

PENGARUH DIAMETER DAN JUMLAH SUDU *RUNNER* TERHADAP KINERJA TURBIN *CROSS-FLOW*

Mafruddin¹, Dwi Irawan²

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Metro, Lampung
Email: mafruddin.mawon@yahoo.com¹, dwi_irawan@yahoo.co.id²

Abstrak

Kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini masih didominasi oleh energi yang berasal dari bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi tak terbarukan dan ketersediannya semakin berkurang, sehingga perlu dikembangkan sumber energi yang berasal dari energi terbarukan salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). PLTMH umumnya menggunakan turbin *Cross-flow* sebagai mesin konversi energi. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi perbandingan diameter dalam dengan diameter luar (D_2/D_1) yaitu 0,6, 0,66 dan 0,72 dan jumlah sudu *runner* yaitu 16, 18 dan 20 terhadap kinerja turbin *Cross-flow* yang diaplikasikan sebagai PLTMH di desa Rantau Fajar Kabupaten Lampung Timur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu eksperimen nyata dengan empat tahapan yaitu 1. Tahap persiapan meliputi studi pustaka, observasi, pengolahan data lapangan dan desain turbin. 2. Tahap pembuatan alat meliputi tahap perencanaan dan pelaksanaan, 3. Tahap pengujian meliputi pengujian putaran turbin, daya dan efisiensi turbin. 4. Analisa dan kesimpulan. Pengujian turbin dilakukan dengan metode pengereman untuk mengetahui daya yang dihasilkan turbin. Dari hasil penelitian diketahui bahwa variasi perbandingan diameter dalam dengan diameter luar dan jumlah sudu *runner* berpengaruh terhadap kinerja turbin. Putaran turbin maksimal sebesar 352 rpm, daya turbin sebesar 363,98 Watt dan efisiensi maksimal turbin 62% diperoleh dengan perbandingan diameter dalam dengan diameter luar *runner* yaitu 0,66 dan jumlah sudu 18. Daya listrik maksimal yang dihasilkan generator yaitu 202,5 Watt.

Kata Kunci: Diameter, jumlah sudu, kinerja, turbin *cross-flow*.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini didominasi oleh energi yang berasal dari bahan bakar fosil (minyak bumi, batu bara dan lain-lain) yang merupakan sumber energi tak terbarukan dan ketersediannya semakin berkurang, sehingga perlu dikembangkan sumber energi listrik yang berasal dari energi terbarukan. Salah satu sumber energi terbarukan yaitu energi air. Pemerintah melalui peraturan presiden No. 5 tahun 2006, menargetkan pemanfaatan energi air mencapai 4% dari penggunaan energi nasional pada tahun 2025. Sehingga untuk mencapai target tersebut perlu dikembangkan dan dimaksimalkan dalam pemanfaatan sumber daya air sebagai

sumber energi khususnya untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) maupun untuk sumber energi lain. Sumber daya air yang dapat digunakan sebagai PLTMH yaitu aliran sungai yang berada di desa Rantau Fajar kecamatan Raman Utara kabupaten Lampung Timur. Aliran sungai tersebut merupakan sungai yang dibendung sehingga membentuk waduk. Debit aliran sungai tersebut cukup besar dan memiliki ketinggian (*head*) lebih dari 2 m. Dengan debit dan ketinggian tersebut maka aliran sungai memiliki energi yang cukup besar jika dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin air yang kemudian digunakan untuk memutar generator dan menghasilkan listrik.

Turbin *Cross-flow* merupakan jenis turbin yang paling banyak digunakan untuk PLTMH karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan jenis turbin yang lain. Desai and Aziz pada tahun 1994 melakukan penelitian dengan memvariasikan jumlah sudu yaitu 15, 20 dan 25, sudut serang air yang masuk kedalam *runner* 24°, 28° dan 32°, rasio diameter dalam dan diameter luar 0,60, 0,68 dan 0,75. efisiensi tertinggi 88% dengan jumlah sudu 25, *nozzle* 24°, rasio diameter 0,68 [1].

Agus Sugiri pada tahun 2011, melakukan penelitian dengan memvariasikan jumlah sudu roda jalan turbin *Cross-flow* yaitu 18, 20 dan 22. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi turbin *Cross-flow* diperoleh dengan jumlah sudu 20 buah sebesar 76 %. Daya yang dibangkitkan generator terbesar pada ketinggian turbin 2,5 m dengan jumlah sudu 20 buah sebesar 191 Watt [2].

