan dilakukan mengingat potensi yang ada mempunyai debit kemarau diperkirakan $0,1\text{ m}^3/\text{s}$ dengan potensi ketinggian lebih dari 9 m .

Dalam pemenuhan kebutuhan listrik di daerah sekitar, hanya mengandalkan energi

listrik dari PLN, namun dari sulitnya medan/lapangan tidak semua daerah sekitar dapat dijangkau oleh instalasi listrik PLN.

Melihat potensi sumber energi yang ada yaitu PLTMH Guci dalam aplikasinya belum optimal, dimana daya listrik yang dihasilkan hanya mampu menghasilkan 2 kW saja, padahal bila dirancang atau direncanakan dengan matang dapat menghasilkan lebih dari 20 kW, hal inilah yang perlu dilakukan suatu optimasi rancangan sistem mikrohidro agar daya listrik yang dihasilkan dapat meningkat, adapun optimasinya adalah pada bagian pipa pesat (*penstock*) dan *runner* turbin.

B. MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui seberapa besar potensi air deras dari sungai Guci Kab.Tegal yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH dan melakukan perencanaan desain turbin untuk PLTMH yang sesuai dengan potensi air yang ada.

Sehingga dari hasil penelitian ini dapat diperoleh suatu rekomendasi untuk pembangunan PLTMH tersebut serta desain rancangan turbinnya.

C. DASAR TEORI

1. Menghitung Potensi Daya Mikrohidro

Potensi daya mikrohidro dapat dihitung dengan persamaan : daya (P) = $9.8 \times Q \times H \times \eta$;

Dimana : P = Daya (kW)
 Q = debit aliran (m^3/s)
 H = Head net (m)
 9.8 = konstanta gravitasi
 η = efisiensi keseluruhan

2. Kriteria Pemilihan Turbin

Tipe, bentuk geometri dan ukuran turbin tergantung pada ketersediaan *net head*, debit dan kecepatan putar serta biaya.

Head adalah kriteria pertama dalam pengambilan keputusan.

Untuk mikrohidro ber*head* rendah pilihan jenis turbin adalah turbin propeller atau Arus Silang. Selain head, kecepatan spesifik (n_s) adalah kriteria lain untuk pemilihan sebuah turbin yang beroperasi pada efisiensi optimumnya. Kecepatan spesifik (n_s) didefinisikan sebagai:

$$n_s = \frac{n \sqrt{P}}{h^{1.25}} \dots\dots\dots 2.4)$$

dimana; n = kecepatan putar turbin (rpm)

P = tenaga keluaran (kW)

h = beda ketinggian (m)

Rentang kecepatan tertentu untuk turbin-turbin yang berbeda adalah;

Tabel 1. Daerah Operasi Turbin⁶⁾

Tipe Turbin	h (beda tinggi permukaan air)(m)
Kaplan dan Propeller	2 – 40
Michell-Banki	3 – 250
Francis	10 – 350
Pelton	50 – 1300
Turgo	50 – 250

3. Konstruksi Bagian-Bagian Turbin

a. Sudut Sudu (*Blade angle*) β_1

Sudut Sudu bisa di tentukan, α_1 , C_1 dan U_1 dari seperti terlihat pada gambar 2.5.

Jika : $U_1 = \frac{1}{2} \cos \alpha_1$ Maka

$$\tan \beta_1 : 2 \tan \alpha_1$$

Dengan asumsi: $\alpha_1 = 16^\circ$

Maka: $\beta_1 = 29^\circ 50'$
 atau kurang lebih 30°

b. Radial rim width

Tebal S_1 (*jet intrance*) ditentukan oleh jarak sudu (*blade spacing*) t :

$$S_1 = t \sin \beta_1$$

Dengan asumsi $\beta_1 = 90^\circ$, maka jarak antara sudu bagian dalam (*inner exit blade spacing*) diketahui untuk setiap *rim width* (a)

D. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penyusunan penelitian ini penulis berusaha semaksimal mungkin untuk membahas dan menguraikan cara mengumpulkan data. Adapun metode – metode pengumpulan data yang diperlukan antara lain :

1. Observasi

Metode ini merupakan metode yang langsung dengan mengadakan pengamatan data melakukan survei dilapangan serta melihat jenis perlengkapan pada alat ukur pengujian.

