



Rancang Bangun Turbin Crossflow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Dengan Memanfaatkan Energi Aliran Sungai Penyungkayan Di Dusun Penyungkayan Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung

Jorfri Boike Sinaga¹⁾, Yanuar Burhanuddin¹⁾, Bambang Sulsitiyo^{1)*}

¹⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl Prof Dr Soemantri Brojonegoro No 1 Bandar Lampung, 35171

^{*)}email: bambang006@gmail.com

Abstrak. Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat saat ini. Pemenuhan kebutuhan listrik untuk masyarakat pedalaman menjadi hal yang penting agar kemajuan teknologi juga dapat dirasakan oleh setiap lapisan masyarakat. Dusun Penyungkayan Desa Way Empulau Ulu merupakan wilayah desa yang memiliki geografis yang sulit untuk dijangkau. Pemenuhan energi listrik pada wilayah tersebut dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi sumber daya alam yang tersedia, antara lain energi Sungai Penyungkayan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi energi aliran sungai untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik dengan perancangan dan pembuatan turbin crossflow untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Hasil studi potensi yang dilakukan menunjukkan nilai debit sebesar 0,149 m³/s dan head sebesar 6,08 m. Berdasarkan nilai studi potensi tersebut dilakukan perancangan sistem yang menghasilkan dimensi runner turbin berupa diameter luar 0,37 m, diameter dalam 0,24 m, jarak antar sudu 0,065 m, ketebalan semburan nosel 0,031, jari-jari kelengkungan sudu 0,06 m dan jumlah sudu 18. Dengan memperhatikan kemudahan proses manufaktur maka diperoleh dimensi pembuatan berupa dimensi runner dengan diameter luar 0,38 m, diameter dalam 0,32 m, jarak antar sudu 0,065 m, ketebalan semburan nosel 0,04, jari-jari kelengkungan sudu 0,063 m dan jumlah sudu 20.

Kata Kunci: Listrik, Studi Potensi, Turbin Crossflow

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok bagi masyarakat saat ini. Seiring dengan perkembangan teknologi, peningkatan kebutuhan terhadap energi listrik di Indonesia semakin meningkat. Namun hal tersebut tidak diimbangi dengan penyediaan sumber energi listrik yang masih memiliki ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Selain itu, wilayah Indonesia yang terdiri dari banyak pegunungan membuat distribusi energi listrik menjadi tidak merata. Akibatnya masih banyak warga yang tinggal di daerah pedalaman belum memperoleh akses energi listrik yang baik.

Dusun Penyungkayan Pekon Way Empulau Ulu merupakan salah satu desa yang memiliki bentuk wilayah berupa pegunungan di Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung. Akses menuju dusun berupa bukit yang curam menyebabkan tidak adanya akses penyediaan energi listrik dari PLN sebagai penyedia listrik utama negara. Oleh karena itu, diperlukan proses pemanfaatan energi aliran air sungai Penyungkayan sebagai pembangkit listrik yang dapat menjadi solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik warga di wilayah tersebut.

Pembangkit listrik tenaga air merupakan pembangkit yang memerlukan ketersediaan air sebagai energi penggerak utamanya. Dalam skala yang kecil, energi pembangkit listrik tenaga air dapat diperoleh dari pemanfaatan aliran sungai dengan ketersediaan air sepanjang tahun. Debit dan tinggi jatuh air (head) merupakan parameter penting yang perlu diperhatikan dalam pembuatan pembangkit listrik tenaga air. Hal tersebut juga diperlukan dalam pemilihan jenis turbin yang akan digunakan pada pembangkit listrik tenaga air. Oleh karena itu dibutuhkan rancang bangun turbin crossflow untuk pembangkit listrik dengan pemanfaatan potensi energi aliran sungai Penyungkayan agar proses penggunaan energi aliran sungai yang dilakukan lebih optimal sehingga kebutuhan energi listrik masyarakat dapat terpenuhi dengan baik (Arismunandar dan Kuwahara, 2004).

METODE PENELITIAN

Tempat Pelaksanaan

Perancangan dan pembuatan turbin sistem PLTMH dilaksanakan di Dusun Penyungkayan Desa Way Empulau Ulu Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat Provinsi Lampung.

Tahapan Penelitian

Studi potensi

Studi potensi dilakukan dengan mengumpulkan data potensi daya hidrolis aliran sungai berupa head dan debit aliran. Data head diperoleh dengan metode altimeter dan manometer. Sedangkan data debit diperoleh dengan pengukuran kecepatan aliran serta pengukuran luas penampang sungai. Adapun metode yang digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran adalah metode current meter dan benda apung. Sedangkan metode pengukuran luas penampang yang digunakan adalah metode pembagian segmen. Data head dan data debit yang digunakan merupakan data pengukuran secara langsung pada lokasi sungai Penyungkayan (Sulistiyono dkk. 2013)

Perancangan turbin crossflow untuk PLTMH

Dengan mengetahui potensi yang tersedia melalui analisis data hasil studi potensi, maka dilakukan perancangan turbin crossflow untuk PLTMH. Proses perancangan meliputi penentuan dimensi diameter luar, diameter dalam, jarak antar

sudu, ketebalan semburan nosel, jari-jari kelengkungan sudu serta jumlah sudu sesuai dengan potensi energi yang tersedia (Mockmore dan Merryfield, 1949; Yassen, 2014;).

