Analysis of Power and Efficiency of Cross-flow Turbine Due to Changes in Runner Rotation

Analisis Daya dan Efisiensi Turbin *Cross-flow* Akibat Perubahan Putaran Runner

Lilik Darwito^{1*}, Hendri Nurdin¹, Purwantono¹, Andre Kurniawan¹

Abstract

The Cross-flow turbine is one type of hydroelectric power plant that is frequently used. This is an experimental study with the goal of analyzing the power and efficiency produced by the turbine as a result of runner rotation adjustments. The runner rotation variations used are 261 rpm, 300 rpm, 320 rpm, 340 rpm, 360 rpm, 380 rpm, 392 rpm, and 423 rpm with a head as high as 5 meters and an incoming water discharge of 0.2 m³/s. The best results shown when runner rotate at 423 rpm. It's showed the maximum power 788.85 Watt and best efficiency 80.49%. The power and efficiency produced by a runner are proportional to the rotational speed of the runner; the higher the runner's rotation, the greater the power and efficiency produced. To summarize, the best way to achieve the best turbine performance is to maximize runner rotation.

Keywords

Cross-flow Turbine, Runner Rotation, Power, Efficiency

Abstrak

Salah satu jenis pembangkit listrik tenaga air yang sering digunakan adalah turbin tipe *Cross-flow*. Penelitian ini berupa penelitian eksperimen yang bertujuan untuk menganalisis daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin akibat perubahan putaran *runner*. Variasi putaran *runner* yang digunakan yaitu 261 rpm, 300 rpm, 320 rpm, 340 rpm, 360 rpm, 380 rpm, 392 rpm, dan 423 rpm dengan *head* setinggi 5 meter serta debit air yang masuk 0,2 m³/s. Hasil penelitian menunjukkan daya dan efisiensi maksimum didapatkan pada putaran *runner* 423 rpm yaitu 788,85 Watt dengan efisiensi 80,49%. Terbukti bahwa daya dan efisiensi sebanding dengan kecepatan putaran *runner*, semakin tinggi putaran *runner* maka daya dan efisiensi yang dihasilkan juga semakin besar. Dapat disimpulkan, untuk mendapatkan kinerja turbin yang maksimal yaitu dengan memaksimalkan putaran *runner*.

Kata Kunci

*Turbin *Cross-flow*, Putaran Runner, Daya, Efisiensi*

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar, Padang 25131, Indonesia

*darwitolilik@gmail.com

Submitted : January 25, 2022. Accepted : February 24, 2022. Published : February 25, 2022.

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu bentuk tenaga yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil yang saat ini sudah semakin berkurang. Tenaga air saat ini banyak dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik pada daerah terpencil yang belum terjangkau listrik namun memiliki potensi aliran sungai yang cukup [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Air memanfaatkan air untuk memutar generator dengan mengubah energi potensial dan energi kinetik air untuk menghasilkan energi listrik [2]. Jenis pembangkit listrik yang sering digunakan adalah pembangkit listrik *pico hydro*. *Pico hydro* adalah istilah yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga air di bawah 5 Kw [3].

Pembangkit listrik tenaga *pico hydro* merupakan salah satu alternatif pembangkit listrik skala kecil yang dapat diterapkan di daerah pedesaan dimana tersedia aliran sungai yang mempunyai debit air yang kontinu untuk menghasilkan daya listrik [4]. Prinsip kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga *Pico Hydro* (PLTPH) ini adalah memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun [5]. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi gerak yang selanjutnya energi gerak tersebut dikonversi menjadi energi listrik oleh generator pada turbin [6]. Turbin air inilah yang digunakan untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik [7]. Selanjutnya energi mekanik ini akan diubah menjadi energi listrik oleh generator turbin.

Berdasarkan prinsip kerjanya turbin dibedakan menjadi dua yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Turbin impuls adalah turbin air yang bekerja dengan mengubah seluruh energi air yang terdiri dari energi potensial, tekanan, kecepatan menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi listrik [8]. Contoh jenis turbin impuls yaitu turbin Pelton, turbin Turgo dan turbin *Cross-flow* [9]. Jenis turbin yang digunakan pada penelitian ini yaitu turbin *Cross-flow* dengan ketinggian jatuh air (head) berkisar 5 meter. Turbin tipe *Cross-flow* merupakan jenis turbin air bertekanan yang sering dipakai pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang merupakan salah satu contoh dari pembangkit listrik *pico hydro* [10].

