



Rancang Bangun PLTMH Menggunakan Turbin *Cross-Flow* berkapasitas 1 Kw untuk Daerah Terpencil dengan Sumber Air yang Terbatas

Joke Pratilastiarso, Mohamad Hamka

Program Studi Sistem Pembangkit Energi, Departemen Teknik Mekanika dan Energi,
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS, Sukolilo Surabaya 60111 Indonesia

E-mail: joke@pens.ac.id, hamka@pg.student.pens.ac.id

Abstract

Electricity crisis that occurred encourages the implementation of renewable energy in a way to occupy the electricity supply needs. Implementation of the MHP (Micro Hydro Powerplant) is the best alternative to escape the electricity crisis. Given the potential of hydropower spread almost throughout Indonesia, the power is estimated at 75000 MW, 500 MW which is the potential for micro hydro power plant (MHP). Unfortunately, the potential of micro hydro is only 500 MW, is used only 4% of its course is 20 MW. Another problem is how to build a micro-hydro power plants in areas with limited water supply source. At this research project a micro hydro power plant has designed using cross-flow turbines that can be installed according to the conditions above, as the efforts of using renewable energy to occupy the electricity supply needs. The design of the turbine is later evaluated to obtain optimal value of the calculation. Cross-flow turbines are designed at 13 m and the discharge head is $0.03 \text{ m}^3 / \text{s}$. According to the design the maximum speed is 412.63 rpm, the maximum speed is expected to be produced not far adrift from the design. Maximum power turbine which is expected to reach the amount of 1 kW with an efficiency of 80%.

Keywords: *renewable energy, cross-flow turbine.*

Pendahuluan

Listrik adalah sumber daya yang paling banyak digunakan karena memiliki banyak fungsi, antara lain dalam menunjang kehidupan manusia, listrik digunakan sebagai alat-alat elektronik dan alat lain yang membutuhkan listrik. Listrik menopang kelangsungan di berbagai bidang, dalam bidang industri, bidang pendidikan, bidang kedokteran dan lain sebagainya. Dengan demikian, listrik menempatkan diri pada posisi pertama sebagai kebutuhan primer bangsa. Namun hal ini berbanding terbalik dengan terbatasnya bahan bakar yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik, karena pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil masih sangat diandalkan. Ketersediaan energi fosil belakangan ini semakin menurun, sehingga harga bahan bakar fosil cenderung naik. Kenaikan harga energi fosil mempengaruhi harga energi listrik, karena sebagian besar pembangkit listrik yang ada di Indonesia menggunakan energi fosil. Agar energi listrik tidak semakin mahal, maka perlu dilakukan upaya lain untuk mengatasinya. Hal ini membuat banyak negara termasuk Indonesia mencari cara dalam pemanfaatan energi untuk menambah pasokan listrik guna memenuhi kebutuhan di berbagai bidang dan aspek kehidupan. Salah satu cara yang sudah dilakukan adalah pemakaian energi air sebagai penggerak turbin.

Pemanfaatan sungai selama ini digunakan untuk kebutuhan irigasi, perikanan dan kebutuhan air bak. Padahal potensi tenaga air yang tersebar hampir diseluruh Indonesia diperkirakan mencapai 75000 MW, 500 MW diantaranya adalah potensi untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Potensi mikrohidro yang mencapai 500 MW, baru dimanfaatkan hanya 4% saja yaitu 20 MW. Permasalahan yang lain adalah bagaimana membangun pembangkit listrik tenaga mikrohidro di daerah yang memiliki persediaan sumber air yang terbatas. Pada Penelitian ini telah dirancang sebuah pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan menggunakan turbin *cross-flow* yang dapat dipasang sebagaimana kondisi diatas sebagai upaya pemanfaatan energi terbarukan untuk memenuhi pasokan listrik Negara.

Pemakaian jenis turbin *cross flow* lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin mikrohidro lain. Salah satu contohnya adalah daya guna atau efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi dari pada daya guna kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin Ossberger Jerman Barat yang menyimpulkan bahwa daya guna kincir air jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70% sedangkan efisiensi turbin *cross flow* mencapai 82% (Haimmerl, L.A, 1960). Tingginya efisiensi turbin *cross flow* ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan runner. Kerja air





yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitas yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem keluaran air dari runner.