Berdasarkan penelitian terdahulu diketahui bahwa perbandingan diameter dalam (D_2) dengan diameter luar (D_1) dan jumlah sudu *runner* berpengaruh terhadap kinerja turbin *Cross-flow*. Maka dari itu dalam penelitian ini akan dilakukan desain dan pembuatan turbin yang sesuai dengan sumber daya air dengan memvariasikan perbandingan diameter dan jumlah sudu *runner* turbin *Cross-flow*.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbandingan diameter dalam dan diameter luar serta jumlah sudu *runner* terhadap kinerja turbin *Cross-flow*.

TINJAUAN PUSTAKA

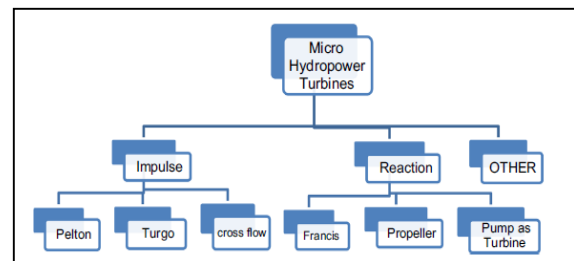
Mockmore dan Merryfield pada tahun 1949 memperkenalkan turbin *Cross-flow* dan melakukan penelitian serta mengembangkan dasar teoritis, efisiensi maksimal turbin yang diperoleh yaitu 68% [3].

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah sistem pembangkit listrik yang biasanya terintegrasi dalam bendungan dengan memanfaatkan energi potensial dan kinetik dari aliran air menjadi

energi mekanis oleh turbin yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator [4].

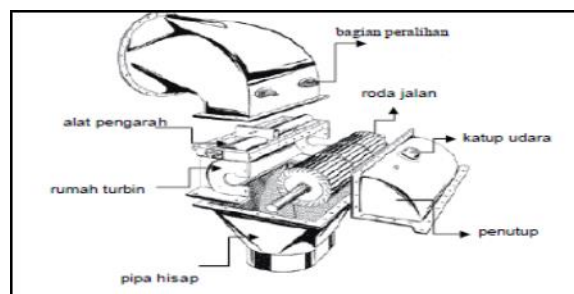
PLTMH adalah pembangkit listrik tenaga air yang tergolong dalam jenis "*run-of-river*" dimana *head* atau ketinggian air diperoleh tidak dengan cara membangun bendungan besar, tetapi dengan mengalihkan sebagian aliran air sungai melalui pipa atau saluran untuk turbin ke salah satu sisi aliran sungai dan menjatuhkannya lagi ke sungai yang sama. Jumlah aliran air yang dialihkan disesuaikan dengan kebutuhan yang diperlukan [5].

Berdasarkan prinsip kerjanya turbin air dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu:



Gambar 1. Jenis-jenis turbin air [6]

Turbin *Cross-flow* (*Ossberger*) dibuat pertama kali di Eropa. Nama *Cross-flow* diambil dari aliran air yang melintasi kedua sudu gerak atau *runner* turbin dalam menghasilkan putaran (rotasi). Prinsip kerja turbin ini ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903 [7].



Gambar 2. Bagian turbin *Cross-flow* [7].

Kinerja dari sebuah turbin diketahui dari besarnya efisiensi yang mampu dihasilkan turbin. Untuk mengetahui besarnya efisiensi turbin terlebih dahulu perlu diketahui besarnya daya air yang digunakan serta daya yang dihasilkan

turbin. Dan untuk mengetahui besarnya daya air yang digunakan dapat digunakan persamaan berikut [8].

$$P_{air} = \rho \cdot g \cdot H_e \cdot Q$$

Dengan:

- P_{air} = Daya air (W)
- ρ = Massa jenis air (kg/m^3)
- g = Gaya gravitasi (m/s^2)
- H_e = *Head efektif* (m)
- Q = Debit air (m^3/s)

Sedangkan untuk menghitung daya turbin dapat digunakan persamaan berikut [9].

$$P_t = \omega \cdot T$$

$$P_t = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot F_g \cdot r$$

Dengan:

- P_t = Daya yang dihasilkan turbin (W)
- T = Torsi yang dihasilkan turbin (Nm)
- F_g = Selisih gaya tarik dan tekan pada putaran tertentu (N)
- $F_g = F_{ta} - F_{te}$ atau $F_1 - F_2$ (N)
- r = Jari-jari puli pada *runner* turbin (m)
- ω = Kecepatan sudut *runner* (rad/s)
- n = Putaran turbin (rpm)

Dan untuk mengetahui efisiensi turbin dapat digunakan persamaan berikut [9].

$$\eta_t = \frac{P_{turbin}}{P_{air}}$$

Dimana:

- η_t = Efisiensi mekanik turbin
- P_{air} = Daya air (W)
- P_{turbin} = Daya turbin (W)

METODE PENELITIAN

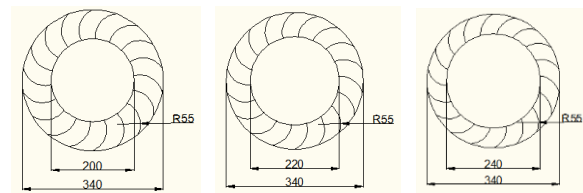
Lokasi penelitian dilakukan di desa Rantau Fajar Kecamatan Raman Utara Kabupaten Lampung Timur Provinsi Lampung. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen nyata (*true experimental research*) dengan bervariasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar (D_2/D_1) *runner* dan jumlah sudu *runner* turbin. Metode

eksperimen meliputi tahap persiapan, pembuatan turbin, sampai dengan menguji turbin.

Langkah penelitian meliputi:

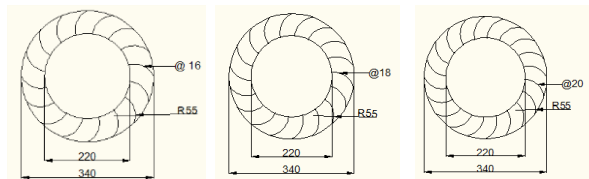
1. Studi pustaka
2. Observasi
3. Desain dan membuat turbin
4. Analisa hasil pengujian

Variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin dijelaskan pada gambar berikut.



(D_2/D_1) 0,60 (D_2/D_1) 0,66 (D_2/D_1) 0,72
Gambar 3. Variasi perbandingan diameter

Variasi jumlah sudu *runner* turbin dijelaskan pada gambar berikut.



Jumlah Sudu 16 Jumlah Sudu 18 Jumlah Sudu 20
Gambar 4. Variasi jumlah sudu

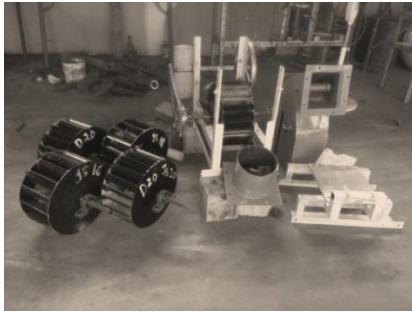
Parameter dimensi turbin yang dibuat dan diuji yaitu sebagai berikut.

Tabel 1. Parameter dimensi turbin

Parameter	Nilai
Diameter luar (m)	0,31
Diameter dalam (m)	0,2
Lebar sudu (m)	0,1524
Jarak antar sudu (m)	0,054
Jari-jari sudu (m)	0,051
Jumlah sudu	18
Tebal <i>nozzle</i> (m)	0,027
Diameter <i>penstok</i> (m)	0,1524

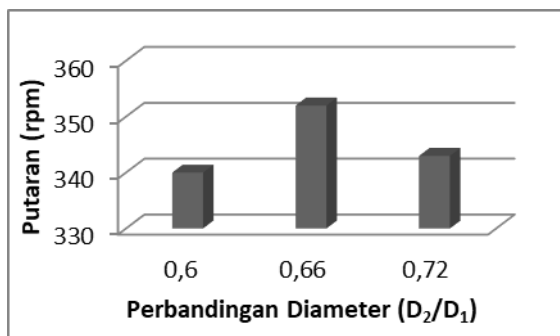
HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil pembuatan turbin:



Gambar 5. Turbin *Cross-flow*

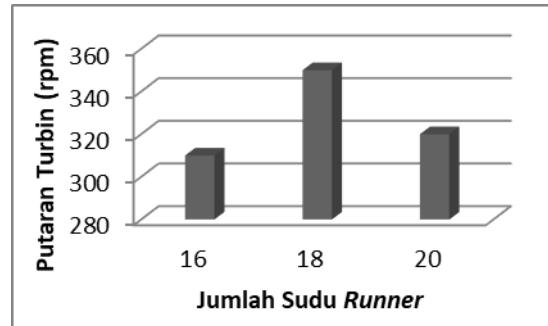
Berdasarkan hasil pengujian putaran turbin tanpa beban dengan variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin diperoleh hasil seperti pada grafik berikut ini.



