

**MODIFIKASI RUMAH TURBIN CROSSFLOW DENGAN
PENAMBAHAN SUDU PENGARAH SEBAGAI SARANA
PENDUKUNG PRAKTIKUM DI LABORATORIUM TEKNIK
KONVERSI ENERGI**

**Gatot Suwoto, Ilyas Rochani, Aditya Gangsar Nugroho*, Alan Mastri
Husnun Azim, Eka Noviarlani, Firna Fiki Fadlillah**

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang, 50275

*E-mail: adityagangsar10@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti karakteristik turbin crossflow pada Laboratoium Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Semarang, dimana besar luas penampang nosel turbin crossflow tidak bisa diatur sehingga tidak dapat dioperasikan pada head konstan dengan debit yang variabel, maka rumah turbin crossflow perlu didesain ulang agar luas penampang nosel dapat diatur melalui penambahan sudu pengarah pada nosel tersebut. Dari perancangan rumah turbin yang kami buat, besar luas penampang nosel dapat diatur sehingga dengan adanya penambahan sudu pengarah tersebut, maka ketika debitnya berubah dapat diatur ulang besarnya luas penampang untuk menjaga agar head konstan dengan membuka sebagian katup bypass sehingga dapat dilakukan pengujian sistem PLTA seperti kondisi yang ada di lapangan yaitu $H = \text{konstan}$ dan $V = \text{konstan}$. Data dari pengujian dibuat grafik hubungan antara efisiensi sistem terhadap debit dan grafik hubungan antara efisiensi sistem terhadap daya listrik. Dari grafik pengujian tersebut diperoleh karakteristik sistem PLTA dengan efisiensi tertinggi pada head 6,018 m ketika debit m^3/s yaitu 21,25 %.

Kata Kunci: *Turbin Crossflow, Sudu Pengarah, Head Konstan.*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Turbin crossflow adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impulse turbine). Prinsip kerja turbin ini mula-mula ditemukan oleh seorang insinyur Australia yang bernama A.G.M. Michell pada tahun 1903. Kemudian turbin ini dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof. Donat Banki sehingga turbin ini diberi nama turbin Banki yang disebut juga turbin Michell-Ossberger (Haimerl, L.A.,1960).

Pemakaian jenis turbin crossflow lebih menguntungkan dibanding dengan penggunaan kincir air maupun jenis turbin microhydro lainnya. Penggunaan turbin ini untuk daya yang sama dapat menghemat biaya pembuatan penggerak mula sampai 50% dari penggunaan kincir air dengan bahan yang sama. Penghematan ini dapat dicapai karena ukuran turbin

Modifikasi Rumah Turbin Crossflow Dengan..... Gatot, dkk
crossflow lebih kecil dan lebih compact dibanding kincir air. Diameter kincir air yakni sudu jalannya biasanya 2 meter ke atas, tetapi diameter turbin crossflow dapat dibuat hanya 20 cm saja sehingga bahan-bahan yang dibutuhkan jauh lebih sedikit, itulah sebabnya dapat lebih murah. Demikian juga efisiensi rata-rata turbin ini lebih tinggi daripada efisiensi kincir air. Hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh pabrik turbin crossflow di Jerman Barat menyimpulkan bahwa efisiensi kincir air dari jenis yang paling unggul sekalipun hanya mencapai 70%, sedangkan daya yang dihasilkan turbin crossflow kurang lebih 750 kW dengan efisiensi mencapai 82% (Haimerl, L.A.,1960).

Tingginya efisiensi turbin crossflow ini akibat pemanfaatan energi air pada turbin ini dilakukan dua kali, yang pertama energi tumbukan air pada sudu-sudu pada saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu-sudu saat air akan meninggalkan sudu jalan. Adanya kerja air yang bertingkat ini ternyata memberikan keuntungan dalam hal efektifitasnya yang tinggi dan kesederhanaan pada sistem pengeluaran air dari sudu jalan.

Turbin crossflow cocok digunakan sebagai penunjang sarana studi Teknik Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin karena memiliki head 1 m sampai dengan 200 m dengan debit 0,02 m³/s sampai 7 m³/s (Fritz Dietzel.1980). Akan tetapi saat ini turbin crossflow pada Laboratorium Teknik Konversi Energi tidak dalam kondisi yang baik dan besar luas penampang nosel yang tidak bisa diatur sehingga tidak dapat dioperasikan pada head konstan dengan debit yang variabel, maka perlu didesain ulang agar luas penampang nosel dapat diatur dengan penambahan sudu pengarah pada nosel tersebut.

