

Analisa Teori : Performa Turbin Cross Flow Sudu Bambu 5” sebagai Penggerak Mula Generator Induksi 3 Fasa

Ali Khomsah^[1], Efrita Arfah Zuliari^[2]

Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^[1]
Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^[2]

Email: ali.khomsah@gmail.com

Abstrak

Energi listrik merupakan kebutuhan primer bagi seluruh masyarakat, tetapi masih ada warga daerah terpencil belum menerima listrik. Upaya untuk memenuhi energi listrik dilakukan untuk kemandirian energi, melalui upaya untuk elektrifikasi diri. Dalam penelitian ini, dirancang satu set alat uji picohydro mendekati kondisi nyata, berkaitan dengan kinerja turbin tertentu. Generator 3-phase dengan output 1-fase yang digunakan dalam penelitian ini, serangkaian kapasitor C-2C dipasang pada output generator bintang sirkuit. Dalam penelitian ini untuk mengetahui kinerja optimal dari sistem picohydro, dua variasi seri kapasitor yang digunakan dalam penelitian ini. Turbin crossflow dengan desain sesuai rencana, digunakan sebagai penggerak utama. Pengujian dilakukan simulasi di mana energi kinetik air dari pompa drive turbin, turbin energi rotary lebih lanjut akan mendorong generator. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa output daya dan efisiensi meningkat dengan menurunnya nilai kapasitor. Kesesuaian antara variabel perencanaan turbin dan variabel eksperimen menghasilkan kinerja yang optimal, efisiensi maksimum 29,88% dengan daya optimal 85 Watt.

Kata kunci : swa-elektifikasi, pico hydro, sudu bambu

Abstract

Electrical energy is a primary need for the whole of community, but there are still residents of remote areas have not received electrification. An attempt to meet the electrical energy done to energy independence, through effort to self electrification. In this research, designed a set of test equipment picohydro approaching real conditions, related to the performance of specific turbine. 3-phase generator with output 1-phase is used in this study, a series of capacitor C-2C mounted on the generator output circuit star. In this research to determine the optimum performance of picohydro system, two variations of capacitor series used in this study. Crossflow turbine with a design according to plan, used as prime movers. Tests conducted simulations in which the kinetic energy of water from the pump drives the turbine, the turbine rotary energy further will drive a generator. Result of this research showed that the power output and efficiency increases with decreasing value of capacitor. The suitability between turbine planning variables and experiment variables yield an optimum performance, maximum efficiency 29.88% with the optimum power 85 Watt.

