



Turbin *Crossflow* untuk PLTMH di Sungai Karuah, Kelurahan Lambung Bukit, Kec Pauh, Padang

Nota Effiandi¹, Yuliarman², Ichlas Nur³
^{1,2,3}Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang
bpk.notaeffiandi@gmail.com¹

Abstract

Utilization of electrical energy has been applied in almost all fields of life. One of them is the use of electricity to repel plantation pests. In the hills of Batu Busuk, around the Padang Karuah River, Kel Lambung Bukit, Kec. Pauh, Padang is one of the communities that has implemented the application. The people who are gardening there have worked together in making a Micro Hydro Power Plant (PLTMH) type waterwheel with a power of 1 kW with the current condition has been damaged and can not be used anymore. Seeing the potential of water owned according to the results of the field survey with a flowrate of 100 L / s and a head of 5 m, the use of *crossflow* turbines is one type of turbine that is suitable for replacing a windmill that has been damaged with a power generated of 3.7 kW. The *crossflow* turbine has an outer diameter of runner (D1) 0.3 m, runner width (L) 0.2 m and the number of blades (z) 28 pieces. With the use of the *crossflow* turbine, the potential of water will be maximally utilized.

Keywords: crossflow, runner, flowrate, head

Abstrak

Pemanfaatan energi listrik telah diaplikasikan hampir dalam semua bidang kehidupan. Salah satunya adalah penggunaan listrik untuk mengusir hama perkebunan. Di perbukitan Batu Busuk, disekitar Sungai Padang Karuah, Kel Lambung Bukit, Kec. Pauh, Padang adalah salah satu masyarakat yang telah menerapkan aplikasi tersebut. Masyarakat yang berkebun disana telah bergotong-royong dalam membuat sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) jenis kincir air dengan daya ± 1 kW dengan kondisi saat ini telah rusak dan tidak bisa dipakai lagi. Melihat potensi air yang dimiliki sesuai hasil survei lapangan dengan debit 100 L/det dan *head* 5 m maka penggunaan turbin *crossflow* adalah salah satu jenis turbin yang cocok digunakan untuk menggantikan kincir yang telah rusak dengan daya terbangkit 3,7 kW. Turbin *crossflow* tersebut mempunyai diameter luar *runner* (D1) 0,3 m, lebar *runner* (L) 0,2 m dan jumlah sudu (z) 28 buah. Dengan penggunaan turbin *crossflow* tersebut maka potensi air akan dapat dimanfaatkan secara maksimal.

Kata kunci: mikrohidro, pemutar, debit, ketinggian air

1. Pendahuluan

Dalam dunia modern saat ini dengan perkembangan teknologi yang sangat pesat, energi listrik berubah menjadi energi dasar kebutuhan manusia. Energi listrik telah menjangkau seluruh sendi-sendi kehidupan manusia. Energi listrik saat ini telah bertransformasi sebagai sumber energi untuk kebanyakan peralatan elektronik yang banyak dimanfaatkan oleh masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Selain pemanfaatan dalam kegiatan sehari-hari seperti memasak, penerangan, menghidupkan televisi maupun pemanfaatan dalam industri saat ini listrik juga dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai sumber

energi untuk mengusir hama atau musuh dalam perkebunan. Salah satu daerah yang telah menerapkan pemanfaatan listrik dalam mengusir hama tersebut adalah warga sekitar Batu Busuk, Kecamatan Pauh, Kota Padang yang mempunyai kebun di sekitar sungai Karuah, Kelurahan Lambung Bukit, Kecamatan Pauh, Padang. Di daerah tersebut banyak tanaman-tanaman produktif warga seperti durian dan coklat. Namun karena posisi daerah tersebut berada di tengah hutan maka banyak musuh atau hama yang mengganggu perkebunan warga seperti monyet, babi dan binatang lainnya. Atas dasar permasalahan tersebut maka warga yang mempunyai kebun di

daerah tersebut secara bergotong-royong membuat pagar listrik di area kebun untuk mengurangi dampak kerugian akibat hama. Tujuan pembuatan turbin tersebut selain dapat membantu masyarakat mencukupi kebutuhan listrik juga merupakan pengenalan teknologi energi terbarukan sebagai salah satu sumber energi masa depan dan sebagai salah satu acuan pengembangan keterampilan untuk kami sehingga mampu melakukan pemilihan jenis turbin secara tepat, melakukan perancangan dan pembuatan turbin *crossflow*.

