

Analisis Desain Turbin Air Tipe Aliran Silang (*Crossflow*) dan Aplikasinya di Desa Were I Kabupaten Ngada-NTT

Verdy A. Koehuan¹⁾, Agustinus Sampealo²⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

²⁾Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang NTT

Email: verdy_koehuan@yahoo.com

ABSTRACT

Utilization of water energy potential for the development of hydroelectric power generation systems, especially the use of crossflow type water turbine applications include virtually any location with water flow rate and high head or falling water is low and medium. This type of water turbine performance can be known through the analysis of the turbine runner and the steering nozzle turbine inlet flow and a series of tests in the field. Turbine characteristics to changes in water flow, high water fall (head), angle of attach falling water, and the flow velocity in the runner can be known, and then the application becomes more optimal. With a head of 15 m and and discharge available 230 liters/s, do the design parameters of the length and diameter of the runner, can be obtained specific speed of 47.931 rpm for water discharge 0.1261 m³/s. Dimensional turbine runner DA, (L=15 cm) and (D₁=15 cm), turbine efficiency is obtained 88.74 % yield effective power of Pe (16.466 kW). While the dimensions of the turbine runner DB, (L=20 cm) and (D₁=20 cm), can be obtained specific speed of 55.346 rpm for the flow rate Q (0.1681 m³/s), and the efficiency of 88.74 % effective at generating power Pe (21.954 kW). The results of the analysis parameters for turbine runner diameter (D₁) 15 cm with DA turbine runner length (L=15 cm) to the turbine DB (L=20 cm) showed increase in the flow rate and the effective power as well as 25 %, but the rotation and turbine efficiency does not change.

Keywords: Crossflow Water Turbine, Runner Dimension, Effective Power, Turbine Efficiency

ABSTRAK

Pemanfaatan potensi energi air untuk pengembangan sistem pembangkitan listrik tenaga air, terutama penggunaan turbin air tipe aliran silang (*crossflow*) aplikasinya mencakup hampir semua lokasi dengan debit aliran air dan head atau tinggi jatuh air yang rendah dan menengah. Performansi turbin air tipe ini dapat diketahui melalui analisis pada roda turbin (*runner*) dan nosel pengarah aliran masuk turbin serta serangkaian pengujian di lapangan. Karakteristik turbin terhadap perubahan debit air, tinggi jatuh air (head), sudut jatuh air, dan kecepatan aliran pada *runner* dapat diketahui, maka aplikasinya menjadi lebih optimal. Dengan head sebesar 15 m dan debit tersedia 230 liter/s, dilakukan desain parameter panjang dan diameter runner, dapat diperoleh kecepatan spesifik 47,931 rpm untuk debit air 0,1261 m³/s. Dimensi runner turbin DA, (L=15 cm) dan (D₁=15 cm), efisiensi turbin diperoleh 88,74 % menghasilkan daya efektif sebesar Pe (16,466 kW). Sedangkan pada dimensi runner turbin DB, (L=20 cm) dan (D₁=20 cm), dapat diperoleh kecepatan spesifik 55,346 rpm untuk debit aliran Q (0,1681 m³/s), dan efisiensi 88,74 % menghasilkan daya efektif sebesar Pe (21,954 kW). Hasil analisis parameter turbin untuk kondisi dimensi runner yaitu diameter runner (D₁) 15 cm dengan panjang runner turbin DA (L=15 cm) terhadap turbin DB (L=20 cm) menunjukkan kenaikan debit aliran dan daya efektif juga sebesar 25%, tapi putaran dan efisiensi turbin tidak berubah.

Kata kunci: Turbin Air Aliran Silang, Dimensi Runner, Daya Efektif, Efisiensi Turbin

PENDAHULUAN

Pengembangan potensi sumber-sumber energi seperti energi angin, energi air, energi matahari, bio gas, dan sebagainya untuk

kebutuhan energi listrik di daerah-daerah terpencil yang potensinya cukup besar sementara pemanfaatannya belum maksimal untuk kesejahteraan masyarakat. Pengembangan turbin air misalnya, di wilayah Flores-NTT yang memiliki potensi yang cukup

besar untuk pembangkitan energi listrik, namun belum banyak dimanfaatkan. Pembangkit listrik tenaga air telah banyak dilakukan pengembangan di berbagai daerah di Indonesia, terutama turbin air tipe aliran silang (*crossflow*) yang aplikasinya mencakup semua lokasi dengan debit aliran air dan head atau tinggi jatuh air yang rendah dan menengah. Haimerl, L.A. (1960, hal 3). Hal ini masih terkendala sumber daya manusia maupun ekonomi yang membuat banyak daerah yang belum secara maksimal memanfaatkan teknologi ini.

