

Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Serbajadi Kabupaten Aceh Timur

Subhan¹, T. Azuar Rizal² dan Syamsul Bahri Widodo³

1) Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Kota Langsa

2, 3) Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Kota Langsa

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim 10 Oktober 2014

Direvisi dari 20 Oktober 2014

Diterima 30 Oktober 2014

Kata Kunci:

PLTMH,

Perencanaan,

Turbin Crossflow,

Turbin Kaplan,

Serbajadi,

Aceh Timur.

ABSTRAK

Provinsi Aceh memiliki 23 kabupaten/kota dengan 6453 desa. Hasil survei desa yang dilakukan pada tahun 2008, diperoleh ada 195 desa dalam 15 kabupaten/kota belum memperoleh energi listrik dari PLN. Hasil survei yang dilakukan pada Juli 2009, diperoleh bahwa desa Serbajadi adalah salah satu desa dalam lingkungan Kecamatan Serbajadi Kabupaten Aceh Timur memiliki sumber energi air yang layak untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Hasil pengukuran diperoleh debit air tersedia sebesar 2,15 m³/s dan tinggi jatuh air sebesar 36 m, dengan efisiensi menyeluruh 67%, diperoleh daya air tersedia sebesar 508 kW. Dalam tulisan ini akan diberikan hasil perencanaan PLTMH Serbajadi, dengan menerapkan dua alternatif. Alternatif pertama, pembuatan dam untuk pemasangan satu unit turbin Kaplan dengan daya 350 kW. Alternatif kedua, tanpa dam untuk pemasangan satu unit turbin crossflow daya 40 kW. Dari hasil perencanaan dipilih turbin crossflow tanpa pembangunan dam yang mampu menjaga kerusakan lingkungan sungai. Tulisan ini juga memberikan gambaran hasil perhitungan biaya pembangunan PLTMH turbin crossflow dan metode pembuatan turbin dengan memanfaatkan potensi perbengkelan di Kabupaten Aceh Timur.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. PENDAHULUAN

Keterbatasan akses ke energi komersial telah menyebabkan pemakaian energi per kapita Indonesia masih rendah dibandingkan dengan negara lainnya. Konsumsi per kapita pada saat ini sekitar 3 Setara Barel Minyak (SBM) yang setara dengan kurang lebih sepertiga konsumsi per kapita rerata negara ASEAN. Dua pertiga dari total kebutuhan energi nasional berasal dari energi komersial dan sisanya berasal dari biomassa yang digunakan secara tradisional (non-komersial). Sekitar separuh dari keseluruhan rumah tangga belum terjangkau dengan sistem elektrifikasi nasional.

Data dari dokumen *Human Development Index (HDI)* tahun 2005 menyebutkan bahwa konsumsi tenaga listrik di Indonesia masih 463 kWh/kapita. Angka ini masih di

bawah negara tetangga kita Malaysia (3.234 kWh/kapita), Thailand (1.860 kWh/kapita), Filipina (610 kWh/kapita), dan Singapura (7.961 kWh/kapita). Sedangkan konsumsi tenaga listrik/orang di Provinsi NAD hanya 243 kWh/kapita.

Data dari PT. PLN Wilayah Provinsi NAD tahun 2007 beban puncak Provinsi NAD sebesar 248 MW, yang disalurkan dari sistem Transmisi 150 kV Sumut-Aceh sebesar 162 MW (65,32%), PLTD *Isolated* sebesar 86 MW (34,68%). Dengan sistem distribusi saat ini, telah mampu melayani 6258 desa dari 6453 desa yang ada di Provinsi Aceh dengan rasio desa berlistrik sebesar 96,98%. Berdasarkan data tersebut terlihat ada 195 desa yang belum mampu menikmati layanan listrik PT. PLN, yang sebagai besar desa-desa tersebut adalah desa terpencil dan sulit terjangkau jaringan listrik PLN. Penyediaan energi listrik

untuk desa-desa tersebut dapat dilakukan dengan mengembangkan pembangkit energi listrik alternatif dengan memanfaatkan sumberdaya energi yang bersih dan berwawasan lingkungan yaitu energi baru dan terbarukan [1].