Key words : Self electrification, pico hydro, bamboo blade

PENDAHULUAN

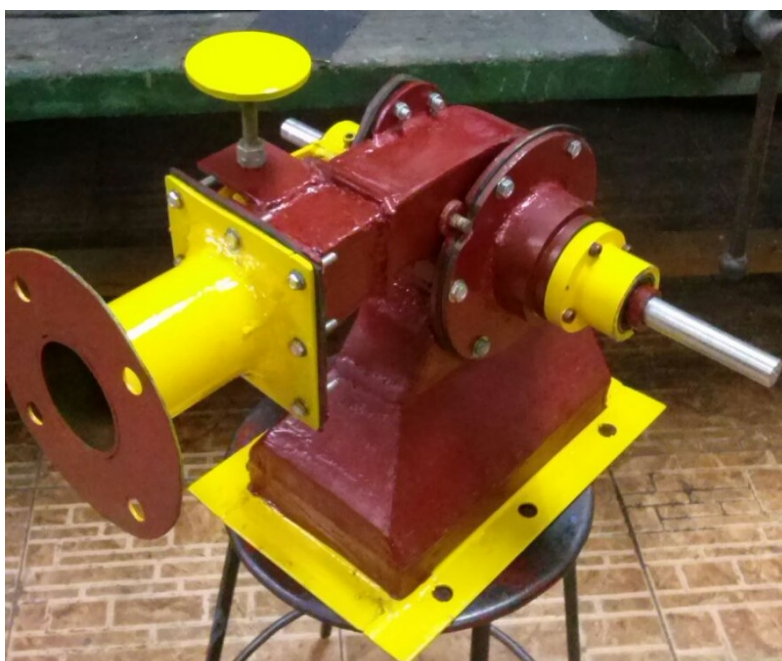
Sumber energi air skala kecil tentunya masih banyak terdapat di pelosok-pelosok desa di daerah pegunungan yang mempunyai sumber mata air. Sumber air tersebut masih dapat digunakan sebagai energi pada pembangkit listrik skala pikohidro, yang masih belum digalakkan di Indonesia. Berbeda dengan Indonesia Laos, Lao PDR (People's Democratic Republic), tepatnya di daerah Thapene Village dengan jumlah 50 rumah tangga listriknya dipasok dengan pembangkit listrik pikohidro sebanyak 21 unit [3]. Pembangunan infrastruktur kelistrikan merupakan salah satu cara menyejahterakan masyarakat dalam pembangunan. Pembangunan kelistrikan yang ada sampai saat ini belum bisa mencukupi kebutuhan masyarakat terutama di desa-desa terpencil. Pembangkit listrik tenaga pico hidro (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 maksimum sebesar 5 kW, 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 yang dapat dijadikan sumber listrik untuk rumah tinggal yang terpencil, yang terdapat sumber energi air. Negara Laos melalui LIRE (Lao Institute of Renewable Energy) telah melakukan studi kelayakan terkait uji coba penerapan pikohidro bagi penduduk miskin di desa terpencil. Studi kelayakan dilakukan di daerah Ban Bark, Ban Tangprang, dan Ban Tangkaad [10]. Penerapan pikohidro perlu dicoba pula di Indonesia dan seharusnya secara sistemik ehingga dapat menunjang pengadaan listrik di daerah daerah terpencil yang tertinggal.

Turbin merupakan penggerak mula bagi generator listrik, terdapat beberapa jenis turbin yang digunakan pada pembangkit listrik dengan tujuan untuk memperoleh kesesuaian dengan karakteristik sumber air, sehingga diperoleh performa yang optimum. Pada penelitian ini digunakan turbin crossflow sudu bambu sebagai penggerak mula (*prime over*) yang menggerakkan generator. Pada penelitian sebelumnya terkait dengan pikohidro yang telah dilakukan oleh [8] di Polytechnic Institute of Braganca (IPB), pada penelitian tahap pertama ini meneliti tentang performa generator yang akan digunakan pada instalasi pikohidro di Kampus IPB. Pada penelitian ini Leite belum mengemukakan performa turbin penggerakannya, karena generator masih digerakkan oleh motor listrik sebagai *prime over*.

MATERIAL & METODE

Pada penelitian ini turbin air crossflow yang sudah ada digunakan untuk menggerakkan generator induksi 3 fasa, lalu diukur parameter-parameter yang diperlukan untuk mengetahui performa outputnya. Analisa teori dilakukan untuk menganalisa hubungan antara dimensi turbin, energy input air, dan performa output turbin. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara aspek perencanaan dan hasil yang didapatkan.



Gambar 1. Turbin Crossflow

Pada Gambar 1. adalah turbin crossflow sudu bambu yang digunakan pada eksperimen ini, adapun data-data turbin adalah sebagai berikut.

Data turbin crossflow:

Diameter runner turbin	: 5'' (12,75 cm)
Lebar turbin	: 2,165'' (5,5 cm)
Diameter pipa masuk	: 2,5''

Sudu : Bilah bambu
 Jumlah sudu : 20 bilah

Proses perencanaan turbin sebelumnya sudah dikukan oleh [9] dan [2], di mana sampai sekarang perhitungannya digunakan dalam proses perencanaan turbin. Berikut persamaan pada proses perencanaan turbin crossflow,

a. 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:

$$Q = V.A \dots\dots\dots 1$$

Ket:

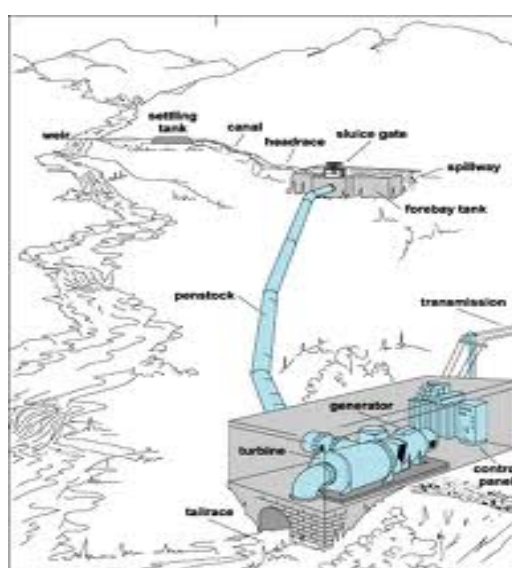
- Q = Debit Aliran (cfs)
- V = Kecepatan Aliran (ft/s)
- A = Luas Penampang (ft²)

b. 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).

c. 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 2 menunjukkan skema PLTMH dengan saluran airnya (canal, forebay tank, penstock). Ketinggian head, h adalah ketinggian antara bak penenang dengan *power house*, yang didalamnya terdapat turbin, generator, dan panel elektrik..



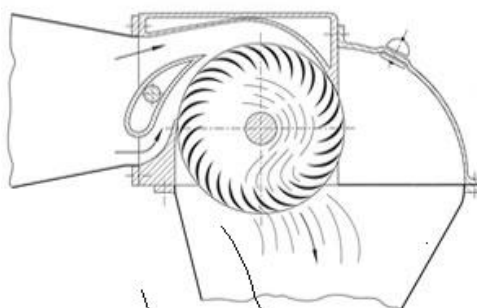
Gambar 2. Turbin Crossflow

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

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

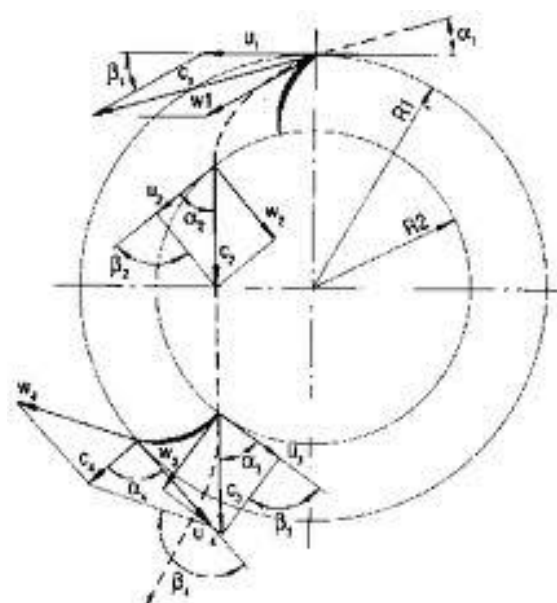
- P = Daya air (Watt)
- ρ = Massa jenis air (kg/m^3)
- Q = Debit aliran air (m^3/s)
- g = Gravitasi bumi (m/s^2)
- h = ketinggian air (m)

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 3. Skema turbin *cross-flow*

Turbin *cross flow* merupakan turbin aliran radial, nama lainnya turbin aliran silang atau *Banki turbine* merupakan juga jenis turbin *athmosphere radial flow*, yaitu 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 3 menunjukkan skema turbin aliran silang.



Gambar 4: Segitiga Kecepatan pada Blade

Skema dasar diagram kecepatan ditunjukkan pada Gambar 4., di mana energy kinetic air dengan kecepatan V_1 atau c_1 menumbuk ujung blade pada sudut α_1 , seperti terlihat pada gambar 5. Sudut β_1 adalah sudut antara kecepatan tangensial u_1 dan kecepatan w_1 .