Komponen utama turbin terdiri dari rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang berputar pada sistem seperti sudu, poros dan bantalan [11]. Sedangkan stator adalah bagian diam yang ada pada sistem yang terdiri dari nozel dan rumah turbin. Pada rumah turbin terdapat nozel sebagai tempat aliran air masuk, kemudian di dalam nozel diberi *guide vane* (katup) yang berfungsi mengatur debit air yang masuk untuk memutar *runner* turbin [12].

Tuntutan utama dari perancangan turbin *Cross-flow* ini yaitu untuk menyesuaikan kondisi lapangan dengan bentuk turbin yang akan di pasang sehingga menghasilkan listrik yang optimal. Nagari Tandikek Utara yang berada di Kabupaten Padang Pariaman dipilih sebagai lokasi pemasangan turbin tipe *Cross-flow* ini karena daerah ini masih sulit mendapatkan pasokan energi listrik yang cukup, dan memiliki potensi aliran air sungai yang cocok untuk memutar generator tipe *Cross-flow*.

Pada penelitian ini turbin akan diuji coba, kemudian datanya akan dianalisa guna melihat besarnya daya serta efisiensinya saat terjadi perubahan tingkat putaran *runner*. Variasi putaran *runner* dilakukan dengan melakukan variasi bukaan sudut *guide vane* yang digunakan. Dari analisa tersebut akan diketahui pada putaran berapa turbin menghasilkan daya dan efisiensi maksimalnya. Penelitian sebelumnya pernah dilakukan pada tahun 2016 oleh Muliawan dengan nilai putaran *runner* serta jumlah sudu yang berbeda. Pada penelitian tersebut dihasilkan efisiensi sebesar 28,34% pada tingkat putaran *runner* 70 rpm [17].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berupa penelitian eksperimen yang bertujuan untuk menganalisis daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin akibat perubahan putaran *runner*. Variabel bebas pada penelitian ini berupa variasi putaran *runner* yang digunakan yaitu 261 rpm, 300 rpm, 320 rpm, 340 rpm, 360 rpm, 380 rpm, 392 rpm, dan 423 rpm. Penelitian ini dilakukan di Nagari Tandikek Utara, Kabupaten Padang Pariaman. Daerah ini merupakan salah satu daerah yang masih sulit mendapatkan aliran listrik. Berikut adalah rancangan turbin yang dibuat menggunakan aplikasi Autodesk Inventor Professional 2017 ditunjukkan oleh Gambar 1.

Gambar 1. Rancangan Turbin *Cross-flow*

Turbin *Cross-flow* yang telah dibuat selanjutnya di pasang dengan *head* (ketinggian air jatuh) 5 meter serta debit air 0,2 m³/s. Berikut adalah gambar alat yang sudah terpasang dengan input debit air sungai serta output daya generator pada ditunjukkan oleh Gambar 2.

Gambar 2. Turbin *Cross-flow* dengan input debit air dan output daya generator

Setelah pemasangan alat dilakukan proses untuk mencari nilai putaran *runner* yang digunakan yaitu 261 rpm, 300 rpm, 320 rpm, 340 rpm, 360 rpm, 380 rpm, 392 rpm dan 423 rpm. Untuk mendapatkan variasi putaran ini yaitu dengan memvariasikan bukaan sudut *guide vane* pada turbin yang selanjutnya diukur menggunakan *tachometer*. Persentasi bukaan *guide vane* yang digunakan diambil dari pengukuran sudut yang dibuka dikurang dengan total Keseluruhan sudut bukaan yang ada. Gambar 3 berikut adalah salah satu bentuk variasi bukaan sudut *guide vane* yang digunakan untuk mengukur nilai putaran *runner*.

Gambar 3. Bentuk Variasi Buka-an Sudut *Guide Vane* yang digunakan

Setelah mendapatkan variasi putaran *runner* yang digunakan selanjutnya dilakukan pengukuran berupa nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh turbin menggunakan multimeter. Pengukuran ini dilakukan pada generator turbin dengan menggunakan multimeter untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan oleh masing-masing variasi putaran *runner*. Berikut adalah gambar proses pengambilan data yang dilakukan dilapangan ditunjukkan oleh Gambar 4.