Metode Penelitian

Turbin cross-flow terdiri dari dua bagian utama, nosel dan roda turbin. Roda turbin terbuat dari dua piringan lingkaran yang disatukan pada rim oleh sudu-sudu. Nosel yang mempunyai penampang persegi panjang, memancarkan air masuk memenuhi seluruh lebar turbin dengan sudut absolut 160. Air membentur sudu mengalir melalui sudu, dan meninggalkan sudu melalui suatu ruangan kosong antara rim sebelah dalam lalu masuk kembali ke rim di sisi yang lain kemudian akhirnya keluar. Perancangan atau perhitungan parameter-parameter turbin *cross-flow* menggunakan persamaan-persamaan yang digunakan Mockmore.

1. Diameter dan Lebar Runner dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut :

$$L = 210.6 Q / D1 H^{1/2} \quad (1)$$

Dengan :

L : Lebar Runner

D : Diameter Runner

H : Tinggi Jatuh air

2. Putaran Turbin air :

$$N_t = \frac{962 \times H^{3/2}}{D1} \quad (2)$$

3. Jarak Antar Sudu

Untuk menentukan jarak antar sudu dapat diketahui menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$t = \frac{k \times D1}{\sin \beta 1} \quad (3)$$

Dengan :

t : Jarak antar sudu

$\beta 1$: Sudut sudu = $29^{\circ} 50'$ atau kurang lebih 30°

S1 : Penerima pancaran

k : koefisien kecepatan

4. Jumlah Sudu

Jumlah sudu yang tepat adalah sudu yang memiliki bentuk setipis dan semulus mungkin.

Persamaan untuk memperoleh jumlah sudu adalah sebagai berikut :

$$N = \frac{\pi \times D1}{t} \quad (4)$$

Dimana :

N : Jumlah sudu

D1 : Diameter luar *runner*

5. Lebar keliling Radial

Untuk menentukan lebar keliling radial dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha = 0.17 \times D1 \quad (5)$$

Dimana :

α : Lebar keliling radial

D1 : Diameter luar *runner*

6. Kelengkungan Sudu

Untuk mengetahui kelengkungan sudu dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$\rho = 0.326 \times r1 \quad (6)$$

Dimana :

ρ : Kelengkungan sudu *runner*

r1 : Jari-jari *runner*

7. Jarak Pancaran dari Pusat Poros

Untuk mengetahui jarak pancaran dari pusat poros dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$y1 = (0.1986 - 0.945 k) D1 \quad (7)$$

Dimana:

y1 : Jarak pancar dari pusat poros

k : Koefisien kecepatan = 0.087

D1 : Diameter Luar *runner*

8. Jarak pancaran dari tepi dalam *Runner*

Untuk mengetahui jarak pancar dari tepi dalam *runner* dapat menggunakan persamaan dibawah ini :

$$y2 = (0.1314 - 0.945 k) D1 \quad (8)$$



Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini tinggi jatuh air yang direncanakan adalah 10 meter dengan kapasitas aliran air maksimal 0.03 m³/s. Perancangan atau perhitungan parameter-parameter turbin *cross-flow* menggunakan persamaan-persamaan yang digunakan Mockmore.

1. Diameter Luar Turbin (D1) dan Lebar Sudu Turbin

$$L \times D = \frac{2.627 \cdot Q}{\sqrt{H}}$$
$$L \times D = \frac{2.627 \cdot 0.03}{\sqrt{10}}$$
$$L \times D = 0.024 \text{ m}^2$$

Tabel 1. Perbandingan diameter dan lebar sudu turbin

No.	Diameter Luar (m)	Lebar Sudu Turbin (m)
1	0.3	0.08
2	0.25	0.08
3	0.2	0.11
4	0.15	0.14

Desain lebar sudu dan diameter turbin pada perancangan penelitian ini dipilih:

lebar sudu turbin (L) = 0.08 m = 8 cm

diameter turbin luar (D₁) = 0.3 m = 30 cm

diameter turbin dalam (D₂) = $\frac{2}{3} D_1$
= $\frac{2}{3} (30) = 20$ cm

2. Menentukan kecepatan max runner turbin

$$N = \left(\frac{39.81}{D_1} \right) \sqrt{H}$$
$$N = \left(\frac{39.81}{0.3} \right) \sqrt{10} = 419.63 \text{ rpm}$$

