

Rancang Bangun Turbin Crossflow Pada *Spiral Vortex Turbine House* Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro

Sigit Setya Wiwaha^{*a)}, Ferdian Ronilaya^{a)}, Farhan Dhiya Ulhaq^{a)}, M. Naufal Fariz Muhfid^{a)}, Ricky Setyawan^{a)}, Sri Wahyuni Dali

(Artikel diterima: Juli 2021, direvisi: Oktober 2021)

Abstrak: *Javan Langur Center* merupakan pusat rehabilitasi lutung jawa yang berada di tengah hutan Coban Talun. Di kawasan tersebut terdapat sungai yang bisa dijadikan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro dengan turbin crossflow sebagai komponen utamanya. Pemilihan turbin crossflow bertujuan untuk menganalisis desain terbaru dari turbin crossflow, mengetahui pengaruh jumlah sudu terhadap kecepatan putaran turbin pada sistem PLTPH dan pengaturan debit untuk mendapatkan keluaran yang maksimal. Penelitian diawali dari pembuatan desain secara 2D kemudian dilanjutkan secara 3D dan aplikasikan dalam bentuk nyata. Pengumpulan data dilakukan dengan membuat alur kerja keseluruhan proses dengan metode analisis menggunakan perbandingan data pengujian dan pengukuran di lapangan. Setelah pengambilan data dan analisis turbin pada bukaan intake 100% menghasilkan kecepatan turbin sebesar 52 rpm tanpa puli dan menghasilkan keluaran 18 volt dengan arus 0,31 A ketika terhubung ke baterai.

Kata Kunci: PLTPH, Turbin Crossflow, Intake, Kecepatan

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok dan memiliki peranan penting dalam kehidupan. Tanpa disadari manusia membutuhkan listrik antara lain dalam sektor industri, peternakan, rumah tangga dan juga dalam sektor wisata pedesaan. Banyaknya aliran sungai dan danau yang ada di pedesaan merupakan modal awal untuk pengembangan energi air untuk menjadi energi listrik. Untuk mengeksplorasi energi di pedesaan juga harus memperhatikan ekosistem lingkungan agar tetap terjaga. Pengembangan energi listrik yang tepat untuk aliran sungai yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro.

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) adalah pembangkit listrik skala kecil kurang dari 5 kW yang menggunakan tenaga air sebagai penggerakannya. Dengan adanya potensi yang ada di pedesaan diharapkan mampu memenuhi kebutuhan energinya sendiri sehingga tidak mengalami kesulitan dalam distribusi aliran listrik meskipun di daerah terpencil. Salah satu tempat yang tepat untuk dialiri listrik yaitu Javan Langur Center (JLC).

Potensi yang ada di sekitar Javan Langur Center sangat mendukung. Di sekitar Javan Langur Center terdapat banyak anak sungai yang dapat dijadikan tempat untuk Pembangkitan Listrik Tenaga Piko Hidro dengan menggunakan turbin sebagai komponen utamanya.

Dari permasalahan tersebut, maka penulis merancang desain menggunakan turbin Crossflow pada *Spiral Vortex Turbine House*.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Sebuah Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) yaitu mengubah energi dari air yang bergerak menjadi energi listrik dengan mempergunakan sebuah turbin air yang terpasang pada generator listrik[1].

Berdasarkan output yang dihasilkan, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dapat dibedakan menjadi:

- *Large-hydro* : lebih dari 100 MW
- *Medium-hydro* : antara 15 – 100 MW
- *Small-hydro* : antara 1 -15 MW
- *Mini-hydro* : diatas 100 kW, dibawah 1 MW
- *Micro-hydro* : antara 5 kW – 100 kW
- ***Pico-hydro*** : **daya 100 W – 5 kW**

Dalam hal ini kita akan membahas Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) dengan daya keluaran 100 W – 5kW.