Turbin *crossflow*, juga dikenal sebagai turbin air vertikal atau turbin S, merupakan salah satu jenis turbin air yang memiliki desain unik dan efisien dalam mengkonversi energi kinetik air menjadi energi mekanis. Keberadaan turbin *crossflow* telah menjadi solusi yang populer dalam pemanfaatan potensi energi air, terutama di sungai-sungai kecil dan aliran air yang memiliki karakteristik tertentu.

Dalam pengembangan teknologi energi terbarukan, turbin *crossflow* memegang peran penting karena kemampuannya untuk beroperasi pada aliran air dengan kecepatan rendah hingga menengah. Dengan desain vertikalnya, turbin ini dapat diintegrasikan dengan baik dalam lingkungan yang memiliki batasan ruang atau karakteristik aliran air yang tidak sesuai dengan turbin air horizontal tradisional.

Prinsip kerja turbin *crossflow* melibatkan aliran air vertikal yang melewati sudu-sudu turbin, menciptakan gaya angkat pada sudu-sudu tersebut. Energi angkat ini kemudian diubah menjadi putaran, menggerakkan poros turbin dan memicu pembangkitan energi listrik. Keunggulan desain ini termasuk kemampuan turbin untuk beradaptasi dengan variasi aliran air yang lebih stabil dan dapat diandalkan [1].

Turbin *crossflow* menggunakan *nozzle* persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner*. Pancaran air masuk turbin dan mengenai sudu sehingga terjadi konversi energi kinetik menjadi energi mekanis [2]. Air mengalir keluar membentur sudu dan memberikan energinya (lebih rendah dibanding saat masuk) kemudian meninggalkan turbin. *Runner* turbin dibuat dari beberapa sudu yang dipasang pada sepasang piringan paralel. Salah satu teknologi yang memanfaatkan potensi air dengan efisien adalah turbin *crossflow* [3].

Air, dalam bentuk sungai, danau, atau aliran air lainnya, memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan. Pemanfaatan energi air tidak hanya bersifat ramah lingkungan tetapi juga dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap diversifikasi portofolio energi suatu negara. Dengan sifatnya yang dapat diperbarui dan tidak

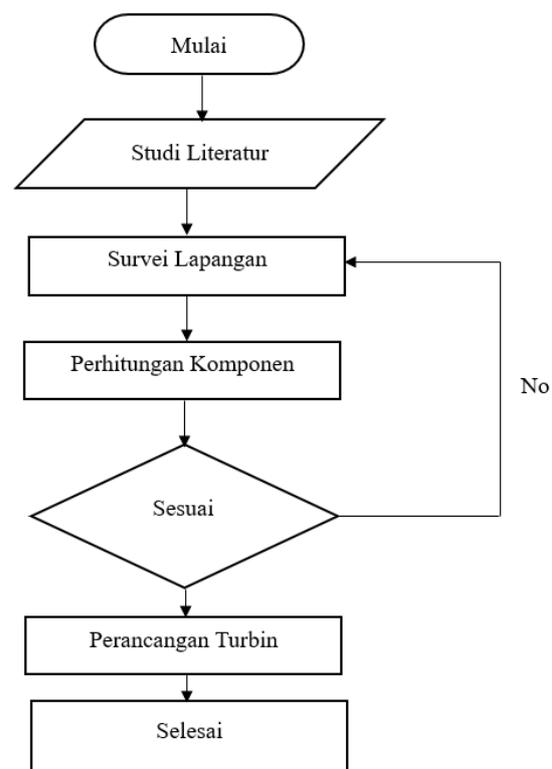
menghasilkan emisi gas rumah kaca, energi air memiliki peran strategis dalam menghadapi tantangan perubahan iklim.