Tujuan

Tujuan teknis dari tugas akhir ini adalah:

1. Mendapatkan spesifikasi turbin crossflow pada head konstan dengan debit yang variabel.
2. Mengetahui karakteristik sistem PLTA turbin crossflow sesuai yang ada di lapangan.

Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian mengenai turbin crossflow telah dilakukan untuk memperoleh efisiensi terbaik, diantaranya oleh Anil,G.; Chandran,A.T. dkk dalam percobaan, dilakukan penyelidikan pada 25%, 50%, 75% dan 100% dari pembukaan sudu pengarah. Pada 75% pembukaan sudu pengarah untuk head 5 sampai 40 meter, debit air 162 m³/h, dengan jumlah sudu jalan 28 dan rentang kecepatan 300 rpm sampai 3000 rpm, efisiensi maksimum yang diperoleh adalah 44%.

Modifikasi Rumah Turbin Crossflow Dengan..... Gatot, dkk

Rosyidin,A.M.; Sutikno,D. dkk melakukan studi laboratorium yang bertujuan untuk menunjukkan serangkaian hasil pengujian turbin crossflow. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimental nyata (true experimental research) yang secara langsung dikenakan pada objek yang diteliti dengan presentase 5 bukaan sudu pengarah yaitu 20%, 40%, 60%, 80%, dan 100% (terbuka penuh). Efisiensi terbesar terdapat pada bukaan sudu pengarah 80% dengan debit 0,2750 m³/s yaitu 31,42%.

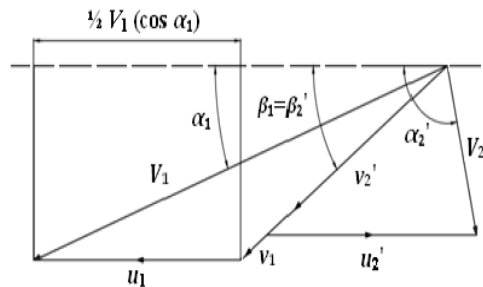
Soenoko (2016) melakukan penelitian dengan memvariasikan sudut nosel (30°-75°) dan variasi laju aliran air terhadap kinerja turbin crossflow pada tingkat pertama. Efisiensi optimal yaitu dengan sudut nosel 30°.

Rudi Panggabean melakukan penelitian pada turbin crossflow tanpa sudu pengarah diperoleh efisiensi sebesar 32%. Kemudian penelitian tersebut dikembangkan oleh Iman Hasrat Gule, Ir. Husin Ibrahim, MT dengan melakukan penambahan sudu pengarah didalam nosel pada alat yang sama sehingga didapat efisiensi sebesar 53,03 %. Penelitian ini dilakukan melalui pengujian terhadap bukaan sudu pengarah untuk tiap debit air yang berbeda yaitu $Q = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 0,01375 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 0,01250 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q = 0,01125 \text{ m}^3/\text{s}$. Variasi bukaan sudu pengarah yang dibuat adalah bukaan 1/4, 2/4, 3/4 dan 4/4 (bukaan penuh). Dari pengujian tersebut didapatkan hasil yaitu daya turbin maksimum yang diperoleh sebesar 95,77 Watt dengan $Q = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$, torsi 5 Nm pada bukaan sudu pengarah 2/4. Sedangkan untuk efisiensi maksimum yang dihasilkan sebesar 53,03 % dengan $Q = 0,01125 \text{ m}^3/\text{s}$, torsi 5 Nm pada bukaan sudu pengarah 2/4. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa daya turbin dan efisiensi tertinggi akan dicapai pada bukaan sudu pengarah sebesar 2/4.

Hal yang sama dilakukan oleh Zar Ni Tin Win, Htay Htay Win, dan Myint Thein dengan memanfaatkan potensi air terjun yang berlokasi di Gunung Mya Kha Nauk dekat Mandalay Technological University. Pengujian tersebut menggunakan debit 0,0091 m³/s dan head 6 m. Pada penelitian ini debit aliran dapat diatur melalui variasi bukaan gate valve 30°, 60° dan 90° (bukan penuh). Pada setiap bukaan gate valve dilakukan variasi bukaan sudu pengarah dengan posisi top, middle, bottom. Berdasarkan hasil pengujian didapat putaran tertinggi sebesar 760 rpm pada saat sudut gate valve 90° (bukaan penuh) dengan posisi sudu pengarah middle sehingga daya output yang dihasilkan adalah 260 Watt dan efisiensi sebesar 86%.