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro merupakan bagian dari jenis pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga air sebagai sumber penggerak turbin, hasil gerak atau putaran turbin tersebut digunakan sebagai pemutar rotor generator sehingga

dapat menghasilkan tenaga listrik dengan pengoperasian daya dibawah 5 kW[2].

2.2 Pengambilan Debit Air

Pengukuran debit dapat dilakukan secara langsung yaitu dengan alat pengukur arus, pelampung zat warna, dan lainnya. Keuntungan pengukuran secara langsung data debit hasil pengukuran dapat dihitung segera setelah pengukuran selesai dilakukan. Pengukuran tidak langsung dilakukan dengan cara mengukur parameter hidrolis aliran air yaitu luas penampang melintang aliran air, keliling basah, dan kemiringan garis energi. Nilai debit untuk pengukuran tidak langsung dapat diperoleh dari rumus berikut:

$$Q = A.V \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana,

Q : debit air (m³/s)

A : luas bagian penampang basah (m²)

V : kecepatan aliran rata-rata luas penampang basah (m/s)

2.3 Kriteria Pemilihan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin berdasarkan kondisi lingkungan sekitar yang menjadi tempat pengoperasian turbin, dengan mempertimbangkan parameter-parameter yang mempengaruhi sistem operasi turbin.

1.3.1 Berdasarkan Kelebihan dan Kekurangan Turbin

Setiap jenis turbin memiliki range atau batas kecepatan spesifiknya, seperti yang ditunjukkan tabel dibawah ini:

Ta bel 2. 1	No.	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
Kecepatan Turbin Air [3]	1	Turbin <i>Pelton</i>	12 < N _s < 25
	2	Turbin <i>Francis</i>	60 < N _s < 300
	3	Turbin <i>Crossflow</i>	40 < N_s < 200
	4	Turbin <i>Kaplan</i>	250 < N _s < 1000

Tabel 2. 2 Daerah Operasi Turbin

No.	Jenis Turbin	Variasi Head, m
1	<i>Kaplan dan Propeller</i>	2 < H < 35
2	<i>Francis</i>	10 < H < 350
3	<i>Pelton</i>	50 < H < 1000
4	<i>Crossflow</i>	6 < H < 100
5	<i>Turgo</i>	50 < H < 250

1.3.2 Berdasarkan Daya Turbin

Dengan mengetahui nilai kapasitas air serta tinggi air jatuh maka dapat diperoleh nilai daya air seperti persamaan dibawah ini [4]:

$$P_a = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana,

P_a : daya air (watt)

Q : kapasitas air (m³/s)

ρ : massa jenis air (kg/m³)

g : gaya gravitasi bumi (m/s²)

H : tinggi air jatuh (m)

Sedangkan daya yang dibangkitkan oleh turbin karena adanya energi kinetik dapat menggunakan rumus:

$$P_t = T \cdot \omega \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana,

P_t : Daya Turbin (watt)

T : Torsi (Nm)

ω : Kecepatan Keliling Turbin Atau Kecepatan Sudut

Untuk mendapatkan nilai torsi merupakan gaya (F) dikali dengan lengan radius puli. Sehingga, nilai torsi dihitung dengan persamaan:

$$T = F \cdot l \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana,

T : Torsi (Nm)

F : Gaya (N)

l : Lengan radius (m)

Sedangkan untuk nilai momen inersia (I) dan omega (ω) diperoleh dari rumus dibawah ini:

$$I = m \cdot r^2 \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \dots\dots\dots(2.6)$$

Berdasarkan uraian diatas, maka efisiensi turbin dapat diketahui dengan persamaan seperti dibawah ini:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \times 100\% \dots\dots\dots(2.7)$$

3. Metodologi

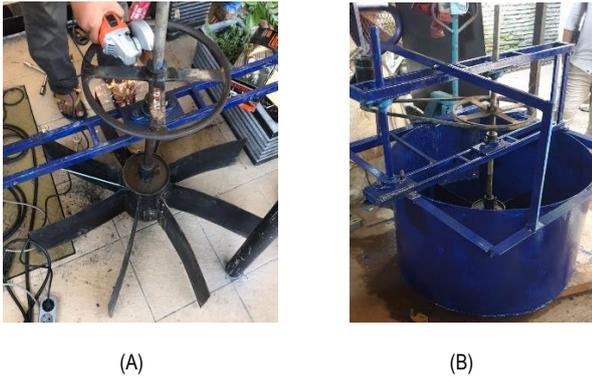
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan antara Desember 2020 – Juni 2021 di *Javan Langur Center*, Kota Batu, Jawa Timur.