Penelitian sebelumnya dengan judul Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur hanya mampu menghasilkan daya sebesar 162 Watt [4], sehingga hal ini perlu ditingkatkan lagi dengan membuat rancangan turbin yang dapat menghasilkan daya lebih besar.

Pada tulisan ini membahas khusus membahas studi kasus daerah perbukitan Batu Busuk, disekitar Sungai Padang Karuah, Kel Lambung Bukit, Kec. Pauh, Padang yang memiliki kebutuhan listrik lebih kurang 3 KW.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini terdapat beberapa proses yang dilakukan sebelum nantinya didapatkan rancangan mesin yang diinginkan. Dimulai dengan mencari data yang dibutuhkan untuk membuat mesin, studi literatur, survei lapangan, melakukan perhitungan komponen, dan terakhir dilakukan perancangan turbin. Untuk lebih memperjelas metode dalam pembuatan alat ini dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 1:

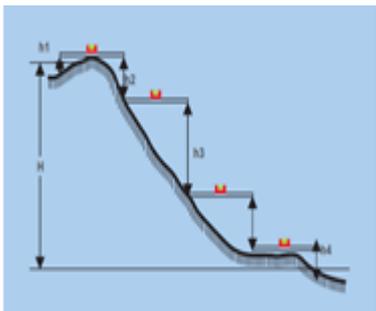


Gambar 1. Diagram Alir

Berikut dijelaskan tahapan dalam mengambil data untuk keperluan perancangan. Pada saat melakukan Pengukuran debit sungai digunakan

metode float ($Q > 20 \text{ L/s}$). Pengukuran dilakukan dengan mengisi botol plastik dengan air sebanyak setengah dari botol. Adapun tahapannya yaitu yang pertama kita harus mengukur panjang sungai sesuai kebutuhan pengukuran., kemudian melepaskan botol yang telah diisi air tadi. Dengan menggunakan alat ukur waktu (*stopwatch*) maka waktu air melewati panjang sungai yang telah didesain untuk diukur. Hasil akhir dari pengukuran dengan mengalikan luas penampang sungai dengan kecepatan aliran rata-rata maka perkiraan laju aliran (debit) dapat dihitung. Pengukuran *head* dari air biasanya menggunakan alat ukur altimeter.

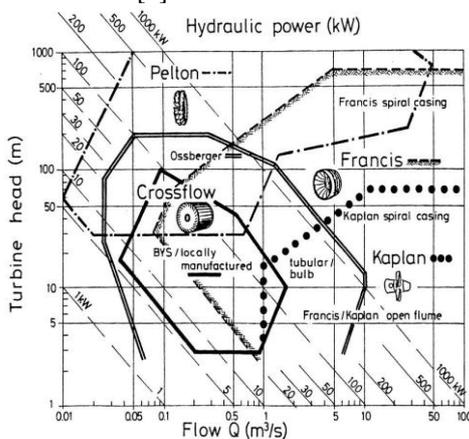
Pengukuran juga bisa disederhanakan dengan menggunakan alat ukur sederhana berupa meteran dan peralatan pendukung lainnya dengan tahapan pertama mulai pengukuran dari bagian atas perkiraan tinggi permukaan air pada bak pengatur yang telah ditentukan. Pengukuran kedua dilanjutkan pada tingkat lebih rendah dari ukuran yang sebelumnya. Lanjutkan pengukuran sampai mencapai posisi turbin. Jumlahkan semua hasil pengukuran untuk mendapatkan ukuran kotor dari head seperti Gambar 2 [5]:



Gambar 2. Proses Pengukuran Head

3.1 Dasar Pemilihan Turbin

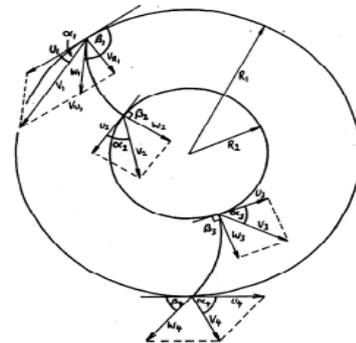
Adapun dasar pemilihan jenis turbin dapat didasarkan pada *head*, debit, kecepatan spesifik maupun pertimbangan kondisi daerah pembuatan pembangkit seperti Gambar 3 [6].