Pembuatan turbin crossflow untuk PLTMH

Proses perancangan yang dilakukan selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam proses pembuatan turbin crossflow untuk PLTMH. Parameter dimensi yang sudah ditentukan dalam proses perancangan selanjutnya menjadi parameter dimensi pembuatan dengan memperhatikan kemudahan manufaktur serta ketersediaan bahan yang standar pasar. Oleh karena itu, dengan penyesuaian tersebut terjadi sedikit perbedaan antara dimensi rancangan dan dimensi pembuatan (Nugraha dkk, 2015).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi Potensi

Studi potensi dilakukan untuk mengetahui potensi energi yang dapat dimanfaatkan dari sungai Penyungkayan. Adapun data hasil studi potensi yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Data Head Sistem

Head merupakan beda ketinggian yang tersedia pada sungai penyungkayan. Dalam penelitian ini, dilakukan dua metode pengambilan data head sistem. Metode yang pertama adalah dengan menggunakan Altimeter. Adapun data hasil yang diperoleh dari metode altimeter terdapat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil pengukuran head dengan metode Altimeter

Titik Pengukuran	Ketinggian (m)
Tinggi Dasar	3826
Tinggi Puncak	3833
	7

Selain menggunakan metode altimeter, pengukuran data head sistem juga dilakukan dengan metode manometer. Dalam penelitian ini, pengukuran head system dengan metode manometer dibagi menjadi 7 segmen dengan data yang diperoleh terdapat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil pengukuran *head* dengan metode manometer

Segmen	Ketinggian (cm)
Segmen 1	141
Segmen 2	101
Segmen 3	97
Segmen 4	69
Segmen 5	76
Segmen 6	32
Segmen 7	92
Total	608

Data Debit Sistem

Debit sistem merupakan parameter utama dari sebuah pembangkit listrik tenaga air. Pengukuran Kecepatan dan luas penampang aliran diperlukan untuk mengetahui debit sistem. Pengukuran kecepatan aliran dan luas penampang aliran dilakukan dengan dua metode yakni metode benda apung dan metode current meter. Pada metode benda apung data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Luas Penampang Aliran metode benda apung

Titik	Lebar (m)	Kedalaman (m)			H rata-rata
		H ₁	H ₂	H ₃	
1	3,5	0,35	0,3	0,2	0,283
2	3	0,1	0,15	0,1	0,116
Rata-rata	3,25				0,2
Luas Penampang (m ²)			L x H		0,65

Tabel 4. Kecepatan aliran metode benda apung

Panjang Lintasan = 5 m				
Titik 1				
Pengulangan	waktu			t rata-rata
	t ₁	t ₂	t ₃	
1	11,79	11,31	11,92	11,67
2	12,23	12,4	11,27	11,96
3	13,7	13,26	14,75	13,9
jumlah rata-rata				12,51
Titik 2				
Pengulangan	Waktu			t rata-rata
	t ₁	t ₂	t ₃	
1	10,06	8,66	9,03	9,25
2	12,15	9,47	10,7	10,77
3	10,3	9,07	10,1	9,82
jumlah rata-rata				9,94
T rata-rata	(Titik 1+ Titik 2)/2			11,23
V (m/s)	P / t rata-rata			0,445
Q (m³/s)	V x A			0,289

Selain menggunakan metode benda apung, digunakan juga metode current meter. Current meter merupakan alat ukur kecepatan arus aliran air. Tahapan pengukuran yang dilakukan pada metode ini adalah pengukuran kecepatan aliran pada setiap segmen yang telah ditentukan. Luas penampang juga diperhatikan untuk mengetahui debit aliran pada setiap segmen tersebut. Dalam hal ini, pengukuran kecepatan aliran dibagi menjadi 5 segmen dengan data sebagai berikut:

Tabel 5. Kecepatan aliran metode current meter

Segmen	kecepatan aliran (m/s)			
	V ₁	V ₂	V ₃	V rata-rata
I	0,4	0,5	0,4	0,43
II	0,7	0,7	0,8	0,73
III	0,9	0,9	1	0,93
IV	1,1	1	0,9	1
V	0,8	0,9	0,8	0,83
Jumlah V rata-rata				0,78