3.2 Studi Literatur

Pada bagian ini penulis melakukan pendalaman konsep serta teori agar penulisan laporan akhir terarah dan selesai tepat pada waktunya. Studi literatur dilakukan dengan membaca buku, jurnal maupun buku referensi sebagai penunjang penyusunan laporan.

3.3 Desain Turbin



Gambar 3. 1 (A) Sudu Turbin (B) Rumah Turbin

Sudu yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga pikohidro ini berbentuk persegi panjang dengan panjang 34 cm, tinggi 20 cm, dan dengan jumlah 8 buah sudu. Sudu terbuat dari plat besi dengan ketebalan 2 mm.

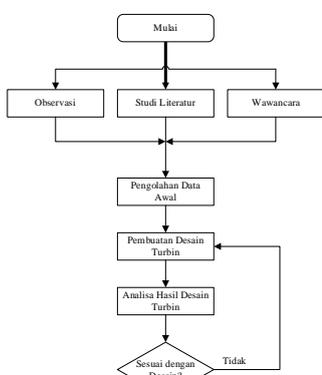
Dari gambar desain diatas, rumah turbin memiliki diameter 90 cm. panjang kerangka atas sama dengan kerangka bawah yakni 107 cm. untuk bagian penyangga kerangka terdapat perbedaan panjang untuk sisi yang dekat dengan intake turbin. Panjang penyangga kerangka untuk normalnya 90 cm, sedangkan panjang pada sisi dekat intake 70cm. Kemudian, tempat generator memiliki panjang dan lebar 10 cm dengan ketebalan plat 2 mm.

Desain ini menggunakan besi hollow kotak dengan ukuran 1 x 3 cm yang digunakan sebagai penyangganya. Kerangka turbin ini juga di desain tidak paten atau setiap sudut menggunakan baut, sehingga untuk membongkar kerangka turbin tersebut juga mudah. Pada bagian as turbin menggunakan besi pejal dengan ukuran 1 dim. Besi pejal dipilih karena sangat cocok untuk digunakan dan tidak mudah bengkok. Untuk bagian turbinnya menggunakan tong dengan ketebalan 2 mm. Tong ini dipilih karena dalam perawatannya sangat mudah.

Untuk menyangga as turbin diberi bearing atau laher. Selain sebagai penyangga turbin, bearing ini juga mempermudah putaran turbin. Jenis laher yang dipakai adalah laher pillow block, laher ini fleksibel dibagian tengahnya dan bisa mengikuti perubahan gerak dari as turbin.

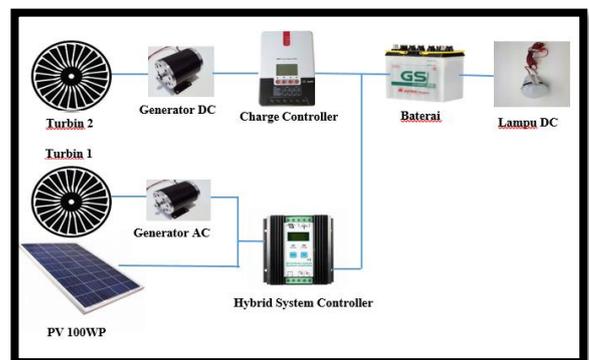
3.4 Diagram Alir Penyelesaian Masalah

Gambar diagram alir atau flowchart penyelesaian masalah pada laporan akhir.