Unjuk kerja atau performansi dari turbin air tipe aliran silang (*crossflow*) dapat diketahui melalui analisis pada roda turbin (*runner*) dan nosel pengarah aliran masuk turbin (Koehuan V., dkk, 2009) serta serangkaian pengujian di lapangan. Misalnya karakteristik turbin terhadap perubahan debit air, tinggi jatuh air (head), sudut jatuh air, dan kecepatan aliran pada *runner*. Fang Qing-jiang, (1991, hal 12). Efisiensi turbin yang telah terpasang pada kondisi ini juga berubah sesuai dengan karakteristik masukan seperti debit air, kecepatan air, arah jatuh air pada sudu *runner*. Dengan diketahuinya karakteristik turbin, maka operasional turbin air tipe aliran silang (*crossflow*) ini menjadi lebih maksimal. C. A. Mocmoore (1949, hal 8).

Turbin air memanfaatkan energi yang terkandung dalam aliran air untuk menghasilkan daya yang bermanfaat berupa daya listrik pada generator. Air yang ada di alam, sebelum dialirkan ke turbin, terlebih dahulu ditampung pada bak penampung, kemudian melalui pipa (*penstock*) atau melalui saluran air dialirkan ke turbin. Selama proses aliran di dalam pipa, energi potensial air berangsur-angsur berubah menjadi energi kinetik. Di dalam turbin, air akan menumbuk atau memberi tenaga pada sudu turbin dan menyebabkan poros turbin berputar. Pada kondisi ini, energi kinetik air berubah lagi menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin dan selanjutnya poros turbin dihubungkan dengan generator menggunakan transmisi mekanik, Aris Munandar, W. (1982, hal 10).

Pada penelitian ini dilakukan analisis desain turbin air tipe aliran silang (*crossflow*) dan aplikasinya di desa Were I kabupaten Ngada-NTT melalui analisis parameter desain

pada bagian *runner* turbin untuk mengetahui karakteristik turbin terhadap kondisi lapangan. Di desa Were I kabupaten Ngada-NTT, sesuai hasil survei memiliki potensi energi air dengan tinggi jatuh 15 m dan debit air 230 liter/s. Oleh karena itu, maka penelitian ini dilakukan analisis performa turbin untuk mengoptimalkannya sesuai dengan kondisi turbin terpasang, sehingga dapat dijadikan sebagai acuan untuk perencanaan tipe turbin yang sama pada lokasi lainnya di pulau Timor maupun di wilayah NTT secara umum.

MATERI DAN METODE

Kondisi Rancangan

Turbin impuls terdiri dari sebuah poros yang berputar yang dinamakan *runner* turbin. Pada *runner*, terpasang sudu-sudu. Jet mengenai sudu turbin (air memukul sudu turbin) dan mengubah arah aliran air. Perubahan momentum (*impuls*) yang terjadi menyebabkan gaya pada sudu turbin sehingga *runner* turbin berputar menghasilkan kerja. Akibat pukulan air yang mengenai sudu, energi potensial air dikonversikan menjadi energi kinetik dengan sebuah *nozle* yang diarahkan terpusat ke turbin. Turbin implus terdiri dari beberapa jenis yaitu Turbin Pelton dan Turbin aliran silang (*Crossflow*) Adam Harway, (1993, hal 4).

Parameter penelitian sebagai kondisi rancangan, yakni kecepatan air masuk turbin, debit air tersedia 230 liter/s atau 0,23 m³/s, tinggi jatuh air tersedia adalah 15 m, sudut aliran masuk sudu turbin rancangan (sudut nosel tetap, = 16⁰), putaran rotor turbin, diameter dan panjang *runner*, daya efektif turbin, dan efisiensi turbin

Prosedur penelitian

- Berdasarkan kondisi rancangan dan parameter penelitian di atas, perlu dilakukan analisis tentang parameter desain *runner* turbin aliran silang (*crossflow*) untuk dapat meningkatkan efisiensi turbin. Misalkan bagaimana efisiensi turbin pada perubahan debit air dan dan kecepatan aliran masuk turbin pada sudut masuk sudu turbin yang tetap.
- Analisa data penelitian atau parameter