Gambar 4. Proses Pengambilan Data

Setelah tahap pengukuran dilakukan, selanjutnya data yang telah didapatkan diolah menggunakan persamaan yang ada dan dilakukan analisis. Berikut adalah rumus perhitungan yang digunakan untuk menentukan debit air yang masuk [10]:

$$Q = v \times A \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan: Q = debit air yang masuk (m^3/s)

v = kecepatan aliran air (m/s)

A = luas permukaan (m^2)

Dimana untuk mencari debit terlebih dahulu menentukan kecepatan air dengan rumus [2]:

$$v = \sqrt{2 \times g \times H} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan: v = kecepatan air (m/s)

g = gravitasi ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

H = head (m)

Setelah didapatkan nilai debit air selanjutnya yaitu menentukan nilai daya air (P_{air}) dengan persamaan sebagai berikut [13]:

$$P_{\text{air}} = \rho \times g \times H \times Q \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan: P_{air} = daya air (Watt)

ρ = massa jenis air (Kg/m^3)

g = gravitasi ($g= 9,8 \text{ m/s}^2$)

H = head (m)

Q = debit air yang masuk (m^3/s)

Hasil pengukuran berupa tegangan dan arus digunakan untuk mencari nilai dan efisiensi turbin menggunakan persamaan berikut [14]:

$$P_{out} = V \times I \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan: P_{out} = daya keluaran (Watt)

V = tegangan (Volt)

I = arus (Ampere)

Daya listrik yang telah didapatkan digunakan untuk mencari nilai efisiensi turbin menggunakan rumus sebagai berikut [13]:

$$\eta_t = \frac{P_{out}}{P_{air}} \times 100\% \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan: η_t = Efisiensi turbin (%)

P_{out} = daya keluaran (Watt)

P_{air} = daya air (Watt)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil pengukuran berupa nilai tegangan dan arus dari variasi putaran *runner* yang digunakan yaitu 261 rpm, 300 rpm, 320 rpm, 340 rpm, 360 rpm, 380 rpm, 392 rpm, dan 423 rpm. Data pendukung lainnya yaitu Head (ketinggian) yang digunakan yaitu 5 meter, jumlah sudu yang digunakan sebanyak 20 buah, diameter pipa 15,8 cm dan panjang pipa 16,6 meter dengan debit air yang masuk yaitu $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Nilai daya dan efisiensi rata-rata masing-masing variasi putaran *runner* ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Rata-rata Daya Keluaran dan Efisiensi Turbin

Putaran Runner (Rpm)	Sudut Buka Guide Vane (°)	Tegangan (Volt)	Arus (A)	Daya Keluaran (Watt)	Efisiensi (%)
261	76,5	24,16	0,23	5,56	0,57
300	49,5	51,53	1,72	88,63	9,04
320	44,1	77,90	2,54	197,87	20,19
340	37,8	91,10	3,11	283,32	28,91
360	32,4	105,50	3,70	390,35	39,83
380	27	129,50	4,21	545,20	55,63
392	4,5	130,60	4,45	581,17	59,30
423	13,5	146,90	5,37	788,85	80,49

Tabel 1 menunjukkan nilai rata-rata daya dan efisiensi dihasilkan oleh turbin. Pengukuran dilakukan masing-masing variasi sebanyak 3 kali percobaan agar data didapat lebih akurat dan mengurangi kesalahan yang terjadi. Hasil perhitungan daya untuk masing-masing variasi yang digunakan yaitu 5,56 Watt; 88,63 Watt; 197,87 Watt; 283,32 Watt; 390,35 Watt; 545,20 Watt; 581,17 Watt dan 788,85 Watt. Efisiensi turbin yang dihasilkan yaitu 0,57%; 9,04%; 20,19%; 28,91%; 39,83%; 55,63%; 59,30% dan 80,49%. Untuk melihat

hubungan antara perubahan putaran *runner* dan daya turbin yang dihasilkan ditunjukkan oleh Gambar 5 berikut.