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penyelesaian Masalah

3.4 Skema Rangkaian Alat



Gambar 3. 3 Skema Rangkaian Alat

4. Bahasan

4.1 Kinerja Sistem Turbin

Pengujian dan pengambilan data dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem dari turbin tersebut berhasil atau tidak.

4.1.1 Pengambilan Data Kecepatan Putaran Turbin (RPM)

Pengukuran kecepatan turbin dilakukan dengan menggunakan tachometer, dimana sinar inframerah ditembakkan langsung pada kertas scarlet yang dipasang pada poros turbin. Berikut tabel hasil pengukuran nilai kecepatan turbin.

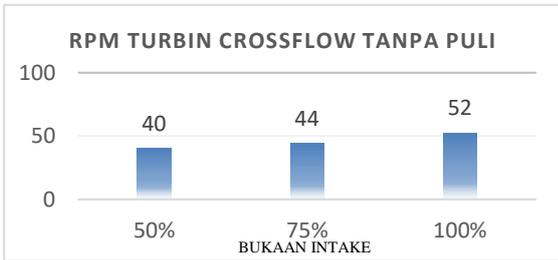
Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Kecepatan Turbin

No	Jumlah Sudu (Buah)	Bukaan Intake (%)	Kecepatan Turbin (RPM)		
			Tanpa puli	Terhubung ke Generator	Terhubung ke Baterai
1.	8	50	40	37	35
2.	8	75	44	41	40
3.	8	100	52	49	48

Dari Tabel 4.1 diatas, dapat dilihat bahwa kecepatan turbin mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya bukaan intake turbin, sementara saat terhubung ke generator dan baterai putaran turbin mengalami penurunan hal ini dikarenakan karena

adanya rugi gesek dari *belt*, *belt* ini berfungsi sebagai penghubung antar puli.

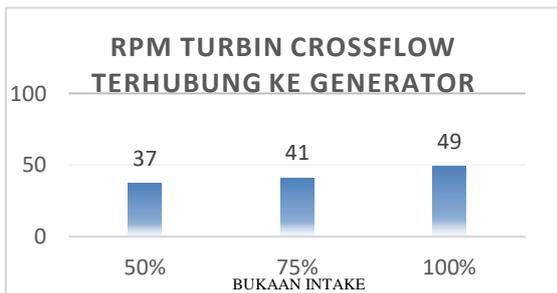
a. Kecepatan Turbin Crossflow Tanpa Puli



Gambar 4. 1 Kecepatan Turbin *Crossflow* Tanpa Puli

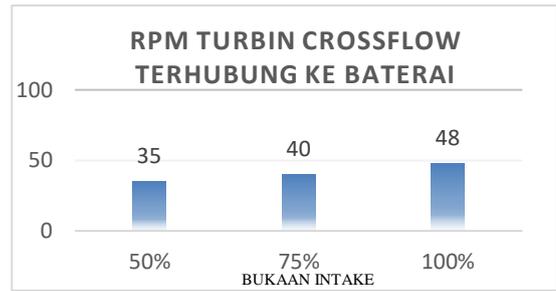
Dari gambar 4.1, dapat dilihat kecepatan turbin *crossflow* tanpa puli mengalami kenaikan seiring ditambahkan presentase bukaan intake. Hal ini dikarenakan air yang menumbuk sudu turbin mengalami kenaikan sehingga mempercepat putaran turbin. Pada keadaan ini, kecepatan tertinggi yang dicapai pada saat bukaan intake 100% sebesar 52 rpm, sedangkan nilai terendah yang dihasilkan pada saat bukaan intake 50% sebesar 40 rpm. Besarnya putaran turbin dipengaruhi oleh besarnya nilai debit air yang masuk ke turbin.

b. Kecepatan Turbin *Crossflow* Terhubung ke Generator



Gambar 4. 2 Kecepatan Turbin Terhubung Generator

Dari gambar 4.2 menunjukkan bahwa saat dihubungkan ke puli hingga tersambung ke generator, kecepatan putar turbin mengalami penurunan. Pada saat *intake* dibuka sebesar 50% turun menjadi 37 rpm dimana sebelumnya sebesar 40 rpm, setelah bukaan *intake* diperbesar hingga 100% kecepatannya naik hingga 49 rpm. Akan tetapi, kecepatan tersebut, mengalami penurunan sebelum dihubungkan dengan puli yakni mencapai 52 rpm.