Gambar 3. Grafik Pemilihan Jenis Turbin Berdasarkan Debit dan Head

3.2 Perancangan Dimensi Turbin

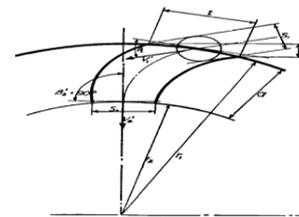
Perancangan dimensi turbin didasarkan pada analisa segitiga kecepatan yang terbentuk antara air pada saat menabrak sudu turbin seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Analisa Segitiga Kecepatan

3.3 Perancangan Sudu

Gambar sudu dapat dilihat pada Gambar 5:



Gambar 5. Sudu

Perhitungan pancaran air dapat dihitung dengan persamaan 1 berikut [7]:

$$S_1 = k \cdot D_1 \quad (1)$$

Dimana S_1 adalah tebal pancaran air (m), k adalah faktor koreksi *nozzel* (0,087) dan D_1 adalah diameter luar (m)

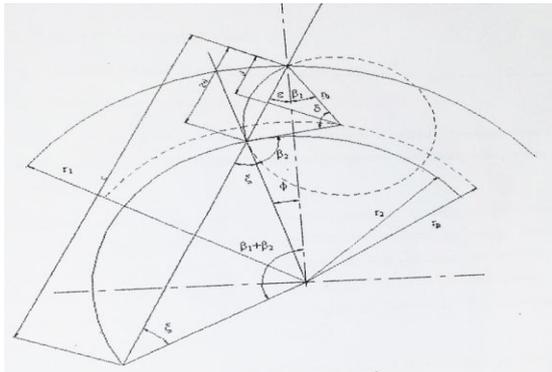
$$a = 0,17 D_1 \quad (2)$$

Dimana a adalah tebal sudu (m) dan D_1 adalah diameter luar (m). Untuk menghitung jarak antar sudu bagian atas digunakan persamaan 3 berikut [6]:

$$t = \frac{\pi \cdot D_1}{Z} \quad (3)$$

Dimana t adalah Jarak antar sudu (m), Z adalah jumlah sudu (buah) dan D_1 adalah diameter luar (m). Adapun untuk konstruksi sudu turbin yang digunakan untuk mendapatkan kelengkungan sudu, sudut kelengkungan sudu, jarak antara titik masuk dan ke luar.

Konstruksi sudu dapat dilihat seperti Gambar 6.



Gambar 6. konstruksi sudu

3.4 Perencanaan Poros

Tahapan-tahapan perencanaan poros yang pertama yaitu menentukan daya rencana dengan persamaan 4 berikut [8]:

$$Pdp = fcp \cdot Pt \quad (4)$$

Dimana Pdp adalah Daya rencana (kW), fcp adalah faktor koreksi dan Pt adalah daya turbin (kW). Tahap selanjutnya adalah menentukan momen puntir rencana dengan persamaan 5.

$$Tp = 9,74 \cdot 10^5 \cdot g \cdot \frac{Pdp}{n} \quad (5)$$

Dimana Tp adalah momen puntir rencana (Nmm), Pdp adalah daya rencanan (kW) dan n adalah putaran turbin (rpm). Berikutnya yaitu menentukan gaya-gaya yang terjadi pada poros melalui analisa *Free-Body Diagram* setiap gaya, menentukan momen maksimal dari perhitungan beban poros, menentukan tegangan geser poros yang diizinkan dengan persamaan 6.

$$Tg = \frac{\sigma B}{sf1 \cdot sf2} \quad (6)$$

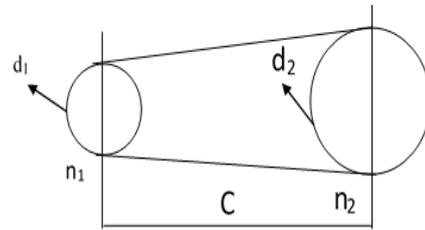
Dimana Tg adalah tegangan gezer izin (N/mm²), σB adalah momen bengkok (Mpa), sf1 adalah Faktor keamanan pengaruh bahan sf1= Faktor keamanan akibat konsentrasi tegangan bahan, kekasaran bahan Tahapan terakhir adalah menentukan diameter poros dengan persamaan 7.