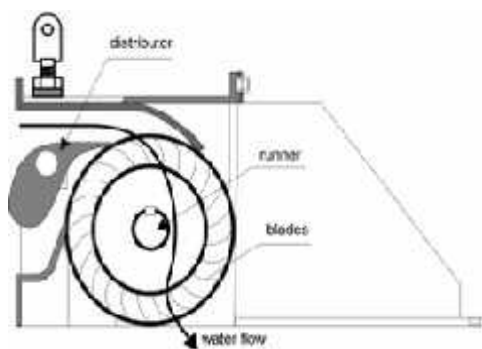
penelitian dengan menggunakan teknik analisa data dengan mengacu pada analisis efisiensi turbin menurut A. Mocmoore (1949, hal 8), dan Koehuan V., dkk (2009).

Teknik Analisa Data

Teknik analisa digunakan model matematik yaitu teknik analisa data dengan menggunakan rumus-rumus yang telah ada pada prosedur perancangan turbin aliran silang (*crossflow*). Pada penelitian terdahulu, telah dikembangkan prosedur perhitungan oleh Koehuan V., dkk, (2009), sehingga dapat diterapkan disini untuk analisa desain turbin *crossflow*. Terutama pada perhitungan segitiga kecepatan pada *runner* Bachtiar, Asep Neris. 2007 (1949, hal 8). Kecepatan spesifik dipakai sebagai suatu standar untuk membedakan tipe turbin atau roda turbin yang digunakan dan dipakai sebagai suatu besaran penting dalam turbin air. Dikatakan demikian karena kecepatan spesifik merupakan jumlah putaran roda turbin yang bekerja pada tinggi jatuh air ($H = 1$ m) dan kapasitas air ($Q = 1$ m³/dtk), dimana dapat dihitung dengan persamaan berikut: F. Dietzel (1993: 20). Untuk turbin air tipe *crossflow*, besaran kecepatan spesifiknya adalah

$$Nq = n \cdot \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad 1)$$

dimana Nq adalah ecepatan spesifik (rpm), n adalah putaran roda turbin, Q adalah kapasitas air (m³/dtk), serta H adalah tinggi air jatuh (m)



Gambar 1. Turbin *crossflow*

Suatu roda turbin yang bekerja pada tinggi air jatuh yang berbeda dan kapasitas air yang berbeda, serta bekerja pada putaran yang telah

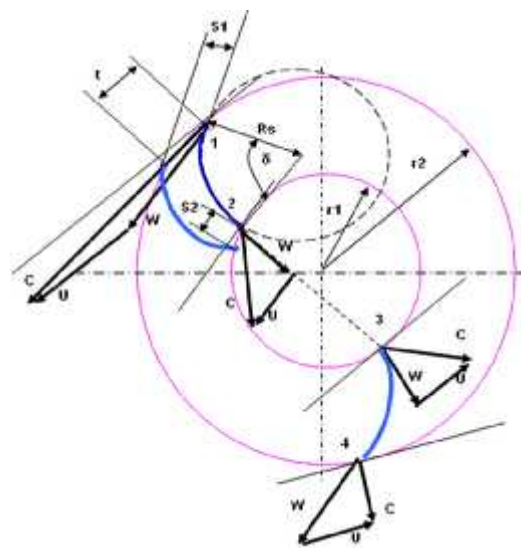
ditentukan (rpm) dan mempunyai harga Nq yang sama, maka turbin tersebut secara geometri (bentuk) adalah mirip/serupa. Besar ukuran-ukuran pokoknya (diameter dan lebar) roda adalah berbeda, tetapi bentuk sudu dan perbandingan diameter roda turbin adalah sama.

Daya Turbin

Daya aktual merupakan daya turbin sesuai dengan kondisi awal di lapangan. Dengan diketahuinya kapasitas air (Q_{aktual}) maka daya turbin dapat diketahui. Daya teoritis turbin adalah merupakan daya yang dihasilkan oleh sebuah turbin tanpa dihitung dengan efisiensi dari turbin tersebut, tetapi hanya dihitung head (H) dan kapasitas air (Q) yang ada. Untuk menghitung daya tersebut dapat dipakai persamaan berikut:

$$P_t = Q \cdot g \cdot H \quad 2)$$

dimana P_t adalah daya turbin teoritis (kW) dan g adalah gravitasi (9,81 m²/s).