Gambar 4. 3 Kecepatan Turbin Terhubung Baterai

Dari gambar 4.3 menunjukkan bahwa saat dihubungkan ke puli hingga tersambung ke baterai, kecepatan putar turbin mengalami penurunan. Pada saat *intake* dibuka sebesar 50% turun menjadi 35 rpm dimana sebelumnya sebesar 40 rpm, setelah bukaan *intake* diperbesar hingga 100% kecepatannya naik hingga 48 rpm. Akan tetapi, kecepatan tersebut, mengalami penurunan sebelum dihubungkan dengan puli yakni mencapai 52 rpm.

4.1.2 Efisiensi Turbin

Perhitungan debit air diperlukan untuk mengetahui daya air yang berkaitan dengan efisiensi turbin *crossflow*.

Dari pengukuran langsung dilapangan diperoleh data:

P (panjang *intake*) = 261 cm = 2.61 m

L (lebar *intake*) = 27 cm = 0.27 m

d (kedalaman air pada *intake*) = 11 cm = 0.11 m

V (kecepatan air pada intake): $\frac{2,61 \text{ m}}{7,18 \text{ s}} = 0,363 \text{ m/s}$

Debit dapat dirumuskan sebagai berikut:

$Q = A \cdot V$

$Q = (L \cdot d) \cdot V$

$Q = (0,27 \cdot 0,11) \text{ m}^2 \cdot 0,363 \text{ m/s}$

$Q = 0,0107 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q = 10,78 \text{ l/s}$

No.	Turbin	Bukaan Intake	Debit Air	
1	Crossflow	50%	5,39 l/s	0,00539 m ³ /s
		75%	8,08 l/s	0,00808 m ³ /s
		100%	10,78 l/s	0,01078 m ³ /s

Tabel 4. 2 Debit Air

Pada tabel 4.2 dapat diketahui bahwa bukaan intake mampu mempengaruhi debit air yang keluar. Bukaan intake 50% memiliki debit air sebesar 5,39 l/s, sedangkan bukaan intake 75% memiliki debit air 8,08 l/s dan bukaan intake maksimal 100% yaitu sebesar 10,78 l/s.

Untuk mengetahui tingkat efisiensi dari suatu turbin merupakan hasil pembagian daya turbin dengan daya air. Hasil ini dipengaruhi juga oleh debit air pada bukaan intake. Selain itu juga perlu melakukan perhitungan torsi dan kecepatan turbin. Hal ini dilakukan baik pada saat turbin dihubungkan dengan puli maupun tanpa puli. Berikut adalah nilai torsi yang diperoleh dengan menggunakan turbin *Crossflow*.

- Berat turbin tanpa puli (pembacaan *laugage*) (kg): 1,8 kg
- Panjang lengan radius (R): 0,5 m

Dicari nilai torsi turbin, sehingga:

- Mencari nilai torsi turbin
- $$T = F \cdot l$$
- $$= (m \cdot g) \cdot l$$
- $$= (1,8 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2) \cdot 0,5 \text{ m}$$
- $$= 8,83 \text{ Nm}$$