$$ds \geq \left[\frac{5,1}{Tg} \sqrt{(Cm \cdot Mmax)^2 + (Ct \cdot Tp)^2} \right]^{1/3} \quad (7)$$

Dimana ds adalah diameter poros (mm), Cm adalah faktor koreksi momen *bending*, Ct adalah faktor koreksi momen puntir, Tg adalah tegangan gezer izin (N/mm²) dan Tp adalah momen rencana (N/mm²)

3.5 Sistim Transmisi

Perancangan puli tersebut dapat dihitung dengan persamaan 8 berikut [8] seperti terlihat pada Gambar 7:



Gambar 7. Hubungan Antara 2 Puli

Maka perbandingan antara putaran dan diameter puli terjadi seperti yang terlihat pada persamaan 8 berikut [9]:

$$\frac{n1}{n2} = \frac{d2}{d1} \quad (8)$$

Dimana n₁ adalah putaran poros 1(rpm), n₂ adalah Putaran poros 2 (rpm), d₁ adalah diameter puli 1 (mm) dan d₂ adalah diameter puli 2 (mm).

Jarak antar pusat *pulley* dapat diketahui ukurannya dengan persamaan 9:

$$C = x \cdot d \quad (9)$$

Dengan mengetahui jarak antara pusat *pulley* maka panjang sabuk dapat dihitung dengan persamaan 10 [8] :

$$L = 2 \cdot C + \left[\frac{\pi}{2} (d_1 + d_2) \right] + \left[\frac{1}{4 \cdot C} (d_1 + d_2)^2 \right] \quad (10)$$

Perhitungan dengan menggunakan persamaan di atas menghasilkan keliling sabuk yang diinginkan namun dipasarkan keliling sabuk atau panjang sabuk tersedia dalam ukuran standar. Oleh karenanya hasil perhitungan panjang sabuk akan dicocokkan dengan standar panjang sabuk yang tersedia dipasaran, sebagai konsekuensinya maka jarak antar pusat *pulley* dapat berubah.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemilihan Turbin

Turbin yang akan dipakai pada PLTMH Sungai Batang Karuah, Kel. Lambung Bukit, Kec Pauh, Padang adalah jenis turbin *crossflow*. Adapun acuan dasar pemilihan turbin *crossflow* diantaranya:

1. Kisaran operasi head sebesar 5 m termasuk *head* yang rendah dan biasa digunakan untuk PLTMH skala kecil. Dimana kisaran *head* untuk turbin *crossflow* adalah antara 2-200 m.

2. Besaran nilai debit sekitar 0,1 m³/s masih berada pada kisaran penggunaan turbin *crossflow* dengan perkiraan debit antara kisaran 0,04 – 15 m³/s.
3. Besaran nilai kecepatan spesifik sebesar 76,5 rpm masih dikategorikan pada penggunaan turbin *crossflow* dengan kisaran kecepatan spesifik berkisar antara 70 – 80 rpm.
4. Besaran nilai efisiensi penggunaan turbin *crossflow* yang tinggi. *Crossflow* mempunyai nilai efisiensi mencapai 70-80 %
5. Harga komponen lebih murah dibanding pembuatan turbin jenis lain karena material mudah didapat dipasaran. Selain kemudahan mendapatkan material turbin *crossflow* juga bisa dibuat dalam bentuk yang kecil. Sebagai perbandingan untuk kincir air saja panjang poros sekitar 2 m dan pada turbin *crossflow* bisa dibuat hanya dengan panjang poros 20 cm
6. Proses manufaktur mudah dilakukan karena tidak memerlukan perlakuan permesinan yang khusus yang susah dijangkau. Sebagai perbandingan turbin *crossflow* bisa dibuat dengan peralatan permesinan yang banyak dan biasa dipasaran dengan proses paling banyak adalah pengelasan dan pembubutan, sedangkan untuk turbin jenis lain seperti pada sudu-sudu turbin pelton ataupun roda gerak pada turbin francis, kaplan dan propeler harus dilakukan proses tuang.