Dalam hal ini dapat diketahui bahwa adanya penambahan sudu pengarah didalam nosel turbin crossflow berpengaruh terhadap daya output dan mampu meningkatkan efisiensi turbin yang dihasilkan, sebab melalui variasi bukaan sudu pengarah menyebabkan debit air

Modifikasi Rumah Turbin Crossflow Dengan..... Gatot, dkk yang menumbuk sudu jalan menjadi berubah sehingga berpengaruh pada daya turbin dan efisiensi yang dihasilkan. Semakin kecil debit air, maka daya turbin yang dihasilkan juga semakin kecil namun efisiensi turbin yang diperoleh semakin besar.



Gambar 1. Diagram Kecepatan

Pernyataan mendasar untuk efisiensi maksimum turbin crossflow diturunkan oleh Donat Banki (Mackmore dan Merryfield 1949) sebagai berikut:

$$\eta_{\max} = \cos^2 \alpha_1$$

Persamaan diatas menunjukkan bahwa α_1 harus dibuat sekecil mungkin untuk mencapai efisiensi maksimum. Mackmore dan Merryfield menyarankan mengadopsi sudut $\alpha_1 = 16^\circ$. Mackmore dan Merryfield menyarankan hubungan antara nilai α_1 dan β_1 sebagai berikut :

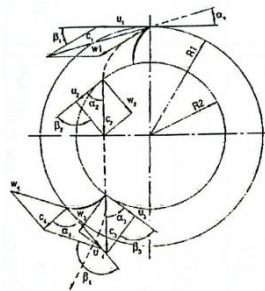
$$\tan \beta_1 = 2 \tan \alpha_1$$

$$\text{Jika } \alpha_1 = 16^\circ$$

$$\text{Maka } \beta_1 = 29^\circ 83' \text{ atau } 30^\circ.$$

Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan cara memposisikan bukaan sudu pengarah untuk menjaga head konstan walaupun dilakukan variasi beban. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bukaan sudu pengarah terhadap kinerja turbin crossflow.

Untuk mengetahui kinerja dari turbin crossflow, dapat digunakan rumus-rumus perhitungan daya dan efisiensi sistem.



Gambar 2. Segitiga Kecepatan pada Blade Turbin Crossflow

Modifikasi Rumah Turbin Crossflow Dengan..... Gatot, dkk

Debit (Q)

Diameter dalam pipa (D1) = 63,5 mm

Diameter orifice (D2) = 50,8 mm

A1 = 0,0031653 m²

A2 = 0,0020258 m²

Cd = 0,63

$$Q = \frac{Cd \cdot A_1 \cdot A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta x \cdot \left(\frac{S_{hg}}{S_{air}} - 1 \right)}$$

$$k = \frac{Cd \cdot A_1 \cdot A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \left(\frac{S_{hg}}{S_{air}} - 1 \right)}$$

k = 0,026116

$$Q = k \cdot \sqrt{\Delta x}$$

$$Q = 0,026116 \cdot \sqrt{\Delta x} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1)$$

Dimana :

Q = debit [m³/s]

k = konstanta

Δx = perbedaan tekanan di orifice [m]

• Head(H)

$$H = \frac{p}{\rho \cdot g} \quad [\text{m}] \quad (2)$$

Dimana :

H = head [m]

p = tekanan air terukur [N/m²]

ρ = massa jenis air [kg/m³]

g = percepatan gravitasi [m/s²]

• Daya Hidrolik (Ph)

$$P_h = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H \quad [\text{Watt}] \quad (3)$$

Dimana :

P_h = daya hidrolik [Watt]

ρ = massa jenis air [kg/m³]

Q = debit [m³/s]

H = head [m]