Setelah dilakukan perhitungan torsi, dapat diketahui nilai daya turbin. Sebelum mencari daya harus dicari kecepatan sudut terlebih dahulu saat putaran turbin 52 rpm:

$$P_t = T \cdot \omega$$

No	Bukaan Intake(%)	Torsi Turbin (Nm)		
		Tanpa puli	Terhubung Generator	Terhubung Baterai
1.	50	5,40	3,43	2,94
2.	75	7,36	4,91	3,92
3.	100	8,83	5,89	4,41

$$= T \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

$$= 8,83 \cdot \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 52}{60}$$

$$= 48,05 \text{ watt}$$

Dan untuk daya air menggunakan persamaan (2.2) sebagai berikut:

$$P_a = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

$$= 0,0107 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m}$$

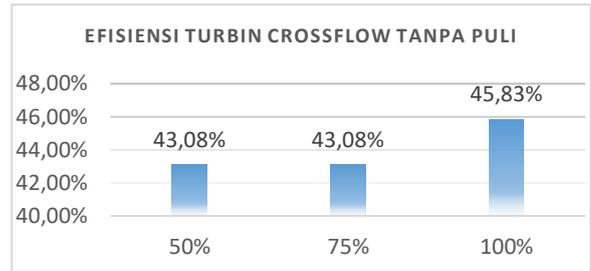
$$= 104,8 \text{ watt}$$

Sehingga efisiensi turbin sebesar:

$$\eta_t = \frac{48,05}{104,8} \times 100\%$$

$$= 45,8 \%$$

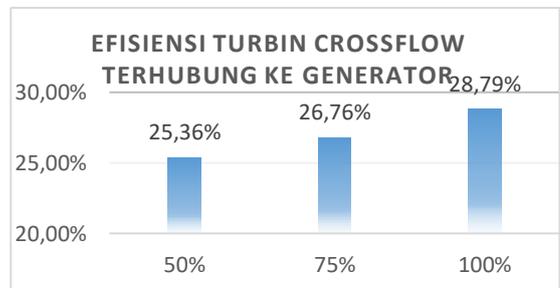
a. Efisiensi Turbin *Crossflow* Tanpa Puli



Gambar 4. 4 Efisiensi Turbin Crossflow Tanpa Puli

Pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa efisiensi turbin dengan bukaan *intake* 100 % memiliki nilai efisiensi yaitu sebesar 45,83%, sedangkan nilai efisiensi dari bukaan *intake* 50 % dan 75 % yaitu sebesar 43,08%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai efisiensi mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya bukaan *intake*. Semakin besar debit yang masuk menyebabkan torsi dan daya semakin besar sehingga nilai efisiensi mengalami kenaikan.

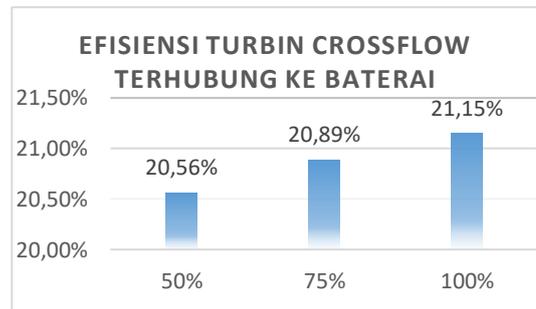
b. Efisiensi Turbin *Crossflow* Terhubung ke Generator



Gambar 4. 5 Efisiensi Turbin Terhubung Generator

Pada gambar 4.5 diatas, efisiensi turbin saat dihubungkan dengan *pulley*. Berbeda dengan tanpa puli, nilai efisiensi mencapai 45.83%, tetapi saat dihubungkan dengan puli efisiensinya turun hingga 28.79%. Pada saat bukaan *intake* sebesar 50% efisiensinya sebesar 25,36% dan efisiensi tertinggi pada saat bukaan *intake* 100% dengan efisiensi 28.79%.

c. Efisiensi Turbin *Crossflow* Terhubung ke Baterai



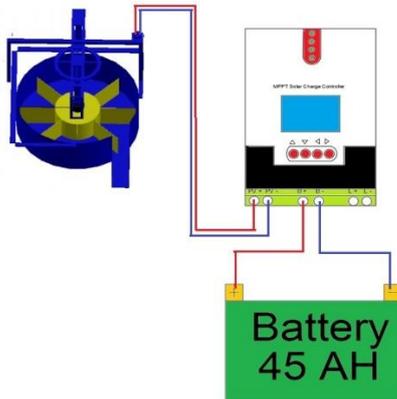
Gambar 4. 6 Efisiensi Turbin Terhubung Baterai