3.2 Data Lapangan

Dalam kasus perancangan turbin *crossflow* untuk sungai Batang Karuah, Kel. Lambung Bukit, Kec. Pauh, Padang kami menggunakan metode pengukuran debit dengan metode float dengan data lapangan dimana Jarak (s) yang didesain adalah 10 meter dengan hasil perhitungan waktu rata-rata (t) adalah 5 detik sampai botol mencapai garis terakhir dengan percobaan sebanyak 5 kali.

Kecepatan aliran sungai (v) adalah pembagian antara jarak tempuh dengan waktu tempuh botol maka s/t adalah 2 m/s. Dari pengukuran lebar saluran (l) adalah 0,3 meter dengan kedalaman air pada saluran (h) adalah 0,25 meter maka luas penampang air:

$$\begin{aligned} (A) &= l \times h \\ &= 0,3 \text{ m} \times 0,25 \text{ m} \\ &= 0,75 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Jadi didapatkan debit air terukur sebesar:

$$\begin{aligned} Q_t &= V \times A \\ &= 2 \text{ m/s} \times 0,75 \text{ m}^2 \\ &= 1,5 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 150 \text{ L/s.} \end{aligned}$$

Untuk menjamin ketersediaan air sepanjang tahun, perhitungan daya dilakukan pada 50 – 80 % dari debit air terukur, maka debit desain adalah:

$$\begin{aligned} Q_d &= 100 \text{ L/s} \\ &= 0,1 \text{ m}^3/\text{s} \text{ dan Head [Hnet]} \\ &= 5 \text{ meter} \end{aligned}$$

3.1 Data Teknik Hasil Perancangan Turbin

Tabel 1. Data teknis Perancangan Turbin *Crossflow*

No	Data	Lambang	Nilai	Satuan
Data Terencana				
1	Debit	Q	0.1	m ³ /s
2	Head	H	5	m
3	Percepatan Gravitasi	g	9.81	m/s ²
4	Massa Jenis Fluida Air	ρ	1000	Kg/m ³
5	Efisiensi Turbin	η _t	0.75	-
6	Faktor Koreksi Generator	fcg	1.2	-
7	Koefisien Kecepatan Nozzel	K	0.98	-
8	Faktor Koreksi Nozzel	k	0.087	-
9	Sudut Masuk	α ₁	16	°
Daya dan Putaran Turbin				
10	Daya Hidrolis	P _w	4.9	kW
11	Daya Turbin	P _t	3.7	kW
12	Daya Generator	P _g	4.4	kW
13	Putaran Turbin	n	297.4	rpm
14	Putaran Spesifik Turbin	n _s	76.3	rpm
Analisis Segitiga Kecepatan Sudu Bagian Luar				
15	Kecepatan Absolut Ujung Nozzel	C ₁	9.7	m/s
16	Kecepatan Tangensial Ujung Sudu	U ₁	4.6	m/s
17	Kecepatan Relatif Air Terhadap Sudu	W ₁	5.4	m/s
18	Sudut β ₁	β ₁	30	°
Dimensi Runner				
19	Diameter Luar	D ₁	0.3	m
20	Diameter Dalam	D ₂	0.2	m
21	Panjang Runner	L	0.2	m
Analisa Segitiga Kecepatan Bagian Dalam				
22	Kecepatan Relatif Air	W ₂	8.1	m/s
23	Kecepatan Tangensial Sudu	U ₂	3.1	m/s
24	Sudut α ₂	α ₂	69	°
25	Kecepatan Absolut	C ₂	8.7	m/s
Dimensi Sudu				
26	Tebal Pancaran Air	S ₁	0.026	m
27	Jumlah Sudu	Z	28	buah
28	Jarak Antar Sudu Bagian Luar	t	0.033	m