3. Menentukan jarak antara sudu turbin

Ketebalan sudu (S₁)

$$S_1 = k D_1 = 0.087 \times 0.302$$

$$S_1 = 0.0713 \text{ ft} = 2.174 \text{ cm}$$

Jarak antara sudu (t)

$$t = \frac{S_1}{\sin \beta} = \frac{0.0713}{\sin 30} = 0.1426 \text{ ft} = 4.346 \text{ cm}$$

4. Menentukan ketebalan semburan / lebar nozzle

$$S = 0.22 \frac{Q}{L \sqrt{H}}$$
$$S = 0.22 \frac{0.0137}{0.03925 \sqrt{10}} = 0.024 \text{ m} = 2.4 \text{ cm}$$

5. Menentukan jari-jari kelengkungan sudu

$$\rho = 0.163 \times D_1$$

$$\rho = 0.163 \times 0.3 = 0.0489 \text{ m} = 4.89 \text{ cm}$$

6. Menentukan jumlah sudu turbin

$$n = \frac{\pi D_1}{t}$$
$$n = \frac{3.14 \times 30}{4.346} = 21.6 = 21 \text{ buah}$$

7. Menentukan lebar keliling radial

Untuk menentukan lebar keliling radial dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha = 0.17 D_1$$

$$\alpha = 0.17 \times 11.81 = 2.0077 \text{ inch} = 5.099 \text{ cm}$$

8. Menentukan jarak pancaran dari pusat poros

Untuk mengetahui jarak pancaran dari pusat poros dapat menggunakan rumus dibawah ini :

Dengan $k = 0.087$ dan $D1 = 11.81$ inch

$$y1 = (0.1986 - 0.945 k) D1$$

$$y1 = (0.1986 - 0.945 \times 0.087) 11.81 = 1.374 \text{ inch} = 3.489 \text{ cm}$$

9. Menentukan jarak pancaran dari tepi dalam Runeer

Untuk mengetahui jarak pancar dari tepi dalam runner dapat menggunakan rumus dibawah ini:

Dengan $k = 0.087$ dan $D1 = 11.81$ inci

$$y2 = (0.1314 - 0.945 k) D1$$

$$y2 = (0.1314 - 0.945 \times 0.087) 11.81 = 0.5809 \text{ inch} = 1.475 \text{ cm}$$

10. Daya Hidrolis

$$Ph = Q \cdot g \cdot H \cdot \eta_t$$

$$Ph = 0.03 \cdot 9.81 \cdot 10 \cdot 0.8$$

$$Ph = 2.35 \text{ kW}$$

11. Menentukan desain transmisi mekanik

Pada penelitian ini desain transmisi mekanik menggunakan sitem transmisi tidak langsung karena daya yang dihasilkan dibawah 20 kW, yaitu 1 kW dan putaran turbin lebih kecil atau berbeda dengan putaran generator, maka poros turbin dan generator menggunakan sisitem transmisi sabuk dengan bantuan komponen pendukung seperti pulley

Pada sistem transmisi ini menggunakan *V-belt* dengan komponen pendukung lainnya seperti *pulley* dan juga bantalan. Alasan mengapa tidak menggunakan selain transmisi *V-belt* adalah sebagai berikut:

1. Transmisi langsung digunakan saat putaran turbin harus sama atau hampir sama dengan putaran generator.
2. Transmisi *flat belt* digunakan pada sistem transmisi daya besar.
3. Transmisi *gearbox* harganya mahal, spesifikasinya sulit, alignmen dan perawatannya sulit

Pada sistem transmisi puli (*pulley*) dan sabuk (*belt*) berlaku persamaan sebagai berikut :

$$\frac{n1}{n2} = \frac{r2}{r1}$$

Dimana: Putaran Turbin Air, $n_1 = 412.63$ (rpm)

Putaran Generator, $n_2 = 1500$ (rpm)

Jari-jari Puli Turbin Air, $r_1 = 0.2$ (m)