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

$$hp = (Q.H.e)/8,8 \text{ (British unit)} \quad 2b$$

$$e = (2C^2 u_1/V_1)(1 + \psi)(\cos\alpha_1 - u_1/V_1) \dots \quad 3$$

pada kondisi efisiensi maksimum,

$$u_1 = 1/2 V_1 \cos \alpha_1 \dots \dots \dots \quad 4$$

$$e_{\max} = 1/2 C^2 (1 + \psi) \cos^2 \alpha_1 \dots \dots \dots \quad 5$$

e = efisiensi maksimum keseluruhan turbin

C = efisiensi nozel

ψ = v_2/v_1 , koefisien empiris, besarnya sekitar 0,98

Debit aliran air,

$$Q = (C s_0 L/144)(2gH)^{1/2} \dots \dots \dots \quad 6$$

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

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

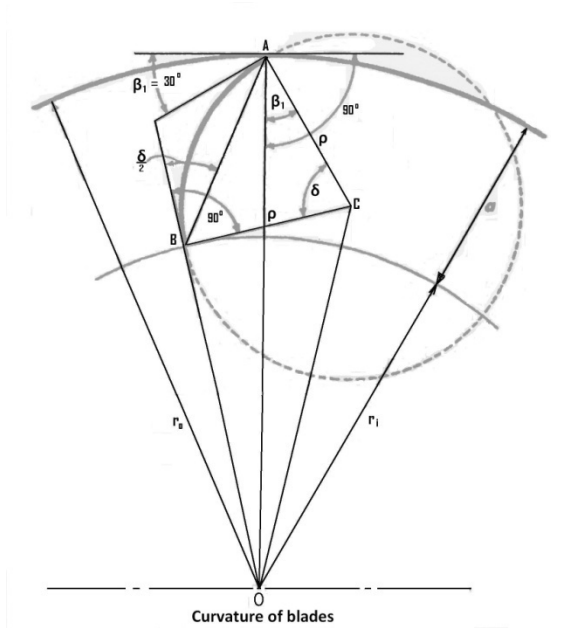
$$D_1 = \frac{60 u_1}{\pi N} \dots \dots \dots \quad 7$$

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,

$$D_1 = 862H^{1/2}/N \dots \dots \dots \quad 8$$

$$L = 144 Q N / (862 H^{1/2} C k (2gH)^{1/2}) \dots \dots \quad 9$$

$$\frac{r_2}{r_1} = 0,667 \dots \dots \dots \quad 10$$



Gambar 5. Jari-jari sudut turbin

Sehingga besar lebar rim ,

$$a = 0,17 D_1 \dots\dots\dots 11$$

Pada Gambar 5. Terlihat skema jari-jari sudu turbin, dari gambar tersebut dapat diperlihatkan besar jari-jari sudu dan lebar rim, a.

Jari-jari Blade

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

$$\rho = 0,366r_1 \dots\dots\dots 12$$

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,

$$N_s = N \frac{\sqrt{P}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots 13$$

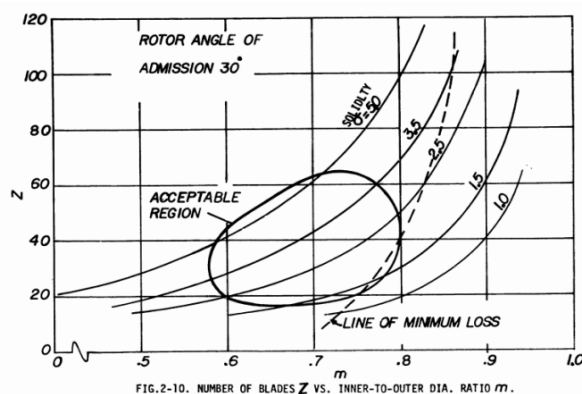
- N_s = Kecepatan specific
- N = Putaran turbin (rpm)
- P = Daya air (hp)
- H = Tinggi elevasi (ft)

Solidity

Solidity didefinisikan sebagai rasio yang terjadi antara jumlah panjang chord total pada blade dengan keliling turbin.

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

di mana B , c dan R masing-masing merupakan jumlah blade, panjang chord dari blade dan radius turbin.



Gambar 6. Daerah penerimaan desain turbin

Pada Gambar 6 menunjukkan daerah penerimaan disain turbin, terkait dengan jumlah sudu Z dan rasio diameter dalam dan diameter luar runner turbin.