Survei potensi energi dalam studi ini dilakukan terhadap 15 kabupaten/kota. Proses pengumpulan data dilakukan berjenjang mulai tingkat kabupaten/kota, kecamatan sampai tingkat desa dengan asumsi kemungkinan terjadi perubahan jumlah desa belum terlistriki berdasarkan temuan lapangan. Hasil pengumpulan data menghasilkan jumlah desa belum berlistrik sebanyak 195 desa yang terdistribusi dalam 15 kabupaten/kota sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah desa belum berlistrik dan rasio desa berlistrik di Provinsi NAD

No	Kabupaten/Kota	Jumlah Desa	Jumlah Desa tidak terlistriki	Rasio Desa berlistrik
1	Aceh Besar	604	4	99.34
2	Bireuen	576	2	99.65
3	Bener Meriah	232	25	89.22
4	Aceh Tengah	268	11	95.90
5	Gayo Lues	144	19	86.81
6	Aceh Tenggara	378	16	95.77
7	Aceh Timur	172	24	86.05
8	Aceh Barat	321	16	95.02
9	Nagan Raya	224	13	94.20
10	Aceh Selatan	247	7	97.17
11	Subulussalam	74	10	86.49
12	Aceh Singkil	189	9	95.24
13	Aceh Utara	852	8	99.06
14	Aceh Timur	512	7	98.63
15	Simeulue	138	24	82.61
Total			195	-

Sumber: Hasil Studi (diolah) [2]

Dari 195 desa yang belum terlistriki (dalam 15 kabupaten/kota), setelah dilakukan pengolahan data besaran energi yang dapat dibangkitkan, didapatkan sebanyak 22 desa (dalam 9 kabupaten/kota) yang mempunyai potensi energi air yang layak dikembangkan untuk pembangunan PLTMH. Kelayakan ekonomi pembangunan pembangkit listrik dalam studi ini ditentukan berdasarkan nilai BCR (benefit cost ratio), IRR (internal rate of return) dan NPV (net present value). Diperoleh bahwa dari 22 desa yang mempunyai potensi energi air

yang layak dikembangkan, terdapat 20 desa yang layak secara ekonomi untuk dikembangkan dibangun PLTMH yang tersebar di 8 kabupaten/kota. Salah satu desa yang memiliki potensi yang cukup baik adalah Desa Serbajadi Kecamatan Tunom Kabupaten Aceh Timur.

Desa Serbajadi memiliki penduduk sebanyak 120 KK dengan jumlah penduduk terdiri dari 239 laki-laki dan 253 perempuan. Mata pencaharian utama penduduk adalah pertanian sawit dan karet dan nilam. Guna peningkatan kegiatan ekonomi masyarakat desa, PEMDA Provinsi Aceh telah melakukan studi ketersediaan potensi sumber energi alternatif didesa tersebut, dan diperoleh ketersediaan potensi energi yang cukup baik yaitu adanya sumber daya energi air dari sumber air terjun terletak ± 1.5 km dari desa. Dari hasil pengukuran diperoleh kapasitas air tersedia adalah air tersedia sebesar $2,15 \text{ m}^3/\text{s}$ dan tinggi jatuh air 36 m [2]. Tulisan ini akan memberikan hasil perancangan PLTMH untuk penyediaan energi listrik di desa Serbajadi, yang dilakukan dalam dua pilihan. Pertama menggunakan turbin Kaplan dengan membangun dam, kedua menggunakan turbin crossflow tanpa membangun dam.