Gambar 2. Tinjauan Segitiga Kecepatan

Daya output generator merupakan daya efektif turbin dikalikan dengan efisiensi transmisi dan efisiensi generator. Untuk mendapatkan daya output generator menurut Dietz (1992: 2) dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_o = P_e \cdot y_{transmisi} \cdot y_{generator} \quad 3)$$

dimana P_o adalah daya output generator (kW), P_e

adalah daya efektif (kW), dan $y_{transmisi}$ adalah efisiensi transmisi (%), serta $y_{generator}$ adalah efisiensi generator (%).

Analisa karakteristik dan efisiensi turbin tipe aliran silang pada penelitian ini menggunakan asumsi teoritik (Banki, 1949) dengan titik berat analisis pada perhitungan segitiga kecepatan aliran masuk dan keluar runner turbin. Menurut Banki pada segitiga kecepatan (Gambar 2) secara ideal adalah:

$$C_2 = C_3 \quad (4)$$

$$U_2 = U_3 \quad W_2 = W_3$$

$$S_2 = S_3 = 90^\circ \quad r_2 = r_3 \quad (5)$$

sedangkan sudut $r_4 = 90^\circ$

Kecepatan absolut untuk air masuk ditentukan dengan menggunakan persamaan, Haimmerl, L.A.(1960, hal 5):

$$C_1 = Cd \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (6)$$

dimana C_1 adalah kecepatan absolut m/s, Cd adalah faktor koreksi kecepatan aliran, g adalah percepatan gravitasi (9,81 m), dan h adalah head atau tinggi jatuh air. Kecepatan keliling masuk (U_1) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$U_1 = \frac{f \cdot D_1 \cdot n}{60} \quad (7)$$

dimana n adalah putaran poros turbin (rpm), D_1 adalah diameter runner (m), menurut C. A. Mocmoore, (1949, hal. 15) dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$D1 = 41 \frac{\sqrt{h}}{n} \quad (8)$$

Kecepatan relatif dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$W_1 = Wu_1 / \cos S_1 \quad (9)$$

dimana kecepatan relatif terhadap kecepatan keliling (Wu) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$WU = (CU_1 - U_1) \quad (10)$$

Kecepatan absolut terhadap kecepatan keliling (Cu) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$CU = C_1 \cdot \cos r_1 \quad (11)$$

Kecepatan keliling U_2 dapat dihitung

dengan persamaan berikut :

$$U_2 = \frac{f \cdot n \cdot D_2}{60} \quad (12)$$

Kecepatan absolut (C_2) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C_2 = \frac{U_2}{\cos r_2} \quad (13)$$

r_2 = sudut antara C_2 dengan U_2 dapat dicari dengan persamaan dimana :

$$\operatorname{tg} r_2 = \frac{2 \cdot \operatorname{tg} r_1}{(D_2 / D_1)}$$

Kecepatan relatif W_2 dapat dihitung dengan persamaan :

$$W_2 = \sqrt{C_2^2 - U_2^2} \quad (14)$$

Menurut A. Mocmoore (1949, hal 8) turbin aliran silang (*crossflow*) secara teoritis memiliki parameter pada saat masuk runner (titik 2) sama dengan parameter saat keluar runner (titik 3) sehingga:

$$C_2 = C_3 \quad W_2 = W_3$$

$$U_2 = U_3 \quad r_2 = r_3$$

Karena titik 1 dan 4 berada dalam lingkaran luar runner, maka $U_1 = U_4$ sedangkan berdasarkan Gambar 2., $W_1 = W_4$ Kecepatan absolut (C_4) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$C_4 = \sqrt{W_4^2 - U_4^2} \quad (15)$$

Daya efektif turbin dapat dihitung dengan persamaan, C. A. Mocmoore, (1949, hal. 10):

$$P_e = [(u_3 \cdot c_3 \cdot \cos r_3) - (u_4 \cdot c_4 \cdot \cos r_4)]Q + [(u_3 \cdot c_3 \cdot \cos r_3) - (u_4 \cdot c_4 \cdot \cos r_4)]Q \quad (16)$$

Nilai efisiensi merupakan perbandingan daya efektif turbin terhadap daya teoritis.