Jari-jari Puli Generator, $r_2 = ?$

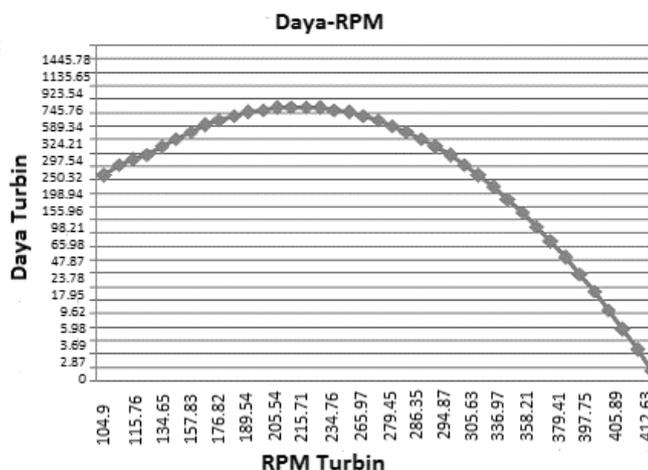
$$\frac{412.63}{1500} = \frac{r2}{0.2} \text{ Sehingga } r_2 = 0.05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

Tabel 2. Tabel Hasil Perancangan

No.	Parameter	Nilai
1	Diameter penstock (cm)	4
2	Diameter luar turbin (cm)	30
3	Diameter turbin dalam runner turbin (cm)	20
4	Lebar sudu turbin (cm)	8
5	Kecepatan max runner turbin (rpm)	419.63
6	Ketebalan sudu (cm)	2.174
7	Jarak antar sudu turbin	4.346
8	Ketebalan semburan/lebar <i>nozzle</i> (cm)	2.129
9	Jari-jari kelengkungan sudu (cm)	4.89
10	Jumlah sudu turbin	21
11	Lebar keliling radial (cm)	5.099
12	Jarak pancaran dari pusat poros (cm)	3.489
13	Jarak pancaran dari tepi dalam runner (cm)	1.475
14	Jari-jari puli generator (cm)	3
15	Daya Hidrolis (kW)	2.35

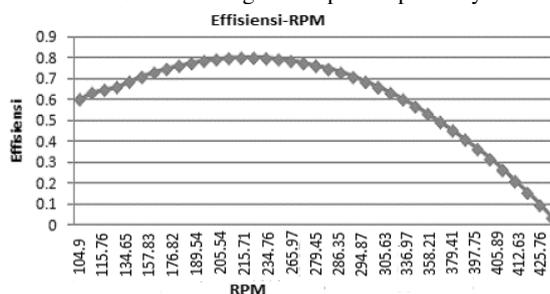
Grafik pengujian merupakan suatu proses evaluasi akhir dari data pengujian mesin yang menunjukkan suatu tingkat perbandingan antara data hasil pengujian mesin sehingga dapat mengetahui performa kinerja turbin dalam berbagai kondisi. Pada penelitian ini evaluasi turbin dilakukan dengan variasi nilai kecepatan. Perubahan nilai kecepatan dimungkinkan terjadi karena debit yang tidak konstan.

Kecepatan maksimal turbin yang dirancang adalah 419.63 rpm. Prosentase range variasi kecepatan adalah 25% hingga % maksimum. Berikut adalah beberap grafik yang diperoleh dari pengujian:



Gambar 1. Grafik Hubungan Daya-RPM

Semakin besar nilai kecepatannya maka daya output turbin akan semakin besar pula, namun jika sudah mencapai nilai optimalnya daya turbin akan semakin menurun seiring bertambah besar nilai kecepatannya. Dari hasil evaluasi, didapatkan bahwa daya output maksimal generator adalah 0.923 kW dengan kecepatan optimalnya 215.71 RPM



Gambar 2. Grafik Hubungan Effisiensi-RPM

Effisiensi maksimum 80% saat kecepatan 215.71 rpm dengan daya output maksimal generator 0.923 kW. Sama halnya grafik Daya-RPM, grafik Effisiensi-RPM juga memiliki nilai optimalnya. Semakin besar nilai kecepatannya maka nilai effisiensi akan semakin besar pula, namun jika sudah mencapai nilai kecepatan optimalnya maka nilai effisiensi akan semakin menurun seiring meningkatnya nilai kecepatannya.