Gambar 5. Grafik hubungan perubahan putaran *runner* dengan daya turbin yang dihasilkan

Gambar 5 di atas menunjukkan hubungan pengaruh perubahan putaran *runner* terhadap daya listrik yang dihasilkan. Grafik menunjukkan hubungan linear atau sebanding antara putaran *runner* yang digunakan dan daya listrik yang dihasilkan. Namun setelah mencapai putaran *runner* maksimum daya yang dihasilkan mengalami penurunan hal ini dikarenakan bukaan sudut yang digunakan juga semakin kecil. Selain itu putaran *runner* juga berpengaruh terhadap efisiensi turbin yang dihasilkan, hubungan antara putaran *runner* dan efisiensi dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.

Gambar 6. Grafik hubungan perubahan putaran *runner* dan efisiensi turbin

Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan putaran *runner* yang digunakan dengan efisiensi turbin yang dihasilkan. Sama halnya dengan daya, efisiensi turbin juga akan semakin tinggi jika putaran *runner* yang digunakan juga besar. Hal ini terlihat pada gambar yang mengalami peningkatan seiring putaran *runner* yang digunakan, namun setelah mencapai putaran *runner* maksimum efisiensi yang dihasilkan semakin kecil karena putaran *runner*nya mengalami

penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa putaran *runner* yang digunakan juga berpengaruh terhadap efisiensi turbin yang dihasilkan.

Pembahasan

Hasil perhitungan berupa daya dan efisiensi turbin yang dihasilkan menggunakan variasi putaran *runner*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa daya listrik yang dihasilkan akan semakin besar jika putaran *runner* yang digunakan juga semakin besar. Dari variasi putaran *runner* yang digunakan nilai daya maksimal didapatkan pada putaran 423 rpm yaitu 788,85 Watt dengan efisiensi 80,49%. Hal ini juga terlihat pada grafik hubungan putaran *runner* terhadap daya dan efisiensi. Dan nilai daya minimum dihasilkan pada putaran *runner* 261 rpm yaitu 5,56 Watt dengan efisiensi 0,57%. Variasi nilai putaran *runner* ini juga diambil dari penelitian sebelumnya yang pernah dilakukan oleh Irawan (2018) yang menyebutkan putaran *runner* maksimal yaitu 321,1 rpm dengan bukaan sudut 75% [15] serta Sunardi (2016) menyebutkan bahwa putaran *runner* maksimum yang didapatkan yaitu 373 rpm dan minimum 291 rpm [16].