2. METODE PERANCANGAN

Dalam perancangan ini diajukan dua pilihan yaitu:

1. Membangun satu unit PLTMH menggunakan turbin Kaplan dengan daya total 350 kW. Pemilihan ini diajukan dengan dasar bahwa desa Serbajadi adalah pusat kemukiman yang membawahi 4 desa lainnya. Total jumlah KK atau rumah untuk kemukiman ini adalah 582 KK. Dengan membangun satu unit PLTMH diharapkan akan mampu menyediakan energi listrik seluruh desa dalam kemukiman tersebut.
2. Membangun satu unit PLTMH menggunakan turbin *cross flow* dengan daya total 40 kW. Penggunaan turbin *cross flow* dapat dilakukan dengan memanfaatkan sumber energi air pada aliran air sungai tanpa membutuhkan dam.

3.3. HASIL PERANCANGAN

3.1. Turbin Kaplan

Turbin Kaplan adalah turbin aliran aksial, dimana air masuk sudu gear turbin dalam arah radial, dan kemudian masuk sudu gerak turbin (runner) arah aksial. Berdasarkan

pada head (H) sebesar 36 m dan kapasitas aliran air (Q) sebesar 2,15 m³/s dan dengan mengambil efisiensi keseluruhan sebesar 67%, maka daya yang dapat dibangkitkan turbin adalah :

Daya terbangkit

$$\begin{aligned}(P) &= \eta_o . H . Q . g . \rho \\ &= 0,67 . 36 . (2,15) . 9,81 . 1000 \\ &= 508.208 \text{ watt} \\ &= 508 \text{ kW}\end{aligned}$$

Daya yang mampu dibangkitkan adalah daya pada kapasitas maksimum yang tersedia pada sumber energi. Untuk perancangan ini akan dilakukan dengan memanfaatkan kapasitas air sebesar 1,5 m³/s dan head sebesar 36 m. Dengan data tersebut, dari grafik desain [3] diperoleh kecepatan spesifik sebesar 90, dan dipilih putaran turbin sebesar 800 rpm. Keseluruhan hasil perancangan sebagaimana diberikan dalam tabel 2. adalah :

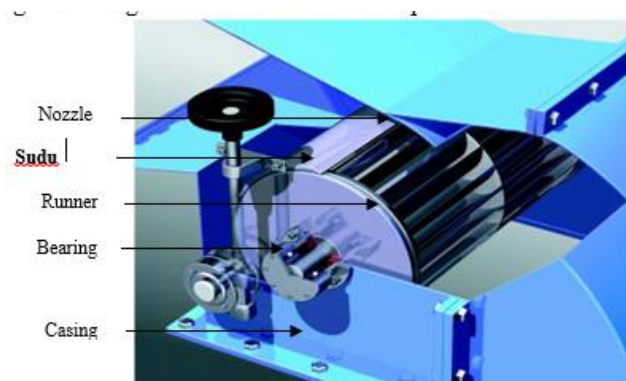
Tabel 2. Hasil perancangan turbin Kaplan

Daya Turbin			
Kapasitas Aliran	Q	1.5	[m ³ /s]
Head Kotor	H	36	[m]
Efisiensi hidrolis	η_h	0.67	[-]
Densitas Air	ρ	1000	[kg/m ³]
acceleration of gravity	g	9.81	[m/s ²]
Daya Turbin	P	354,926	[W]
Kecepatan Spesifik Turbin			
Head Bersih = (H x η_h)	Hn	24.12	[m]
Putaran turbin RPM	n	800	[min ⁻¹]
Kecepatan spesifik (in min ⁻¹)	nq	90.02282532	[-]
Diameter Runner			
Diameter Runner	De	0.634750347	[m]
Diameter Hub	Di	0.381702461	[m]
Kapitasi			
Panjang Draft Tube	L	0.6	[m]
Sudut	x	7	[°]
Kecepatan Keluar	c4	3.122380964	[m/s]
Koefisien Kapitasi	σ	0.24674787	[-]

maximum allowed suction head	Hs(max)	4.577669869	[m]
------------------------------	----------	-------------	-----

3.2. Turbin Cross Flow

Turbin *crossflow* atau Banki-Mitchell turbin (Gambar 1), atau sering disebut juga turbin Ossberger adalah jenis turbin air yang dikembangkan oleh Anthony Michelle yang berkebangsaan Australia, Donat Banki yang berkebangsaan Australia, dan Fritz Ossberger yang berkebangsaan Jerman. Turbin ini di patenkan tahun 1922.