Kesimpulan

1. Semakin tinggi kecepatan runner turbin maka daya output turbin akan semakin besar namun ketika telah mencapai titik optimalnya, daya yang dihasilkan akan semakin menurun seiring meningkatnya kecepatan. Hal ini dikarenakan ketika putaran turbin sangat tinggi, maka transfer momentum antara air dan turbin sangat kecil sehingga gaya yang dihasilkan pun akan semakin kecil. Karena gaya berhubungan dengan daya, maka nilainya pun akan semakin bertambah menurun.
2. Pada evaluasi hasil rancang bangun turbin *cross-flow* ini didapat nilai daya maksimal output generator adalah 0.923 kW dengan kecepatan optimal 215.71 rpm
3. Daya listrik secara teoritis yang dibangkitkan adalah sebagai berikut:

$$P_h = Q \cdot g \cdot H \cdot \eta_t$$

$$P_h = 0.03 \cdot 9.81 \cdot 10 \cdot 0.8$$

$$P_h = 2.35 \text{ kW}$$

Apabila diasumsikan: Effisiensi pipa pesat $\eta_p = 0.85$; Effisiensi turbin $\eta_t = 0.65$; Effisiensi generator $\eta_g = 0.8$

Maka daya listrik yang akan dibangkitkan dihitung dengan persamaan:

$$P = P_h \cdot \eta_p \cdot \eta_t \cdot \eta_g$$

$$P = 2.35 \text{ kW} \times 0.85 \times 0.65 \times 0.8$$

$$P = 1.03 \text{ kW}$$

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kami ucapkan kepada Kepala Program Studi Sistem Pembangkitan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya atas bantuannya baik dari segi bimbingan maupun dari segi pendanaan penelitian ini yang nantinya



hasil rancang bangun PLTMH ini akan dipergunakan sebagai modul praktikum jurusan atau diproduksi massal yang akan dipasang di daerah terpencil dengan sumber air terbatas.

Daftar Notasi

Q = debit [m^3/s]

N = kecepatan turbin[rpm]

Ph = Daya hidrolis[kW]

Daftar Pustaka

- Breslin, W.R. "Small (Michell) Banki Turbine : A Construction Manual", Amerika Serikat, 1979.
- Mockmore, C.A dan Fred Merryfield, "The Banki Water Turbine", Oregon State College, Bulletin Series, No.25,1949.
- Miroslav Nechleba,Dr.Techn,M.E, "Hidraulic Turbines Their Design and Equipment",Czechoslovakia,1957
- Pratilastiarso,Joke dan Fifi Hesty Sholihah. 2012. *Evaluasi Teoritis Unjuk Kerja Turbin Cross-flow*. Surabaya: Program Studi Sistem Pembangkitan Energi Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
- Ramdhani, A.S.D. 2008. *Studi Perencanaan PLTMH 1x12 kW sebagai Desa Mandiri Energi di Desa Karangsewu, Cisewu, Garut, Jawa Barat*. Surabaya: Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh November.
- Rizal Firmasnyah, Teguh Utomo, Hery Purnomo. 2011. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Gunung Sawur unit 3 Lumajang*. Malang: Teknik Elektro Universitas Brawijaya
- Susatyo, Anjar. 2003. *Pengembangan Turbin Air Type Cross-flow Diameter Runner 400 mm*. Bandung : Pusat Penelitian Tenaga Listrik Dan Mekatronik Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Didi Dwi Anggoro (UNDIP Semarang)

Notulen : Handrian (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : I Nyoman Widiassa (UNDIP Semarang)
Pertanyaan : 1 Jika terjadi musim kemarau, langkah antisipasi peneliti apa?
2 Jika ingin scale up, mesin dipderbesar atau mesin ditambah?
Jawaban : 1 Menghidupkan pompa air untuk mensirkulasikan air dari bak penampung untuk disemburkan ke turbin cros-flow
2 Mesin diperbesar dengan mengganti kapasitas generator.
2. Penanya : Imana Asuantara (UPN Veteran Yogyakarta)
Pertanyaan : Mengapa semakin besar rpm maka semakin kecil dayanya?
Jawaban : Karena dayanya rpm tinggi, maka transfer momentum air pada turbin akan semakin menurun. Sehingga gaya yang dihasilkan air juga semakin menurun. Gaya dorong turbin juga berpengaruh pada daya turbin, sehingga semakin besar rpm turbin, maka daya turbin juga semakin besar, namun memiliki titik optimalnya setelah mencapai titik optimalnya maka daya turbin akan semakin menurun