$$y_t = \frac{P_e}{P_t} \times 100\% \quad (17)$$

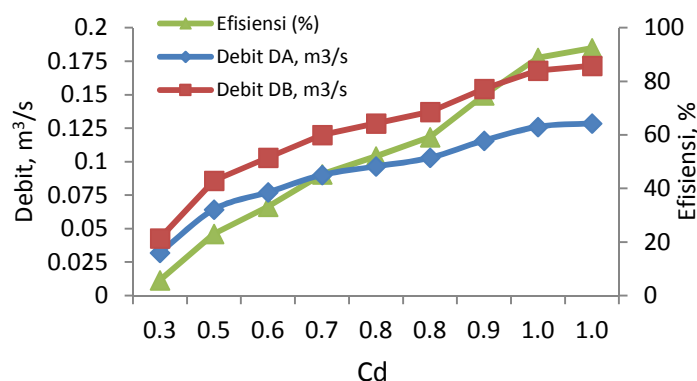
Pengolahan Data

Pada turbin air tipe aliran silang

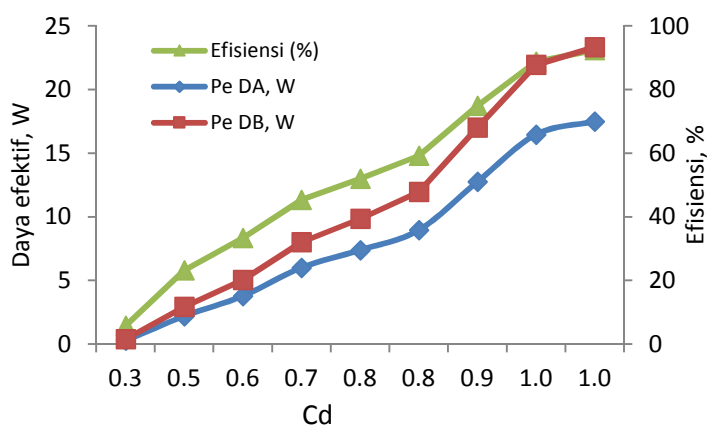
(*crossflow*), koefisien gesek atau faktor koreksi (C_d) merupakan hal yang penting untuk mendapatkan daya turbin. Meskipun aliran air mengalir secara konstan namun terdapat hambatan akibat gesekan pada saluran masuk turbin dan nosel, serta faktor pembukaan dan penutupan katup nosel, sehingga harga C_d (0-1) menunjukkan variasi debit aliran air masuk turbin. Hasil perhitungan dibuat dalam tabel analisis dengan mengubah koefisien C_d dari 0-1, dimana saat $C_d = 0$ (posisi katup nosel tertutup) dan $C_d = 1$ (posisi katup nosel terbuka). Selanjutnya dibuat grafik karakteristik turbin dengan menentukan dimensi turbin terbaik pada efisiensi dan daya yang optimal, sesuai dengan kondisi debit air dan head di lokasi yang disurvei. Enoh, R.Moh. (1993, hal 6).

PEMBAHASAN

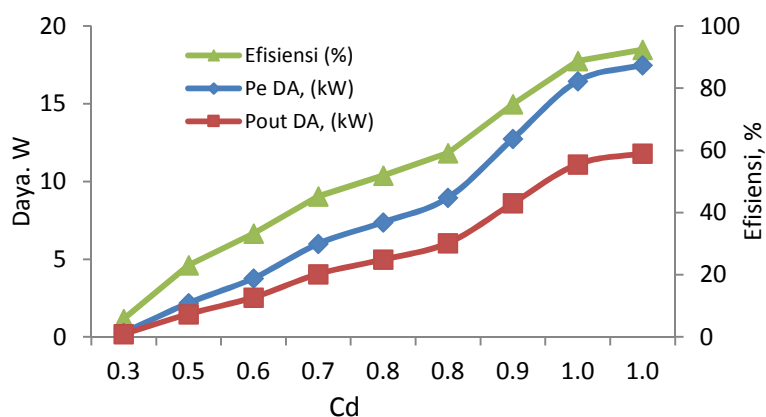
Desain turbin *crossflow* yang di desa Were I kabupaten Ngada-NTT mempunyai spesifikasi yang digunakan sebagai parameter penelitian untuk menganalisa unjuk kerja dari tubin tersebut, yaitu: tinggi jatuh air atau head (H) adalah 15 m dengan sudut nosel tetap (α_1) adalah 16° . Sudut masuk air kedalam *runner* (α_2) adalah 40° dan sudut keluar air (α_3) adalah 90° sedangkan efisiensi transmisi ($\eta_{transmisi}$) adalah 75% dan efisiensi generator ($\eta_{generator}$) adalah 90%.