Pengujian Turbin

Rangkaian pengujian seperti terlihat pada gambar di bawah, rangkaian simulasi peralatan utama pengujian terdiri atas 1.Pompa, yang berfungsi untuk mengalirkan air penggerak turbin 2.Turbin *Crossflow*, berfungsi mengubah energy kinetik air menjadi energy putar mekanis, sebagai penggerak generator 3.Generator, berfungsi sebagai pembangkit listrik setelah mendapat energy putar generator 4. Beban listrik, berupa lampu energy saving, pijar, dan neon, yang berguna untuk mengetahui berapa besar daya yang bias dibangkitkan oleh turbin-generator.

Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh [14] menggunakan generator induksi 1 fase, sedangkan pada penelitian ini menggunakan generator induksi 3 fase dengan output satu fase, yang terhubung bintang dengan rangkaian kapasitor C-2C. Tujuan dalam penelitian ini adalah mendapatkan kapasitor yang sesuai dengan kondisi beban dan kaitannya dengan karakteristik aliran airnya.



Gambar 7. Set up pengujian



Gambar 8. Proses Pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Kapasitor 7,5 μF – 15 μF

No	Beban (watt)	Tegangan (volt)	rpm (Generator)	Rpm (Turbin)	Tekanan (kg/cm^2)	Debit	Frek. (Hz)	Daya Air (watt)	Keterangan
1	5	286	960	636	0.6	5,68	47,6	334.43	Pijar 5 W
2	10	275	950	640	0.6	5,68	47,2	334.43	Pijar 5 W
3	25	249	936	639	0.6	5,68	46,3	334.43	Pijar 5 W
4	65	206	1009	662	0.6	5,68	49,8	334.43	Pijar 5 W, neon 40W

Terlihat pada Tabel 1., dengan bertambahnya beban akan menurunkan tegangan, maksimum beban 65W. Putaran turbin berkisar antara 636 rpm sampai 662 rpm.

Tabel 2. Kapasitor 5 μF – 10 μF

No	Beban (watt)	Tegangan (volt)	rpm (Generator)	Rpm (Turbin)	Tekanan (kg/cm^2)	Debit	Frek. (Hz)	Daya Air (watt)	Keterangan
1	0	353	-	-	0.58	5		284.49	
2	5	314	1150	728	0.58	5	57	284.49	Pijar 5 W
3	10	300	1142	722	0.58	5	56.9	284.49	Pijar 5 W
4	25	270	1127	713	0.58	5	55.8	284.49	Pijar 5 W
5	65	210	1228	755	0.58	5	60	284.49	Pijar 5 W, neon 40W
6	70	193	1203	752	0.58	5	59	284.49	Pijar 10 W, neon 40W
7	80	200	1215	754	0.58	5	59	284.49	Pijar 25 W, neon 40W
8	85	195	1208	745	0.58	5	59.3	284.49	Pijar 25 W, neon 40W

Terlihat pada Tabel 2., dengan bertambahnya beban akan menurunkan tegangan, maksimum beban 85W. Putaran turbin berkisar antara 725 rpm sampai 755 rpm.

ANALISA TURBIN

Percobaan I

Data awal perencanaan dengan debit air 5,68 liter per detik dengan tekanan air 0,6 kg/cm^2 (setara tinggi jatuh air 6 meter)

Debit air, $Q = 0,00568 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,2 \text{ cfs}$ (*cubic feet per second*)

Tinggi jatuh air setara tekanan, $H = 6 \text{ m} = 19.686 \text{ ft}$

Tabel 3. Perbandingan Teoritik & Eksperimen untuk Nilai kapasitor 7,5 μ F – 15 μ F

Perbandingan	Diameter Runner (inchi)	Lebar Runner (inchi)	Putaran turbin (rpm)	Daya air (Watt)	Effisiensi total (%)	Daya maksimum
Teoritik	5	1,904	765	334,43	31,5	105,34
Eksperimen	5	2,165	645	334,43	19,4	65

Dari tabel di atas terdapat perbedaan hasil perencanaan teoritik dengan hasil eksperimen, output daya listrik tidak mencapai output perencanaan.