Modifikasi Rumah Turbin Crossflow Dengan..... Gatot, dkk

- Daya Listrik (P_g)

$$P_g = V \cdot I \quad [\text{Watt}] \quad (4)$$

Dimana :

$$P_g = \text{daya listrik} \quad [\text{Watt}]$$

$$V = \text{tegangan output} \quad [\text{Volt}]$$

$$I = \text{arus} \quad [\text{Ampere}]$$

- Efisiensi Sistem (η)

$$\eta = \frac{P_g}{P_h} \cdot 100\% \quad [\%] \quad \text{Dimana :} \quad (5)$$

$$\eta = \text{efisiensi sistem} \quad [\%]$$

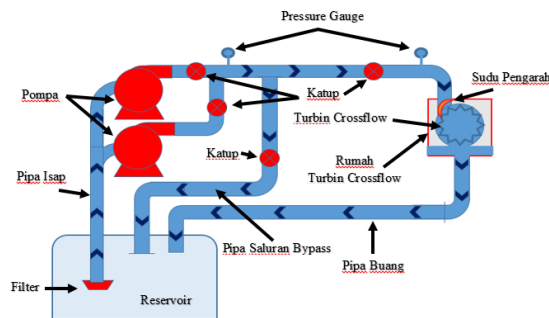
$$P_g = \text{daya listrik} \quad [\text{Watt}]$$

$$P_h = \text{daya hidrolik} \quad [\text{Watt}]$$

METODE PENELITIAN

Tahap perancangan

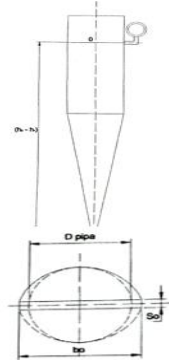
- **Desain Instalasi Turbin *Crossflow* yang Sudah Ada di Laboratorium Teknik Konversi Energi**



Gambar 3. Desain Instalasi Turbin *Crossflow* yang Sudah Ada di Lab. Teknik Konversi Energi

- **Rumah Turbin *Crossflow* Sebelum Dimodifikasi**

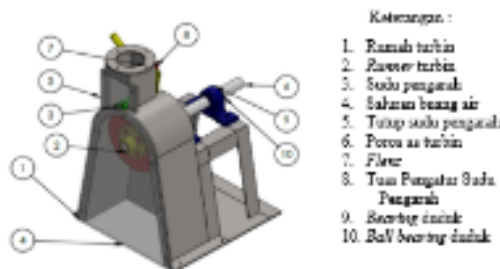
Rumah turbin *crossflow* sebelum dimodifikasi terbuat dari bahan besi yang mudah berkarat. Kondisi rumah turbin yang sudah tidak baik dan besar luas penampang nosel yang tidak bisa diatur sehingga tidak dapat dioperasikan pada *head* konstan dengan debit yang variabel, maka perlu didesain ulang agar luas penampang nosel dapat diatur dengan penambahan sudu pengarah pada nosel tersebut.



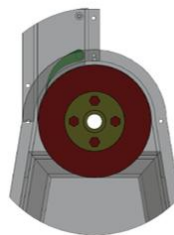
Gambar 4. Nosel pada Rumah Turbin *Crossflow* Sebelum Dimodifikasi

• **Desain Rumah Turbin Crossflow Setelah Dimodifikasi**

Dalam rancangan ini dibuat rumah turbin yang lebih compact dan kuat dengan pemilihan bahan yang tidak mudah berkarat. Melalui modifikasi rumah turbin dengan menambah sudu pengarah pada nosel yang luas penampangnya dapat diatur sehingga dapat dioperasikan pada head konstan dengan debit yang variabel.



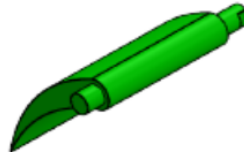
Gambar 5. Desain Rumah Turbin Crossflow Setelah Dimodifikasi



Gambar 6. Desain Sudu Pengarah di Dalam Rumah Turbin

• **Desain Sudu Pengarah**

Sudu pengarah berfungsi mengatur debit air dari nosel dan mengarahkannya saat menumbuk sudu jalan agar air dari nosel dapat seluruhnya menumbuk runner sehingga diperoleh head yang konstan. Pembuatan desain menggunakan software solid work. Bahan pembuatan sudu pengarah adalah stainless steel dengan ketebalan 5 mm yang kuat menahan energi tekan air.