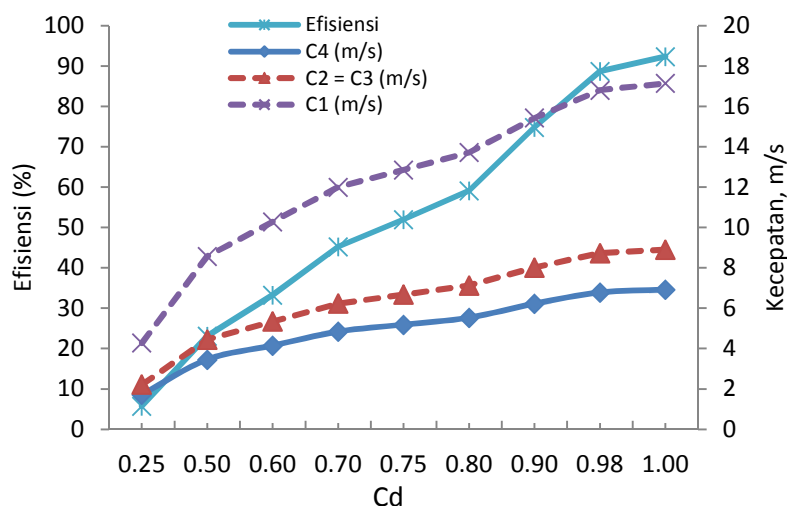
Gambar 3. Hubungan debit dan efisiensi terhadap koefisien aliran masuk turbin pada diameter runner (D_1) 15 cm dengan panjang runner turbin DA ($L=15$ cm) dan turbin DB ($L=20$ cm)



Gambar 4. Hubungan daya efektif turbin dan efisiensi terhadap koefisien aliran masuk turbin pada diameter runner (D_1) 15 cm dengan panjang runner turbin DA ($L=15$ cm) dan turbin DB ($L=20$ cm)



Gambar 5. Hubungan daya turbin dan efisiensi terhadap koefisien aliran masuk turbin diameter runner (D_1) 15 cm dengan panjang runner turbin DA ($L=15$ cm)



Gambar 5. Hubungan kecepatan absolut dan efisiensi terhadap koefisien aliran masuk turbin diameter runner (D_1) 15 cm dengan panjang runner turbin DA ($L=15$ cm)

Pada Tabel 1-5 di Lampiran I masing-masing berturut-turut menunjukkan hasil perhitungan putaran *runner*, debit aliran, kecepatan putar spesifik dan daya output generator serta efisiensi turbin), pada koefisien gesek atau faktor koreksi 0,98, serta perubahan dimensi *runner* yaitu diameter *runner* (m) dan panjang *runner* (m). Dari tabel tersebut, perubahan daya turbin pada kondisi head (H) adalah 15 m dengan panjang (L) yang divariasikan dan diameter *runner* (D) divariasikan pada setiap perubahan faktor koreksi (Cd), maka diperoleh efisiensi turbin optimum 88,74 %.

Pada Gambar 3 hingga Gambar 4 menunjukkan hasil analisis parameter turbin untuk kondisi penambahan panjang runner sebesar 25%. Diameter runner (D_1) 15 cm dengan panjang runner turbin DA ($L = 15$ cm) terhadap turbin DB ($L = 20$ cm) menunjukkan kenaikan debit aliran dan daya efektif juga sebesar 25%, tapi putaran dan efisiensi turbin tidak berubah.

Analisa parameter desain di atas menunjukkan dimensi turbin air tipe aliran silang (*crossflow*) yang divariasikan sesuai karakteristik atau potensi debit aliran dan head atau beda tinggi air yang ada. Dengan head

sebesar 15 m dan perubahan pada panjang dan diameter *runner*, dapat diperoleh kecepatan spesifik 47,931 rpm untuk debit air 0,1261 m³/s. Pada dimensi *runner* turbin DA, (L=15 cm) dan (D₁=15 cm), efisiensi turbin diperoleh 88,74 % menghasilkan daya efektif sebesar Pe (16,466 kW). Sedangkan pada dimensi *runner* turbin DB, (L=20 cm) dan (D₁=20 cm), dapat diperoleh kecepatan spesifik 55,346 rpm untuk debit aliran Q (0,1681 m³/s), dan efisiensi 88,74 % menghasilkan daya efektif sebesar Pe (21,954 kW).