Gambar 6. Variasi perbandingan diameter terhadap putaran turbin

Berdasarkan Gambar 6, variasi perbandingan diameter terhadap putaran turbin dapat diketahui bahwa variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin berpengaruh terhadap putaran turbin. Dimana dalam pengujian variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin jumlah sudu yang digunakan yaitu 18. Putaran turbin maksimal diperoleh dengan perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin 0,66 yaitu 352 rpm. Sedangkan untuk perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin 0,60 dan 0,72 putaran turbin masing-masing yaitu 340 rpm dan 343 rpm.

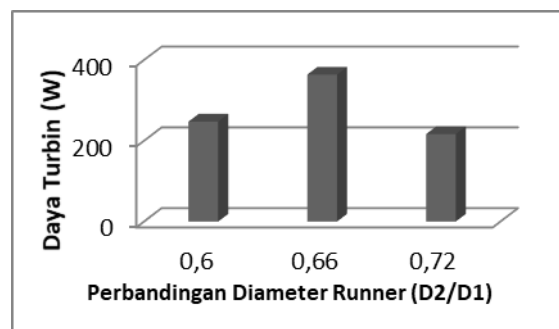
Berdasarkan hasil pengujian putaran turbin tanpa beban dengan variasi jumlah sudu *runner* diperoleh data seperti pada grafik berikut.



Gambar 7. Variasi jumlah sudu terhadap putaran turbin

Berdasarkan Gambar 7, variasi jumlah sudu terhadap putaran turbin dapat diketahui bahwa jumlah sudu *runner* berpengaruh terhadap putaran turbin *Cross-flow*. Dimana dalam pengujian variasi jumlah sudu perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin yang digunakan yaitu 0,66. Putaran turbin maksimal diperoleh dengan jumlah sudu 18 yaitu 350 rpm. Sedangkan putaran turbin dengan jumlah sudu 16 dan 20 masing-masing yaitu 310 rpm dan 320 rpm.

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan diperoleh daya maksimal yang dihasilkan dari masing-masing turbin dengan variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* seperti pada Gambar 8.

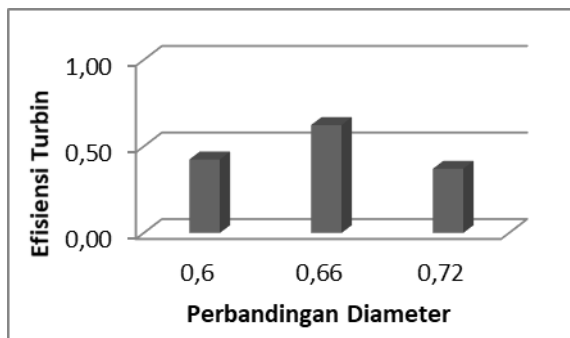


Gambar 8. Variasi perbandingan diameter terhadap daya turbin

Dari Gambar 8. Variasi perbandingan diameter terhadap daya turbin dapat diketahui bahwa perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan turbin. Dimana dalam pengujian variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin jumlah sudu yang digunakan yaitu 18. Daya turbin

tertinggi diperoleh dengan menggunakan perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin 0,66 yaitu 363,98 Watt. Sedangkan daya yang dihasilkan turbin dengan perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin 0,6 dan 0,72 masing-masing sebesar 247,76 Watt dan 216,79 Watt.

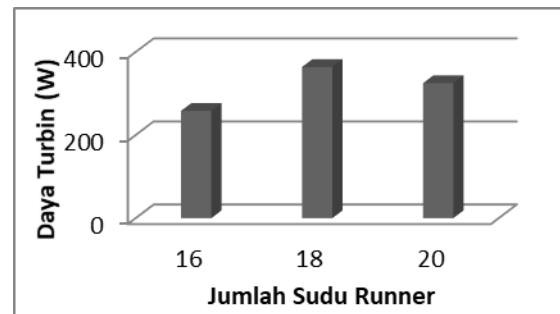
Grafik berikut ini menjelaskan pengaruh variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* terhadap efisiensi turbin *Cross-flow*.