Data yang diambil diantaranya:

- Debit air
- Ketinggian (head)
- Data perencanaan pipa pesat

2. Interview

Merupakan metode pengumpulan data dengan mengadakan secara langsung tanya jawab kepada orang-orang yang berada disekitar lokasi, meliputi pemilik lokasi, warga, dinas terkait serta orang yang ahli dalam bidang mikrohidro.

3. Dokumentasi

Yaitu mengumpulkan data-data penelitian meliputi foto-foto kegiatan, data pengukuran debit, head, topografi dan data-data lain yang dilakukan selama dalam penelitian.

4. Studi Pustaka

Metode yang digunakan untuk memperoleh informasi dan data sebagai bahan referensi dengan mempelajari buku – buku yang berhubungan dengan mikrohidro dan juga jurnal-jurnal hasil penelitian terdahulu.

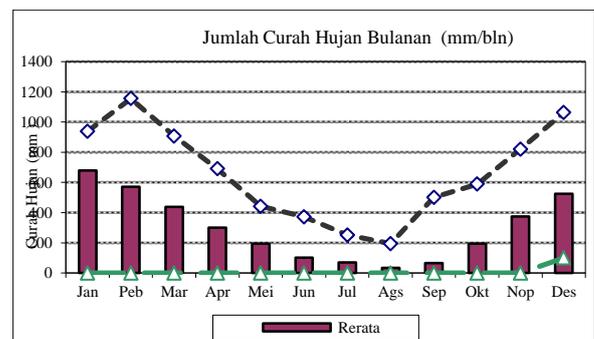
E. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Studi Potensi

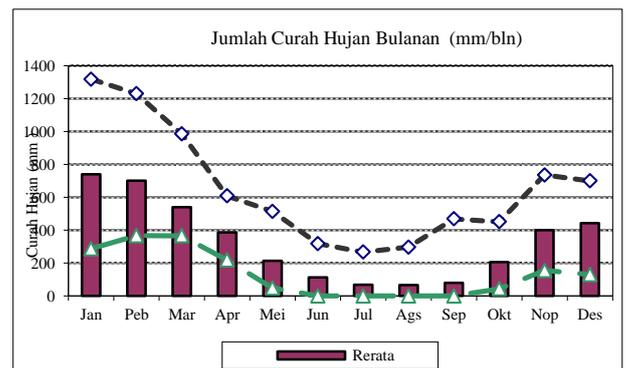
a. Potensi ketersediaan air/ kontinuitas

Ketersediaan air yang mencukupi untuk PLTMH merupakan syarat yang sangat penting untuk keberlangsungan proses pembangkit untuk dapat menghasilkan listrik. Aliran air yang selalu ada/ tidak terpengaruh musim, meskipun pada musim kemarau. Potensi ketersediaan air yang ada di sungai

Guci selalu mengalir dan pada batas yang mencukupi. Hal tersebut dilihat dari curah di daerah sekitar yaitu Bojong dan Bumijawa yang mencapai rata-rata 660 mm/bulannya.



Gambar 1 Grafik curah hujan daerah Bojong



Gambar 2. Grafik curah hujan daerah Bumijawa

b. Potensi Debit Aliran

Debit aliran sungai (Q) dapat diketahui dari data kecepatan aliran (V) dikalikan dengan luas area aliran sungai (A).



Gambar 3. Pengambilan kecepatan aliran sungai dengan kincir untuk data debit

Titik	(rpm)	V (m/mnt)	L (m)	T (m)	A (m ²)	Q (m ³ /s)	l/s
1	70	109,9	0,92	0,53	0,49	0,89	893,12
2	82	128,74	0,82	0,6	0,49	1,06	1055,67
3	78,7	123,56	0,68	0,78	0,53	1,09	1092,26
Rata2	76,9	125,44	0,81	0,64	0,48	1,01	1004,90

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan aliran menggunakan kincir roda adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Perhitungan debit aliran sungai

Data diatas berdasarkan perhitungan dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 Q &= A \cdot V \\
 &= A \cdot \pi d n \\
 &= 0,480 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 76,9 \\
 &= 1,005 \text{ m}^3/\text{s} = 1004,9 \text{ l/s}
 \end{aligned}$$

Jadi dari hasil pengukuran diatas diperoleh debit sungai 1,005m³/s atau 1004,9 l/s

c. Pengukuran Potensi Head

Dalam pengukuran ketinggian (*head*) pada PLTMH Guci ini menggunakan alat ukur GPS (*Global Position System*). Pengukuran dilakukan dengan cara membaca pada alat ukur dalam posisi ketinggian atas X₁, kemudian data ketinggian atas tersebut dikurangi data ketinggian bawah X₂ sebagai tempat untuk turbin (*power house*)