Geometri turbin air tipe aliran silang (*crossflow*) untuk kondisi tinggi jatuh air (head) yang diketahui dan debit aliran yang tersedia, dapat didesain konstruksi *runner* yang berbeda. Sedangkan untuk penentuan konstruksi *runner* yang akan diaplikasikan, faktor lain yang tidak kalah penting untuk diperhitungkan antara lain: pemilihan bahan runner dan bahan poros yang berpengaruh pada biaya konstruksinya, putaran kritis, getaran runner, dan ruang bebas antara *runner* dan muka air bawah.

SIMPULAN

- Hasil analisis parameter turbin untuk kondisi penambahan panjang runner sebesar 25%. Diameter runner (D₁) 15 cm dengan panjang runner turbin DA (L = 15 cm) terhadap turbin DB (L = 20 cm) menunjukkan kenaikan debit aliran dan daya efektif juga sebesar 25%, tapi putaran dan efisiensi turbin tidak berubah.
- Dengan head sebesar 15 m dan perubahan pada panjang dan diameter *runner*, dapat diperoleh kecepatan spesifik 47,931 rpm untuk debit air 0,1261 m³/s. Pada dimensi *runner* turbin DA, (L=15 cm) dan (D₁=15 cm), efisiensi turbin diperoleh 88,74 % menghasilkan daya efektif sebesar Pe (16,466 kW). Sedangkan pada dimensi *runner* turbin DB, (L=20 cm) dan (D₁=20 cm), dapat diperoleh kecepatan spesifik 55,346 rpm untuk debit aliran Q (0,1681 m³/s), dan efisiensi 88,74 % menghasilkan daya efektif sebesar Pe (21,954 kW).
- Efisiensi turbin tipe aliran silang (*crossflow*) yang terpasang yaitu 88,74 % sehingga sesuai dengan karakteristik turbin tipe aliran silang (*crossflow*) yaitu 85-90 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Dierjen Dikti atas dukungan dana dan kegiatan dilaksanakan atas biaya DIPA Universitas Nusa Cendana MAK 521219 Kode Kegiatan 2013.109.020 sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Program Ipteks Bagi Masyarakat pada Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat Nomor: 908/UN15.20/PM/2014, Tanggal 1 Juli 2014. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Pimpinan Universitas, LPM Undana, dan Fakultas Sains dan Teknik atas dukungan fasilitas dan motivasi yang diberikan dan pihak-pihak lainnya yang telah terlibat dalam kegiatan ini, diucapkan limpah terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adam Harway, Andy Brown, Priyantha Hattiarachi and Allen Inversin, Micro Hydro Design Manual: A guide to small-scale waterpower schemes, ITDG Publishing, 1993.
- [2] Aris Munandar, W.1982. Penggerak mula turbin. Bandung : ITB Bandung
- [3] Bachtiar, Asep Neris. 2007. Uji efisiensi runner turbin cross flow dengan variasi sudut air masuk sudu (). Jurnal Momentum. ISSN 1411- 4617. volume 4. nomor 2, Agustus 2007
- [4] Bachtiar, Asep Neris. 2007. Perencanaan runner turbin *crossflow* untuk sistem PLTM di Desa Datar Kecamatan Lembang Jaya Kabupaten Solok, Jurnal Akademika. ISSN 0854-4336. volume II. nomor 2 . Oktober 2007.
- [5] C. A. Mocmoore, Fred Merryfield. The Banki Water Turbine, Buletin Series No. 25, 1949.
- [6] Dietzel, F.(1988). Turbin, pompa dan kompresor. Jakarta : Erlangga
- [7] Enoh, R.Moh. 1993. Suatu eksperimen pembuatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTM) dengan penggerak mula turbin banki untuk kelistrikan desa di Kecamatan lembang Jaya Kabupaten Solok Sumatera Barat. Padang : Laporan Penelitian IKIP Padang.

- [8] Fang Qing – jiang, Construction of Axial flow and Diagonal flow Turbines, Mei Zu-Yan (Ed), Hydraulic Machinery Book Series, Avebury Technical 1991, pp 47-79.
- [9] Haimerl, L.A.1960. The *crossflow* turbine. Jerman Barat.
- [10] Koehuan V., Yusuf Rumbino, (2009). Analisis Unjuk Kerja Turbin Air Tipe Aliran Silang (*Cross Flow*) Dan Aplikasinya, Buletin Teknologi, Vol 06 No. 2, september 2009, hal 68-75.