Gambar 9. Variasi perbandingan diameter terhadap efisiensi turbin

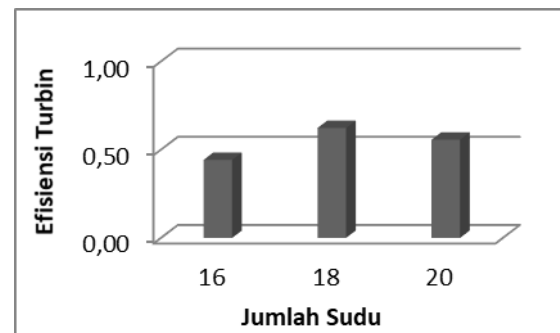
Dari Gambar 9, variasi perbandingan diameter terhadap efisiensi turbin dapat diketahui bahwa perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan turbin. Dimana dalam pengujian variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin jumlah sudu yang digunakan yaitu 18. Efisiensi turbin tertinggi diperoleh dengan variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin 0,66 yaitu 62%. Sedangkan turbin dengan variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin 0,6 dan 0,72 masing-masing yaitu 42% dan 37%.

Berdasarkan hasil pengujian dan perhitungan diperoleh masing-masing daya yang dihasilkan turbin dengan variasi jumlah sudu *runner* turbin yaitu sebagai berikut.



Gambar 10. Variasi jumlah sudu terhadap daya turbin

Dari Gambar 10, variasi jumlah sudu terhadap daya turbin dapat diketahui bahwa jumlah sudu *runner* berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan turbin. Dimana dalam pengujian variasi jumlah sudu *runner* perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin yang digunakan yaitu 0,66. Daya turbin tertinggi diperoleh dengan jumlah sudu 18 yaitu 363,89 Watt. Sedangkan daya turbin dengan jumlah sudu 16 dan 20 masing-masing yaitu 258,19 Watt dan 325,19 Watt.



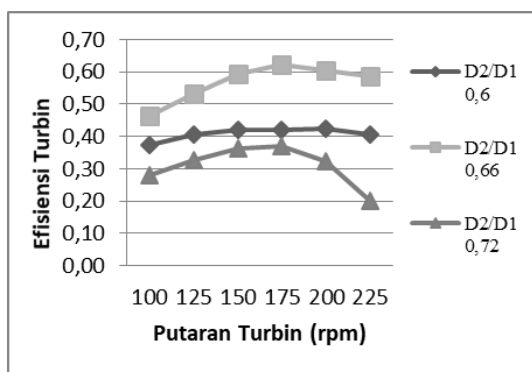
Gambar 11. Variasi jumlah sudu terhadap efisiensi turbin

Dari Gambar 11, variasi jumlah sudu terhadap efisiensi turbin dapat diketahui bahwa jumlah sudu *runner* berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan turbin. Efisiensi turbin tertinggi diperoleh dengan jumlah sudu *runner* 18 yaitu 62%. Sedangkan efisiensi yang dihasilkan turbin dengan jumlah sudu *runner* 16 dan 20 masing-masing yaitu 0,44 dan 0,56.

Dari hasil pengujian dan perhitungan kinerja turbin dengan variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* dan variasi jumlah sudu *runner* berpengaruh terhadap putaran tanpa beban,

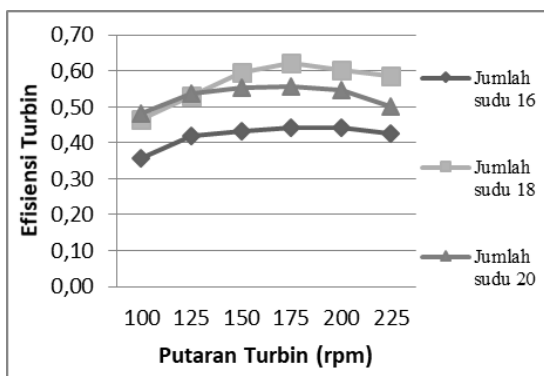
daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin. Daya turbin tertinggi dihasilkan dengan variasi perbandingan diameter dalam dan diameter luar *runner* 0,66 dengan jumlah sudu *runner* 18. Dengan demikian dapat diartikan bahwa hasil pengujian sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Mockmore, C.A. and Merryfield, F. 1949. Dimana menurut teori yang dikemukakan oleh Mockmore, C.A. and Merryfield, F. 1949 bahwa daya atau efisiensi turbin maksimal dengan menggunakan perbandingan diameter dalam dan diameter luar yaitu 0,66 dan jumlah sudu *runner* 18 (sesuai dengan perhitungan jumlah sudu) [3].