Percobaan II

Data awal perencanaan dengan debit air 5 liter per detik dengan tinggi jatuh air sekitar 5,8 meter

Debit air, $Q = 0,005 \text{ m}^3/\text{detik} = 0,19422 \text{ cfs}$ (*cubic feet per second*)

Tinggi jatuh air setara tekanan, $H = 5,8 \text{ m} = 19.1 \text{ ft}$

Tabel 4. Perbandingan Teoritik & Eksperimen untuk Nilai kapasitor 5 μ F – 10 μ F

Perbandingan	Diameter Runner (inchi)	Lebar Runner (inchi)	Putaran turbin (rpm)	Daya air (Watt)	Effisiensi total (%)	Daya maksimum
Teoritik	5	1,904	752	284,49	31,5	89,61
Eksperimen	5	2,165	738	284,49	29,88	85

Seperti yang sudah dilakukan oleh [1] yang melakukan uji coba simulasi turbin skala picohydro didapatkan total efisiensi 30%, dalam penelitian ini efisiensi total yang didapat sekitar 29,88%.

KESIMPULAN

1. Penambahan beban daya lampu akan menurunkan putaran turbin, begitu pula dengan bertambahnya nilai kapasitor juga menurunkan putaran turbin. Bertambahnya nilai kapasitor terkait bertambah pula beban daya reaktifnya.
2. Pemberian beban lampu neon sebesar 40 Watt memberikan dampak naiknya frekuensi, baik pada percobaan I maupun pada percobaan kedua
3. Daya optimum dan efisiensi meningkat dengan turunnya nilai kapasitor terpasang, tetapi disisi lain terdapat kenaikan frekuensi listriknya, hal ini lebih pada kesesuaian beban dengan suatu nilai kapasitor tertentu sehingga diperoleh suatu kualitas listrik standar.
4. Secara umum performa system pembangkit listrik pikohidro bisa optimum apabila parameter-parameter perencanaan teoritik turbin mendekati atau sesuai dengan parameter-parameter eksperimennya.
5. Efisiensi total maksimum dengan output kualitas listrik yang diinginkan mencapai nilai hampir 30 %

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini merupakan salah satu bagian dari penelitian Hibah Bersaing dengan judul terkait yang dibiayai oleh Dikti pada tahun 2015, dan kami mengucapkan rasa terimakasih yang mendalam atas bantuan dana penelitian tersebut. Semoga penelitian ini dapat berlanjut pada tahun ke 3, sehingga cita-cita untuk merealisasikan swa-elektifikasi di daerah terpencil dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bryan, Yan, et.al. 2012. *Performance evaluation of cross-flow turbine for low head application*, Word Renewable Energi Congress, Sweden
- [2]. Durali, M. 1974. *Design of Small Water Turbines for Farms and Small Communities*, Arya Mehr University-Tehran.

- [3]. Engelke, et.al. 2006. An Assessment of Pico Hydro as an Option for Off-grid Electrification in Lao PDR: case study of Thapene Village, International Journal of Renewable Energy, Vol 1-No. 2, July.
- [4]. 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): 448-453, ISSN 1819-544X
- [5]. 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, Juli. 2013: hal. 190 – 198.
- [6]. Khairul Amri, Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Sungai Air Kule Kabupaten Saur
- [7]. 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
- [8]. Leite, V. et.al, 2012, Dealing with the Very Small: First Step of a Picohydro Demonstration Project in an University Campus.
- [9]. Mockmore, C.A, Merryfield, 1949. The Banki Water Turbine, Bulletin Series No. 25, Oregon State College,
- [10]. Vicente, S., Bludszuweit, H., 2012, Flexible Design of a pico-hydropower system for Laos communities, *Journal of Renewable Energy* 44, 406-413, EL-SEVIER
- [11]. 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, 2010.
- [12]. Witdarko, Y, dkk, 2004. Pengaruh Variasi Pembukaan Sudu Pengarah terhadap Efisiensi Turbin *Cross Flow*, *Jurnal Teknosains* hal 499-511, 17(3), Juli 2004.
- [13]. Winardi, dkk, Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan terhadap Unjuk Kerja Turbin Aliran Silang, *Jurnal Teknosains* hal 239-251, 17(2), April 2004.
- [14]. Zuliary, EA., Khomsah, A. 2014. Perencanaan Turbin Cross Flow Sudu Bambu sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hidro Kapasitas 200 Watt, SNTEKPAN-ITATS