Lampiran 1. Hasil Analisa Daya Turbin Crossflow Pada Koefisien Gesek / Faktor Koreksi (Cd) = 0.98

Cu1 = 16.161 m/s
 beta1 = 40 derajat
 alfa2 = 52.388 derajat
 alfa1 = 16 derajat
 alfa4 = 90 derajat
 C1 = 16.812 m/s

Efisiensi Transmisi = 0.75
 Efisiensi Generator = 0.9
 Cd = 0.98

H = 15 m
 g = 9.81 m²/s
 D₂ = 0.66 D₁

Debit air tersedia = 0.23 m³/s

Tabel 1. Putaran Runner (rpm)		Panjang runner (m)						
Diameter runner, D1 (m)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	
0.1	1543.2	1543.2	1543.24	1543.2	1543.2	1543.24	1543.2	
0.15	1028.8	1028.8	1028.83	1028.8	1028.8	1028.83	1028.8	
0.2	771.62	771.62	771.621	771.62	771.62	771.621	771.62	
0.25	617.3	617.3	617.297	617.3	617.3	617.297	617.3	
0.3	514.41	514.41	514.414	514.41	514.41	514.414	514.41	
0.35	440.93	440.93	440.926	440.93	440.93	440.926	440.93	
0.4	385.81	385.81	385.811	385.81	385.81	385.811	385.81	

Tabel 2. Debit Aliran (m3/s)		Panjang runner (m)						
Diameter runner, D1 (m)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	
0.1	0.056	0.0841	0.11208	0.1401	0.1681	0.19614	0.2242	
0.15	0.0841	0.1261	0.16812	0.2102	0.2522	0.29421	0.3362	
0.2	0.1121	0.1681	0.22416	0.2802	0.3362	0.39228	0.4483	
0.25	0.1401	0.2102	0.2802	0.3503	0.4203	0.49035	0.5604	
0.3	0.1681	0.2522	0.33624	0.4203	0.5044	0.58842	0.6725	
0.35	0.1961	0.2942	0.39228	0.4904	0.5884	0.68646	0.7846	
0.4	0.2242	0.3362	0.44832	0.5604	0.6725	0.78456	0.8966	

Tabel 2. Putaran spesifik (rpm)		Panjang runner (m)						
Diameter runner, D1 (m)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	
0.1	47.931	58.703	67.7846	75.785	83.019	89.6705	95.862	
0.15	39.135	47.931	55.3459	61.879	67.785	73.2157	78.271	
0.2	33.892	41.509	47.9309	53.588	58.703	63.4066	67.785	
0.25	30.314	37.127	42.8707	47.931	52.506	56.7126	60.628	
0.3	27.673	33.892	39.1354	43.755	47.931	51.7713	55.346	
0.35	25.62	31.378	36.2324	40.509	44.375	47.9309	51.24	
0.4	23.965	29.352	33.8923	37.893	41.509	44.8353	47.931	

Tabel 3. Daya teoritis turbin (kW),		Panjang runner (m)						
Diameter runner, D1 (m)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	
0.1	8.2463	12.369	16.4926	20.616	24.739	28.8621	32.985	
0.15	12.369	18.554	24.739	30.924	37.108	43.2932	49.478	
0.2	16.493	24.739	32.9853	41.232	49.478	57.7242	65.971	
0.25	20.616	30.924	41.2316	51.54	61.847	72.1553	82.463	
0.3	24.739	37.108	49.4779	61.847	74.217	86.5864	98.956	
0.35	28.862	43.293	57.7242	72.155	86.586	101.017	115.45	
0.4	32.985	49.478	65.9706	82.463	98.956	115.448	131.94	

Tabel 4. Daya Efektif Turbin (kW)		Panjang runner (m)						
Diameter runner, D1 (m)	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	
0.1	7.318	10.977	14.636	18.295	21.954	25.613	29.272	
0.15	10.977	16.466	21.954	27.443	32.931	38.420	43.908	
0.2	14.636	21.954	29.272	36.590	43.908	51.226	58.544	
0.25	18.295	27.443	36.590	45.738	54.885	64.033	73.181	
0.3	21.954	32.931	43.908	54.885	65.862	76.840	87.817	
0.35	25.613	38.420	51.226	64.033	76.840	89.646	102.453	
0.4	29.272	43.908	58.544	73.181	87.817	102.453	117.089	