Grafik berikut menjelaskan karakter efisiensi yang dihasilkan turbin dengan variasi diameter dalam dan diameter luar *runner* turbin pada setiap putaran turbin.



Gambar 12. Variasi perbandingan diameter terhadap karakter efisiensi turbin

Grafik berikut menjelaskan karakter efisiensi yang dihasilkan turbin dengan variasi jumlah sudu *runner* turbin pada setiap putaran turbin.



Gambar 13. Variasi jumlah sudu terhadap karakter efisiensi turbin

Berdasarkan Gambar 12, variasi perbandingan diameter terhadap karakter efisiensi turbin dan Gambar 13, variasi jumlah sudu terhadap karakter efisiensi turbin dapat diketahui bahwa efisiensi turbin berbeda-beda pada setiap putaran turbin. Efisiensi turbin tertinggi diperoleh pada putaran 175 rpm, sedangkan putaran turbin semakin rendah maupun semakin tinggi efisiensi turbin cenderung lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban (generator) yang digerakkan oleh turbin maka akan mempengaruhi efisiensi turbin.

Dari hasil pengujian besarnya daya listrik maksimal yang mampu dihasilkan oleh generator yaitu sebesar 202,5 Watt. Dimana daya air yang digunakan dalam pengujian yaitu 583,77 Watt, sehingga besarnya efisiensi sistem pembangkit tenaga air yaitu 35%.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi perbandingan diameter dalam dengan diameter luar dan jumlah sudu *runner* berpengaruh terhadap putaran turbin. Putaran turbin maksimal sebesar 352 rpm dengan perbandingan diameter dalam dan diameter luar 0,66 dan jumlah sudu *runner* 18,
2. Variasi perbandingan diameter dalam dengan diameter luar dan jumlah sudu *runner* berpengaruh terhadap daya dan efisiensi turbin. Daya turbin maksimal 363,98 Watt dan efisiensi maksimal 62% diperoleh dengan perbandingan diameter dalam dengan diameter luar yaitu 0,66 dan jumlah sudu *runner* 18.

Saran

Dalam proses pembuatan turbin dibutuhkan ketelitian yang sangat tinggi, karena akan mempengaruhi kinerja dari turbin yang dibuat. Bahan yang digunakan harus tahan korosi serta permukaan yang halus untuk mengurangi gesekan antara air dan permukaan turbin.

REFERENSI

- [1]. Desai and aziz,. 1994. An experimental investigation cross-flow turbine efficiency. *Journal of fluids engineering (Vol. 116/545)*.
- [2]. Sugiri, A., 2011. Pengaruh Jumlah Sudu Roda Jalan Terhadap Efisiensi Turbin Aliran Silang (*Cross Flow*). *Jurnal Mechanical, Volume 2, Nomor 1*.
- [3]. Mockmore, C.A. and Merryfield, F. 1984. "The Banki Water Turbin", *Oregon State College, Bulletin Series, No.25*.
- [4]. Poernomo Sari, S., dan Fasha, R. 2012. Pengaruh Ukuran Diameter Nosel 7 Dan 9 mm Terhadap Putaran Sudu Dan Daya Listrik Pada Turbin Pleton. *Jurnal Teknik Mesin*.
- [5]. Abdul Nasir, B. 2014. Design Considering Of Micro-Hydro-Electrik Power Plant. *Energy procedia 50 19-29*.
- [6]. Elbatran A.H., Yaakob, O.B., Ahmed, Y.M., and Shabara, H.M., 2015. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 43 40–50*.
- [7]. Dietzel, F., dan Sriyono, D. 1993. *Turbin Pompa Dan Kompresor*. Erlangga. Jakarta.
- [8]. Rajab Yassen, S. 2014. Optimization of the Performance of Micro Hydro-Turbines for Electricity Generation.
- [9]. Acharya, N., Kim C.G., Thapa, B., and Lee, Y.H., 2015. Numerical analysis and performance enhancement of a cross-flow hydro turbine. *Renewable Energy xxx 1-8*.