Gambar 7. Desain Sudu Pengarah

Tahap Pengerjaan

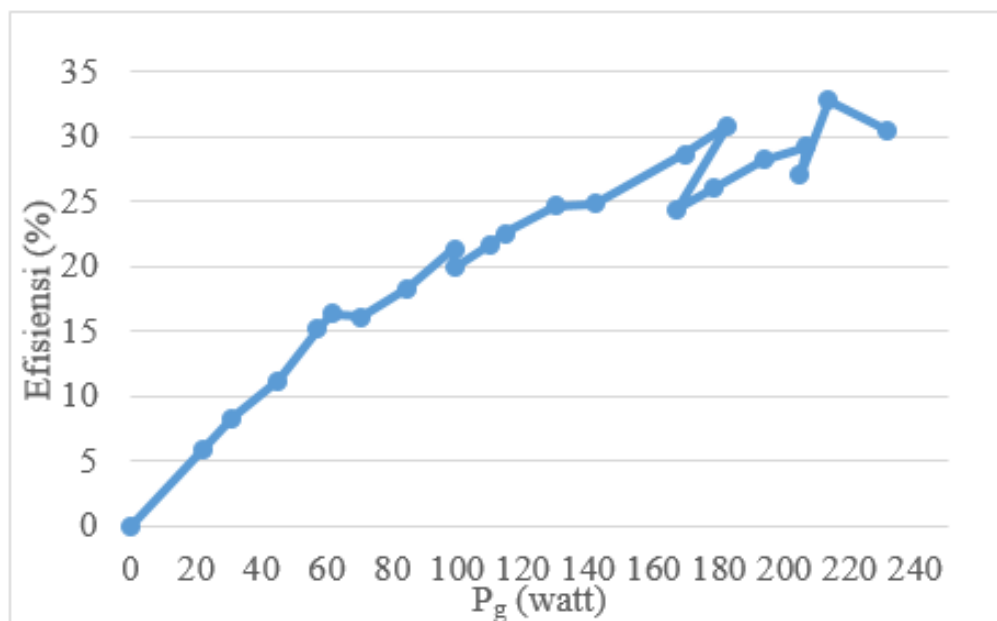
Pada tahap pengerjaan menjelaskan alat, bahan, dan langkah yang dilakukan untuk membuat tiap komponen penyusun turbin *crossflow* mulai dari bahan mentah hingga menghasilkan komponen yang siap dirakit. Adapun pada tahap ini meliputi pembuatan rumah turbin dan sudu pengarah.

Tahap Perakitan

Tahap perakitan merupakan proses penggabungan komponen-komponen menjadi satu kesatuan dengan memperhatikan urutan yang telah ditentukan, sehingga menjadi sebuah mesin yang siap digunakan sesuai dengan tujuan yang direncanakan. Langkah awal untuk melakukan perakitan yaitu melakukan pengecekan komponen-komponen yang akan dipasang, menyiapkan alat bantu serta melakukan langkah perakitan.

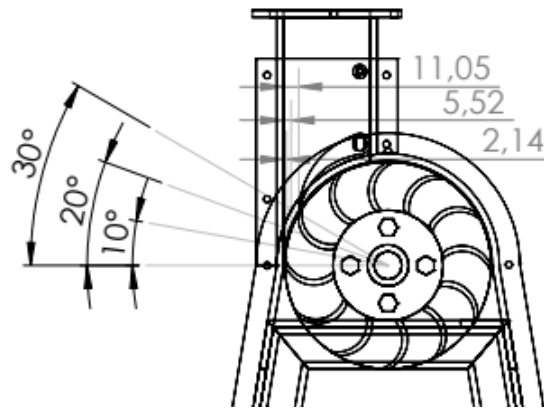
HASIL DAN PEMBAHASAN

Turbin *crossflow* sebelum dimodifikasi



Gambar 8. Grafik Hubungan Efisiensi Sistem Terhadap Daya Listrik Sebelum Dimodifikasi

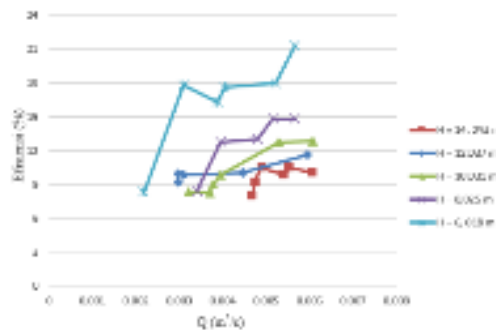
Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi sistem tertinggi diperoleh pada daya generator 220 W yaitu $\eta = 34\%$.