Sumber : Adam Harway [4]

Gambar 1. Turbin Crossflow

Turbin *Crossflow* adalah salah satu pembangkit tenaga dengan poros horizontal yang dilengkapi dengan sudu-sudu lengkung dari plat baja. Sudu-sudu tersebut diapit oleh dua piringan sudu sehingga membentuk silinder. Turbin *crossflow* terdiri atas empat bagian utama, yaitu *nosel*, *runner*, *guide vane* dan *casing* (rumah turbin). Air dialirkan masuk turbin melalui pipa pesat berpenampang bulat. Pada ujung pipa pesat, yaitu sebelum masuk ke turbin, dipasang adaptor, tempat perubahan penampang lingkaran menjadi persegi, menjelang masuk rumah turbin. Dari adaptor air masuk ke nosel. Nosel berpenampang persegi dan mengeluarkan pancaran air selebar runner. Aliran air melalui sudu-sudu sebanyak dua kali, pertama pada bagian atas dan kedua pada bagian bawah. Aliran air yang meninggalkan sudu dalam arah yang berlawanan dengan putaran sehingga konfigurasi ini dapat membersihkan sendiri kotoran yang terbawa masuk ke rotor.

Turbin aliran melintang memiliki bentuk sudu-sudu yang melengkung. Kelengkungan ini berfungsi untuk menangkap pancaran air dari nosel secara lebih baik sehingga akan memberikan putaran rotor yang optimal. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan

sudu-sudu turbin aliran melintang antara lain kelengkungan sudu, jarak dan jumlah sudu dalam *runner*.

Berdasarkan ketersediaan sumber air di Serbajadi, dan tanpa mengganggu sumber air terjun yang ada, maka dipilih kapasitas aliran air sebesar $0.55 \text{ m}^3/\text{s}$, dan head sebesar 10 m. Dengan diambil efisiensi keseluruhan 92%, maka daya terbangkit adalah :

Daya terbangkit

$$(P) = \eta_o . H . Q . g . \rho$$

$$= 0,92 . 10 . (0,55) . 9,81 . 1000$$

$$= 49.588 \text{ watt}$$

$$= 49,5 \text{ kW}$$

Berdasarkan jumlah KK yang ada di desa Serbajadi dan jarak transmisi, maka daya bersih yang mampu dihasilkan adalah 40 kW. Sedangkan hasil akhir dari

perancangan turbin cross flow diberikan dalam Tabel. 3 dan 4.

Table 4: Parameter parameter pendukung turbin cross flow

Blade radius	= $0.326 \cdot D_1 / 2 = 52.8 \text{ mm}$	Area of the Jet = $Q / C_1 = 0.039 \text{ m}^2$
Jet Thickness, S_o	= $A / L = 64.4 \text{ mm}$	Number of blades, $n = (\pi \cdot D_1) / (t + S_o) = 15$
Nozzle radius	= $2 \cdot D_1 = 0.648 \text{ m}$,	t = Thickness of blade = 6mm
Nozzle arc	= 73°	

4. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan ini dapat disimpulkan :

1. Sumber energi air yang ada di Desa Serbajadi sangat layak untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi pembangkit listrik yang dapat digunakan sebagai sarana peningkatan perekonomian desa.