29	Jarak Antar Sudu Bagian Dalam	S_2	0.022	m
30	Tebal Sudu	a	0.051	m
31	Luas Penampang Nozzel	A	0.01	m ²
Geometri Sudu				
32	Sudut Kelengkungan Sudu	δ	73	o
33	Lebar Sudu	2d	0.06	m
34	Jari-Jari Kelengkungan Sudu	r_b	0.05	m
35	Jari-Jari Kelengkungan Pitch	r_p	0.144	m
Nozzel				
36	Lebar Nozzel	S_0	0.065	m
37	Radius Casing Nozzel	R_0	0.169	m
Perancangan Poros				
38	Daya Rencana	d_s	4.07	kW
39	Momen Torsi	T_p	143000	Nm
40	Momen Maksimum	M_{max}	15120	Nmm
41	Diameter Poros	d_s	30	mm
42	Pully	D_{p1}	18	in
Generator				
43	Putaran	n_2	1500	rpm
44	Pully	D_{p2}	3.5	in
45	Type	1 Phasa		
Transmisi				
46	Daya Rencana	P_{sb}	4.07	kW
47	Jenis Sabuk	Tipe V		
48	Panjang Keliling Sabuk	L_{sb}	2286	mm
49	Jarak Antar Poros	C	707	mm
Perancangan Pasak				
50	Lebar Pasak	b	10	mm
51	Tebal Pasak	h	4	mm
52	Panjang Pasak	l	60	mm
Perancangan Bantalan				
53	Diameter Dalam	d_s	30	mm
54	Diameter Luar	D	72	mm
55	Lebar Bantalan	B	19	mm
56	Umur Bantalan	Lh	630	Hari

Berdasarkan data teknis perancangan turbin *crossflow* pada Tabel 1 di atas didapatkan debit yang dibutuhkan adalah 0,1 m³/s dan head 5 m dengan sudut pasak sebesar 16°. Putaran turbin yang dapat dihasilkan adalah 297,4 rpm dengan daya yang dapat dihasilkan adalah 3,7 KW. Jumlah sudu yang dibutuhkan adalah 28 buah dengan tebal sudu 51 mm, dan lebar 60 mm. Sudut kelengkungan sudu adalah 73°.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Debit yang digunakan dalam rangkaian perancangan adalah 0,1 m³/s dan head 5 m.
2. Jenis turbin yang sesuai dengan potensi air di sungai Padang Karuah adalah jenis turbin *crossflow*.
3. Daya yang bisa dibangkitkan oleh air adalah 3700 watt dengan putaran turbin 297,4 rpm.
4. Komponen pendukung turbin diantaranya menggunakan poros berdiameter 30 mm, Generator ST-5 menggunakan sabuk V tipe A satu lajur dengan puli 3,5 dan 18 inchi.

Daftar Rujukan

- [1] Himran, Syukri. 2017. Turbin Air Teori dan Dasar Perencanaan. Yogyakarta: Andi offset
- [2] Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi. 2009. Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi. Jakarta: IMIDAP
- [3] Furze, J. 2002. Compendium In Small Hidro. Ebeltoft : Law and Economic, Faculty of Political Science. University of Aarhus.
- [4] Mafrudin, Irawan Dwi. C. 2020. Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur. Jakarta: Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik. Universitas Muhammadiyah Metro
- [5] Mockmore, C. A., Merryfield, Fred. 1949. The Banki Water Turbin. Corvallis: Bulletin Series No. 25
- [6] Shigley, J. E. Mitchell, L. D. 1983. Perencanaan Teknik Mesin. Jilid IV, terjemahan Gandhi Harahap, Penerbit Erlangga
- [7] Sularso. Kiyokatsu Suga. 1991. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [8] Bhandari. V. B. 2007. Design Of Machine Elements. New Delhi: The McGraw-Hill Companies.
- [9] Groover, Mikell. P. 2007. Fundamentals Of Modern Manufacturing Third Edition. Hoboken: John Willy and Sons, Inc.
- [10] Direktorat Jenderal Guru dan Tenaga Kependidikan. 2015. Turbin Air dan Kelengkapan Mekanik. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan
- [11] Kementerian Dalam Negeri. 2008. Buku Panduan Energi yang Terbarukan. Jakarta: Contaned Energy Indonesia.