Gambar 9. Nosel Turbin *Crossflow* Setelah Dimodifikasi

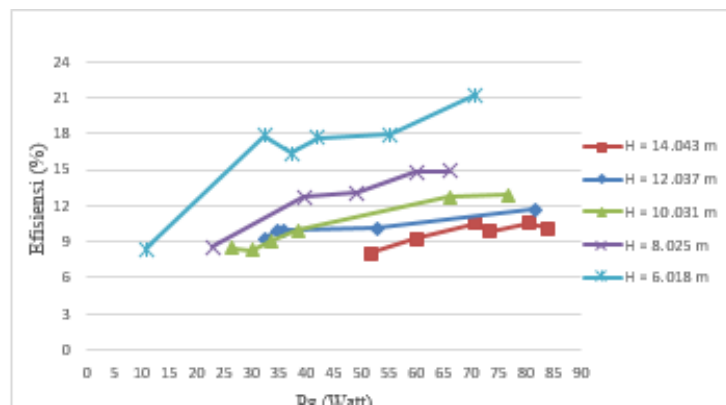
Pada gambar tersebut ditunjukkan desain nosel yang luas penampangnya dapat diatur, maka ketika dilakukan variasi debit tidak akan menyebabkan *head* berubah. Dengan adanya sudu pengarah yang dapat diatur bukaannya maka ketika debitnya berubah dapat di *setting* ulang luas penampangnya untuk menjaga agar *head* konstan, sehingga dapat dilakukan pengujian sistem PLTA turbin *crossflow* seperti dengan kondisi yang ada di lapangan yaitu $H = \text{konstan}$ dan $V = \text{konstan}$.

Grafik Hubungan Antara Efisiensi Sistem Terhadap Debit



Gambar 10. Grafik Hubungan Efisiensi Sistem terhadap Debit Setelah Dimodifikasi
 Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi diperoleh pada $H = 6,018$ m dengan $Q = 0,00566$ m³/s menghasilkan $\eta = 21,25\%$.

Modifikasi Rumah Turbin Crossflow Dengan..... Gatot, dkk
Grafik Hubungan Antara Efisiensi Sistem Terhadap Daya Listrik



Gambar 11. Grafik Hubungan Efisiensi Sistem terhadap Daya Listrik Setelah Dimodifikasi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi diperoleh pada H = 6,018 m dengan $P_g = 70,8$ Watt menghasilkan $\eta = 21,25\%$.

SIMPULAN

Berdasarkan modifikasi rumah turbin crossflow dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Spesifikasi turbin crossflow yang digunakan dapat beroperasi pada head 6,018 m sampai 14,043 m dengan variasi debit pada range 0,002 m³/s sampai 0,007 m³/s.
2. Setelah dilakukan pengujian karakteristik sistem PLTA didapat efisiensi tertinggi pada head 6,018 m ketika debit 0,00566 m³/s dengan efisiensi 21,25%.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Anwir, BS.1994.Pompa 1: Jakarta.Bhratara
[2] Bakromin,Sari Lovina Wulan,Kurniawan Sigit.2009.Modifikasi Runner Turbin Crossflow Meningkatkan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Dengan Variasi Jumlah Blade Dan Perbandingan Diameter Dalam Dengan Diameter Luar.Tugas Akhir.Politeknik Negeri Semarang.
[3] Fritz ,Dietzel.1980. Turbin Pompa dan Kompresor: Jakarta. Erlangga.
[4] Haimerl, L.A. 1960. The Cross Flow Turbine. Jerman Barat.
[5] Iman Hasrat Gule, Ir. Husin Ibrahim, MT.2015.Kaji Eksperimental Pengaruh Sudu Pengarah Terhadap Efisiensi Turbin Crossflow.
[6] Mockmore C.A., Merryfield Fred. 1949. The Banki Water Turbine. Bulletin Series No.25 Engineering Experimental Station, Oregon State System of Higher education, Oregon State College, Corvalis.

Modifikasi Rumah Turbin Crossflow Dengan..... Gatot, dkk

[7] Priongko Anggit, Mukhammad ,Mukhammad Wahyu , Yaqin Nurul dan Norman

Teguh Tyasdi.2007 Pengaruh Perbandingan Diameter Luar Runner Terhadap

Unjuk Kerja Turbin Crossflow.Tugas Akhir.Politeknik Negeri Semarang.

[8] Tin Win Zar Ni,Win Htay Htay,Thein Myint.2016.Design,Contruction and

Performance test Cross-Flow Turbine.