Dari pengukuran diperoleh ketinggian (*Head*) = 9,6 meter

d. Potensi Daya Terbangkit

Dari survey awal yang dilakukan yaitu melihat kondisi daerah aliran sungai Guci meliputi topografi, debit aliran dan head, maka dapat diperkirakan potensi daya yang dapat dibangkitkan untuk PLTMH adalah;

$$P = \rho Q g H \eta \text{ watt}$$

Dimana :

$$\rho = \text{Densitas air } 1000 \text{ kg/m}^3$$

Q = Debit Air 1,005 m³/dtk

g = grafitasi 9,8 m/dtk²

H = Head/ketinggian 9,6m

η = Efisiensi sistem 0,6

Maka didapat :

$$\begin{aligned}
 P &= 1000 \times 1,005 \times 9,8 \times 9,6 \times 0,6 \\
 &= 56700 \text{ watt} = 56,7 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Jadi potensi daya hidrolis yang dapat dibangkitkan adalah 56,7 kW.

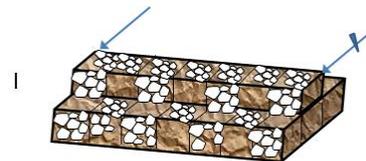
2. PERENCANAAN SISTEM

Dari hasil studi potensi dapat direncanakan system PLTMH Guci sebagai berikut:

a. Konstruksi sipil

1) Bendungan (*weir*)

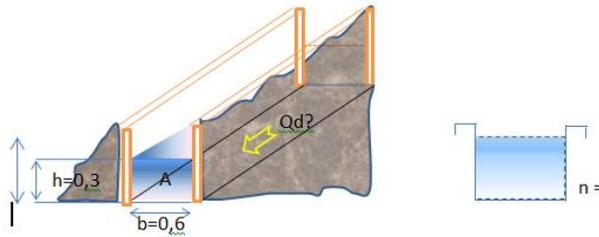
Bendungan yang dibuat adalah tipe batu bronjong, yaitu batu belah yang dibungkus dengan jaring logam untuk menyempurnakan kesatuannya. Batu-batuan diambil dari sekitar aliran sungai sehingga biaya pembuatan lebih murah dan efisien



Gambar 4.8 model bendungan tipe Bronjong

2) Saluran pembawa (*headrace*)

Saluran pembawa menyalurkan air dari intake/saluran pengambilan dari bendungan sampai ke bak penenang, atau tempat mulainya *penstock*. Saluran pembawa dirancang berupa saluran terbuka dengan bentuk dan ukuran seperti terlihat pada gambar berikut:



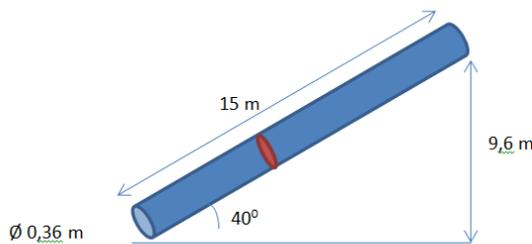
Gambar 4.9 Perencanaan saluran pembawa

3) Penenang (*forebay*)

Bak penenang berfungsi untuk menenangkan air agar aliran yang masuk kedalam pipa dapat maksimal, karena bila tidak tenangkan dulu dapat menimbulkan terjadinya *waterhammer* karena terbawanya udara masuk dalam pipa sehingga dapat daya turbin tidak maksimal.

4) Pipa pesat (*penstock*)

Adapun dalam penelitian ini dilakukan juga perhitungan untuk menentukan dimensi dan tekanan air dalam pipa, karena hasil perhitungan akan digunakan untuk menentukankan tipe dan dimensi turbin.



Gambar 4.10 Desain perencanaan pipa pesat

b. Mekanikal Elektrical

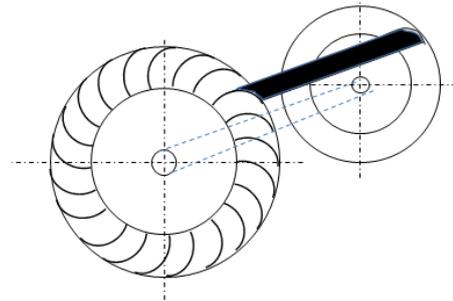
1) Pemilihan Jenis Turbin

Tipe, bentuk geometri dan ukuran turbin tergantung pada ketersediaan *net head*, debit dan kecepatan putar

serta biaya. *Head* adalah kriteria pertama dalam pengambilan keputusan. Dari referensi yang ada diperoleh data jenis turbin:

- Turbin *propeller open flume* untuk beda ketinggian rendah sampai dengan 6 meter
- Turbin arus silang (*crossflow*) untuk beda ketinggian 6 – 60 meter.