Hubungan antara perubahan putaran *runner* dengan daya dan efisiensi turbin ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dari grafik menunjukkan bahwa hubungan putaran *runner* dengan daya dan efisiensi yang dihasilkan sebanding/linear, namun mengalami penurunan setelah mencapai putaran maksimum. Daya yang dihasilkan turbin bergantung pada nilai putaran *runner* sedangkan nilai efisiensi turbin tergantung pada nilai daya yang dihasilkan [17]. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Muliawan (2016) yang menyebutkan bahwa semakin besar kecepatan putaran *runner* yang digunakan maka daya dan efisiensi yang dihasilkan juga semakin besar [17]. Dari penelitian yang telah dilakukan berharap agar alat ini dapat membantu masyarakat setempat dan menjadi contoh untuk daerah lainnya yang masih kesulitan mendapatkan aliran listrik. Untuk mendapatkan hasil kerja turbin yang maksimal peneliti menyarankan agar menggunakan putaran *runner* yang maksimal serta bukaan *guide vane* yang minimum.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan dua hal. Pertama, variasi putaran *runner* yang digunakan berpengaruh terhadap daya turbin yang dihasilkan. Dimana semakin besar nilai putaran *runner* yang digunakan maka daya yang dihasilkan juga akan semakin besar. Dari variasi putaran *runner* yang digunakan, daya maksimal yang didapatkan yaitu 788,85 Watt pada putaran *runner* 423 rpm. Kedua, variasi putaran *runner* yang digunakan berpengaruh terhadap efisiensi yang dihasilkan. Efisiensi juga dipengaruhi oleh daya yang dihasilkan. Dimana semakin besar nilai putaran *runner* maka daya yang dihasilkan semakin besar dan nilai efisiensi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Dari variasi putaran *runner* yang digunakan, nilai efisiensi maksimal yang didapatkan yaitu 80,49% pada putaran *runner* 423 rpm.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, untuk penelitian selanjutnya menambahkan corong pada *penstock* sebelum terhubung langsung ke *guide vane* agar lebih efisien dan aliran air yang masuk lebih maksimal.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Kelian, M. A. S. (2018). Kajian Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Di Sungai Wae Bobot Kecamatan Werinama Kabupaten Seram Bagian Timur. *Jurnal Simetrik* Vol.7, No.1, Juni 2017. 7(1), 8–12.
- [2] Astro, R. B., Doa, H., & Hendro, H. (2020). Fisika Kontekstual Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *Orbita: Jurnal Kajian, Inovasi Dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 6(1), 142. <https://doi.org/10.31764/orbita.v6i1.1858>
- [3] Anwar, S., Tamam, M. T., & Kurniawan, I. H. (2021). Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Menggunakan Konsep Hydrocat. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 4(1), 7.
- [4] Nakhoda, Y. I., Sulistiawati, I. B., Soetedjo, A. (2018). Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro. *Jurnal Aplikasi Dan Inovasi Ipteks "Soliditas" (J-Solid)*. 5068, 99–109.
- [5] Alipan, N., & Yuniarti, N. (2018). Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Pico-Hydro. *Jurnal Edukasi Elektro*. 2(2), 59–70.
- [6] Elbatran, A. H., Abdel-hamed, M. W., Yaakob, O. B., Ahmed, Y. M., & Ismail, M. A. (2015). *Jurnal Teknologi Hydro Power and Turbine Systems Reviews*. 5, 83–90.
- [7] Suswantoro, E., Gani, U. A., Taufiqurrahman. (2021). *Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Air Tipe Crossflow Terhadap Output PLTMH Skala Laboratorium*. 2(1), 81–89.
- [8] Harahap, P., & Laksono, H. A. (2019). Analisa Perbandingan Pengaruh Variasi Jumlah Sudu 4 Dan 8 Pada Turbin Angin Savonius Terhadap Tegangan Dan Arus Generator Dc. *Jurnal Teknik Elektro*. 2(1), 1–8.
- [9] Kaniecki, M. (2016). *Modernization Of The Outflow System Of Cross-Flow Turbines*. January 2002, 2008–2010.
- [10] Riadi, D., Lapis, R., Nurdin, H., & Muliarti, M. (2021). Analisis Kecepatan Air Masuk Terhadap Bukaannya Guide Vane Turbin Cross-Flow Skala Pico Hydro Dengan Simulasi Cfd. *Jurnal Vokasi Mekanika (Vomek)*, 3(3), 94–101.
- [11] Misbachudin Muh, Desylita Subang, Tri Wadagdo, Dan Moch. Yunus. (2016). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Di Desa Kayuni Kabupaten Fakfak Provinsi Papua Barat. *Jurnal Austenit*. 8, 1–12.
- [12] Mehr, G., Durali, M., Khakrand, MH, & Hoghooghi, H. (2021). Sebuah desain baru dan metodologi optimasi kinerja untuk turbin Cross-Flow hidrolik menggunakan simulasi numerik berturut-turut. *Energi Terbarukan*, 169, 1402–1421.
- [13] Tirono, Mokhammad. Pemodelan Turbin Cross-flow Untuk Diaplikasikan Pada Sumber Air Dengan Tinggi Jatuh Dan Debit Kecil. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. April 2012. <https://doi.org/10.18860/neu.v0i0.1939>
- [14] Mafruddin and Irawan, D. (2018). Pengaruh Diameter dan Jumlah Sudu Runner Terhadap Kinerja Turbin Cross-Flow. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 7, no. 2.
- [15] Irawan, H. (2018). & Syamsuri, S. (2018). Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Turbin Pelton Dengan Variasi Bukaannya Katup Dan Beban Bola Lampu Menggunakan Inverter. *JHP17: Jurnal Hasil Penelitian*. 03(02), 80–85.
- [16] Sunardi, A., Hanun, Y. (2016). Pengaruh Perbandingan Runner Terhadap Performa Turbin Vertikal Bertingkat Dua. *Cyberpreneurship Innovative and Creative Exact and Social Science*. 2(2), 188–194.
- [17] Muliawan, A., & Yani, A. (2016). Analisis Daya Dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner. *Saintek: Jurnal Sains dan Teknologi*. 8(1), 1–9.