Tabel 3. Hasil perancangan turbin cross flow

Discharge, $Q = 0.55 \text{ m}^3/\text{s}$	Head, $H = 10 \text{ m}$ and Speed, $N = 400 \text{ rpm}$
$D_{runner} = \frac{41\sqrt{H_{net}}}{rpm} = \frac{41\sqrt{15}}{400} = 0.324 \text{ m}$	$t_{jet} = 1/5 D_{runner} = \frac{0.324}{5} = 0.0648 \text{ m}$
$Q = C_d \cdot 4.43 \sqrt{H} \cdot b_o \cdot t_{jet} = 0.55 \text{ m}^3/\text{s}$	$U_1 = U_4 = \frac{\pi D_1 N}{60} = \frac{\pi (0.324) \cdot 400}{60} = 6.78 \text{ m/s}$
$b_o = \frac{0.55}{1 \cdot 4.43 \sqrt{10} \cdot 0.0648} = 0.606 \text{ m}$	$\alpha_2 = \alpha_3, C_2 = C_3, \beta_2 = \beta_3 \Rightarrow \omega_2 = \omega_3$
$C_1 = C_d \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 10} = 14 \text{ m/s}$	$W_{1st \text{ stage}} = 6U_2 \ \& \ W_{2nd \text{ stage}} = 2U_2.$
Power out put(max) = $Q \cdot H \cdot g \cdot \eta_H \cdot \rho = 0.55 \cdot 10 \cdot 9.81 \cdot 0.92 \cdot 1000 = 50 \text{ kW}$ Power out put(actual) = 40 kW	$= \frac{P_{total}}{m} = \frac{50 \cdot 10^3 \text{ w}}{550 \text{ kg/sec}} = 90.91 \text{ J/kg}$ $W_{total} =$ $W_{1st \text{ stage}} = 68 \text{ J/kg}, W_{2nd \text{ stage}} = 22.70 \text{ J/kg}$
$W_2 = U_3 C_{y3} - U_4 C_{y4} = U_3 C_{y3} = U_2 = 22.7$	$\frac{\pi D_2 N}{60}$ $U_2 = 4.765 \text{ m/s} = \frac{\pi D_2 N}{60}, D_2 = 0.227 \text{ m}$
$\Omega_1 = 7.77 \text{ m/s}$ and $\beta_1 = 31.43^\circ \ \alpha_1 = 16.800$	$C_{x1} = 4.05 \text{ m/s}, \omega_2 = C_{x2} = 4.05 -$
$C_2 = \sqrt{(4.765)^2 + (4.05)^2} = 6.25 \text{ m/s}$	$\alpha_2 = 40.3^\circ, \beta_2 = \beta_3 = 90$
$\Omega_3 = C_{x3} = C_{x4} = 4.05 \text{ m/s} = C_4 \ \alpha_4 = 90^\circ$	$\omega_4 = \sqrt{4.05^2 + 6.78^2} = 7.9 \text{ m/s}, \beta_4 = 30.88^\circ$

2. Penggunaan turbin cross flow akan mampu menjaga kelestarian alam sekitar air terjun Desa Serbajadi, dan disisi lain pembuatan turbin cross flow dapat dilakukan dengan memanfaatkan perbengkelan yang ada di Kabupaten dan bahan dapat diperoleh dengan mudah.

REFERENCES

Laporan Studi Potensi Energi Listrik Alternatif Pedesaan
Proponvi Nanggroe Aceh Darussalam, BRR, 2008.

Laporan Awal Studi Potensi Minihidro Provinsi Nanggroe Aceh
Darussalam, Dinas Pengairan Prov. NAD, Agustus 2009.

Mechanical Design and Manufacturing of Hydraulic machinery,
Mei Zu-Yan (Ed) , Hydraulic Machinery Book Series,
Avebury Technical 1991.

Adam Harway, Andy Brown, Priyantha Hattiarachi and Allen
Inversin, Micro Hydro Design Manual : A guide to small-
scale waterpower schemes, ITDG Publishing, 1993.

■TAR