Disamping itu dari debit desain (Q_d) yang akan dimanfaatkan PLTMH ini diperoleh data $0,225 \text{ m}^3/\text{s}$, dimana batas dari penggunaan debit untuk turbin silang $0,001 - 0,820 \text{ m}^3/\text{s}$, maka diputuskan untuk perencanaan turbin menggunakan jenis/tipe turbin arus silang/*crossflow*.



Gambar 4.11 Desain turbin tipe *crossflow*

2) Perhitungan Dimensi Turbin

a) Lebar dan Diameter *Runner*

Untuk mencari lebar turbin ;

$$L = \frac{304,71}{D}$$

Dimana L dan D dalam satuan m.

Pemilihan lebar turbin akan berpengaruh terhadap putaran turbin diameter luar, lebar pancaran pada nosel jarak antar sudu turbin.

Dalam hal ini dipilih (lihat tabel pada lampiran 3)

$$D = 11.82 \text{ in} = 0.3 \text{ m}$$

Sehingga ;

$$L = \frac{304,71}{D} = \frac{304,71}{11.82} = 25.78 \text{ in} = 0.655 \text{ m}$$

b) Putaran turbin

$$N = \frac{862}{D_1} H^{\frac{1}{2}}$$

$$= \frac{862}{11.82} 31.496^{\frac{1}{2}}$$

$$= 409.2776 \text{ rpm}$$

c) Tebal pancaran (S_o)

$$S_o = \frac{A}{L} = \frac{0.01 \text{ m}^2}{0.655 \text{ m}}$$

$$= 0.015 \text{ m}$$

d) Jarak antar sudu (t)

$$S_l = kD_l = (0.087) (0.3)$$

$$= 0.0261 \text{ m}$$

$$\text{Maka } t = \frac{s_1}{\sin \beta}$$

$$= \frac{0.0261 \text{ m}}{0.5}$$

$$= 0.0522 \text{ m}$$

e) Jumlah sudu turbin

Setelah diketahui nilai diameter turbin serta jarak sudu maka jumlah sudu dapat diperhitungkan;

$$n = \frac{\pi D_1}{t} = \frac{3.14 \times 0.3}{0.0522} = 18.046$$

f) Lebar keliling radial

Lebar keliling radial diperhitungkan dengan:

$$a = 0.17 D_l = 0.17 \times 0.3 = 0.051 \text{ m}$$

g) Diameter dalam

Setelah mengetahui lebar keliling radial maka diameter dalam dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$D_i = D_o - (2a)$$

$$= 0.3 - (2 \times 0.051)$$

$$= 0.198 \text{ m}$$

h) Kelengkungan sudu

Kelengkungan sudu *runner* diperhitungkan dari r_l yaitu:

$$\rho = 0.326 \cdot r_l$$

$$\text{dimana ; } r_l = \frac{1}{2} \cdot D_o$$

$$\text{jadi ; } r_l = \frac{1}{2} \cdot 0.3 \text{ m}$$

$$= 0.15 \text{ m}$$

$$\rho = 0.326 \cdot 0.15 \text{ m}$$

$$= 0.0489 \text{ m}$$

Jadi jarak kelengkungan bilah *runner*

adalah 0.0489 m

sedangkan untuk r_2 adalah $\frac{1}{2}$ dari D_i

$$\text{sehingga } r_2 = \frac{1}{2} (0.198)$$

$$= 0.099 \text{ m}$$

jadi r_2 adalah 0.099 m

i) Jarak pancaran dari pusat poros

$$y_1 = (0.1986 - 0.945k) D_l$$

$$= (0.1986 - (0.945 \cdot 0.087)) 0.3$$

$$= 0.0349 \text{ m}$$

j) Jarak dari tepi dalam runner

$$y_2 = (0.1314 - 0.945k) D_l$$

$$= (0.1314 - (0.945 \times 0.087)) 0.3$$

$$= 0.01477 \text{ m}$$

k) Perhitungan sudu dan rotor

$$W_{st} = W_s \times \text{jumlah sudu}$$

$$= 63.7455 \cdot 10^{-2} \text{ kg} \times 18$$

$$= 11,47 \text{ kg}$$

Dan massa piringan (W_d) adalah

$$W_d = V_d \times \rho$$

$$= 2.355 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 7.8 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1.83 \text{ kg}$$