Pada gambar 4.6, efisiensi turbin saat dihubungkan dengan *pulley* dan terhubung ke baterai. Berbeda dengan tanpa puli, nilai efisiensi mencapai 45.8%, tetapi saat dihubungkan dengan puli efisiensinya turun hingga 21.15%. Pada saat bukaan *intake* sebesar 50% efisiensinya sebesar

20,56 % dan efisiensi tertinggi pada saat bukaan *intake* 100% dengan efisiensi 21.15%.

4.4 Sistem Kelistrikan

Generator yang digunakan yakni generator DC dengan *Permanent Magnet* didalamnya. Generator ini digunakan hanya untuk pengisian ke aki, dengan tegangan 24 V, 800 RPM, dan daya sebesar 400 watt.



Gambar 4. 7 Blok Diagram PLTPH

Berdasarkan gambar 4.7, Sumber Intake dari Turbin ke 2 berasal dari Outtake yang dimana intakenya turbin ke 1 didapat dari sungai yang ada di area *Javan Langun Centre*, dengan menggunakan penaik putaran (puli) sebagai penggerak dari generator sehingga dapat menghasilkan tegangan dan arus untuk mengisi baterai yang di control oleh *Charge Controller*. Tegangan dari generator dipengaruhi oleh putaran turbin, semakin cepat putaran turbin semakin besar pula tegangan yang keluar dari generator.

Tabel 4. 4 Hasil Pembacaan Tegangan dan Arus

Turbin	Bukaan Intake	Tegangan DC Generator(Volt)		Arus DC Generator (A)
		Tanpa Beban	Terhubung Ke Baterai	
Crossflow	50%	19	14	0,22
	75%	21	15	0,28
	100%	23	18	0,31

Pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa tegangan DC Generator tanpa beban yaitu sebesar 23 Volt dan terhubung ke baterai sebesar 18 Volt dengan Arus DC pada Generator sebesar 0,31 A

5. Simpulan

Turbin *crossflow* merupakan turbin persegi panjang bersifat *portable* serta menggunakan puli berdiameter 40 cm dan 2 cm dan *belt* berukuran A71 sebagai transmisinya yang mampu menghasilkan kecepatan turbin mencapai 52 rpm. Turbin *crossflow* yang terhubung ke baterai dengan bukaan intake maksimal yaitu

100% mampu menghasilkan daya keluaran yaitu sebesar 18 volt dengan arus 0,31 A dan mampu mencapai efisiensi sebesar 21,15%.

Daftar Pustaka

- [1] Arismunandar, W. (1997). *Penggerak Mula Turbin*. Bandung: ITB.
- [2] Arter, A., & Meier, U. (1990). *Harnessing Water Power On A Small Scale Hydraulics Engineering Manual*. Switzerland: SKAT.
- [3] Bird, J., & Ross, C. (2015). *Mechanical Engineering Principles Third Edition*. Abingdon: Routledge.
- [4] Haimer, L. (1960). *The Cross Flow Turbine*. Jerman Barat.
- [5] Kadir, A. (1996). *Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta: UIP.
- [6] Kuwahara, D. A. (1997). *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [7] Layman's, G. (1998). *On How To Develop a Small Hydro Site*. Belgica: European Small Hydropower Association (ESHA).
- [8] Marsudi, D. (2005). *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- [9] Niwes, Y. A. (2016). Modul Pembelajaran P1ta Berbasis Augmented Reality. Jakarta: *Jurnal Kilat*.
- [10] O.F.Patty. (1994). *Tenaga Air*. Surabaya: Erlangga.
- [11] Schnitzer, A. (2009). *Panduan Singkat Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Terjemahan oleh Catoer Wibowo. Jakarta: MHPP²