Maka massa *disc* total adalah ($W_{d \text{ tot}}$)

$$W_{d \text{ tot}} = W_d \times \text{jumlah disc}$$

$$= 1.83 \text{ kg} \times 3$$

$$= 5.49 \text{ kg}$$

Massa Turbin Total ($W_{T \text{ tot}}$)

$$W_{T \text{ tot}} = W_s \text{ tot} + W_d \text{ tot}$$

$$= 11.47 \text{ kg} + 5.49 \text{ kg}$$

$$= 16.96 \text{ kg}$$

l) Nozel

Luas penampang keluar nozel

$$A = \frac{Q}{C_m} = \frac{0.225 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{13.36 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.017 \text{ m}^2$$

Lebar penampang keluar nozel :

$$B = \frac{A}{b_o} = \frac{0.017 \text{ m}^2}{47.244 \text{ m}} = 0,0036 \text{ m}$$

F. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran, perhitungan dan analisa, penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Aliran sungai Guci mempunyai potensi yang besar untuk dikembangkan PLTMH, yaitu dengan debit $1,005\text{m}^3/\text{s}$, ketersediaan air yang selalu ada dengan curah hujan rata-rata $660\text{mm}/\text{bulan}$ dan memiliki potensi head $9,6\text{m}$.
2. Hasil perencanaan system PLTMH Guci:

- a. Konstruksi sipil, diantaranya: Bendungan dengan tipe bronjong, saluran tipe U dan penstock dengan pipa PVC $\varnothing 0,22\text{m}$
- b. Mekanikal Elektrikal, Tipe turbin yaitu arus silang dengan \varnothing runner $0,3\text{m}$ dan jumlah sudu 18 buah jari-jari runner $0,15\text{m}$.

DAFTAR PUSTAKA

- Anya D.P, 1997. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*, Wacana, No. 8, Mei-Juni.
- Agus S. *Karakteristik Turbin Cross Flow* melalui www.google.com atau [http://www.agussuwasono.com/artikel/mechanical/300-karakteristik-turbin-cross-flow.html?start=1\(03/01/2011\)](http://www.agussuwasono.com/artikel/mechanical/300-karakteristik-turbin-cross-flow.html?start=1(03/01/2011))
- Aji S. A, Supriyana N, Ayun, 2010 *Perencanaan Turbin Crossflow untuk PLTMH*. Tugas Akhir.
- Barglazan M. 2005. *About Design Optimization of Cross flow Hydraulic Turbines*. Scientific Bulletin of The Politehnica University of Timisoara. Romania.
- Dietzel F. 1996. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Edisi terjemahan. Jakarta Penerbit Erlangga.
- ESHA Part 2 2004. *Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant*. Belgium.
- Fox, Robert. W. & McDonald, Allan T, *Introduction to Fluid Mechanics*, John Willey & Sons, Singapore
- Hudan G A. *Studi Pembangunan PLTMH Sumberan Pacet Mojokerto*. ITS Surabaya.
- Sadrul I dkk, 2002. *Sistem Mikrohidro Berhead Rendah yang Tepat untuk Bangladesh*. ICECE 2002 26-28 Desember. Dhaka Bangladesh.
- Khurmi R.S. 1977. *A Text Book of Hydraulic Machines*. S Chand & Company Ltd. New Delhi.
- Mockmore, C. & Merryfield, Fred, *The Banki Water Turbine*, Journal [www.Banki Water Turbin.com](http://www.BankiWaterTurbine.com)
- MHP-1 2009. *Manual For Design Implementation and Management For Micro-Hydro Power*.
- JICASuhud M, 2002. *Mikrohidro Tanjung Lokang*. melalui www.google.com (03/01/2011)
- Shwara r. wordpress, *Metode Sederhana Pengukuran Potensi Mikrohidro* melalui www.google.com (03/01/2011)
- Sudargono, Karnoto, H Nugroho, 2005. *Studi Kelayakan Dan Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Dukuh Pekuluran Kec. Doro Kab. Pekalongan*, Rotasi, Vol. 7, Nomor 2.
- Patty, O.F. 1995. *Mesin Tenaga Air*, Jakarta .Penerbit Erlangga.
- Paryatmo W. 2005. *Turbin Air*, Jakarta. UPP.