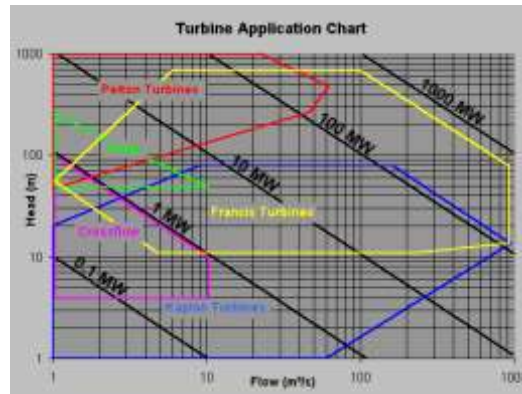
Tabel 6. Perhitungan debit aliran metode current meter

Point	Segmen	H	L	A (H x L)	V _r	Q = V _r x A
1		0,15				
	I		0,24	0,036	0,433	0,0155
2		0,16				
	II		0,24	0,0384	0,733	0,0281
3		0,16				
	III		0,24	0,0384	0,933	0,0358
4		0,16				
	IV		0,24	0,0384	1	0,0384
5		0,16				
	V		0,24	0,0384	0,833	0,0319
Total Q (m³/s)						0,149

Perancangan Turbin Crossflow

Pemilihan jenis turbin

Berdasarkan hasil studi potensi yang telah dilakukan diperoleh head kotor sistem sebesar 6,08 m dengan debit aliran sebesar 0,149 m. Hasil tersebut menjadi acuan dalam pemilihan turbin. Adapun pemilihan jenis turbin dapat didasarkan pada grafik sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik pemilihan turbin

Pada Gambar 1. Diatas yang menampilkan grafik pemilihan turbin berdasarkan nilai head, debit serta daya yang dihasilkan turbin. Oleh karena itu, dengan berdasarkan grafik tersebut, turbin yang sesuai untuk potensi yang tersedia adalah turbin crossflow (Dietzel,1988).

Perancangan dimensi turbin crossflow

Perancangan dimensi turbin didasarkan pada nilai debit sebesar 0,149 m³/s dan nilai head sebesar 6,08 m. Perancangan turbin crossflow didasarkan pada dimensi runner turbin dan nosel turbin. Adapun dimensi yang ditentukan meliputi dimensi luas runner, diameter luar, diameter dalam runner, kecepatan maksimal aliran runner, jarak antar sudu, ketebalan semburan nosel, jari jari kelengkungan sudu dan jumlah sudu (Mockmore dan Merryfield, 1949; Yassen, 2014;).

Bila digunakan lebar runner 428 mm, maka perancangan dimensi turbin adalah sebagai berikut

Luas runner turbin

$$LD = \frac{2,63 \cdot Q}{\sqrt{H}} \quad (1)$$

$$LD = \frac{2,63 \cdot 0,149 \text{ m}^3/s}{\sqrt{6,08 \text{ m}}}$$

$$LD = 0,1589 \text{ m}^2$$

Diameter luar turbin

$$D = \frac{2,63 \cdot Q}{L \cdot \sqrt{H}} \quad (2)$$

$$D = \frac{2,63 \cdot 0,149 \text{ m}^3/s}{0,428 \text{ m} \cdot \sqrt{6,08 \text{ m}}}$$

$$D = 0,3736 \text{ m}$$

Diameter dalam turbin

$$D_1 = \frac{2}{3} D \quad (3)$$

$$D_1 = \frac{2}{3} 0,3736 \text{ m}$$

$$D_1 = 0,2491 \text{ m}$$

Kecepatan maksimal runner turbin

$$n = \frac{41,47 \cdot \sqrt{H_e} \cdot \cos \alpha}{D_1} \quad (4)$$

$$n = \frac{41,47 \cdot \sqrt{6,08 \text{ m}} \cdot \cos 16}{0,3736 \text{ m}}$$

$$n = 263 \text{ rpm}$$

Jarak antar sudu

$$K = 0,174 D \quad (5)$$

$$K = 0,174 \cdot 0,3736 \text{ m}$$

$$K = 0,065 \text{ m}$$

Ketebalan semburan nosel

$$M = 0,22 \frac{Q}{L \cdot \sqrt{H}} \quad (6)$$

$$M = 0,22 \frac{0,149 \text{ m}^3/s}{0,428 \text{ m} \cdot \sqrt{6,08 \text{ m}}}$$

$$M = 0,03125 \text{ m}$$

Jari-jari kelengkungan sudu

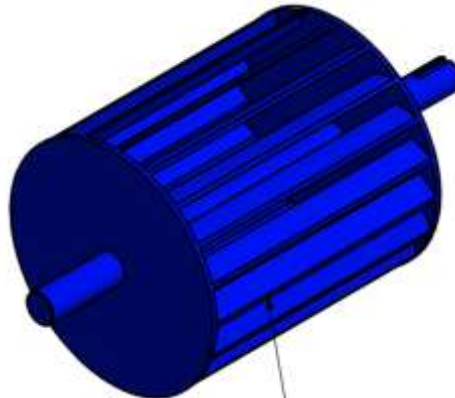
$$r_1 = 0,163 D \quad (7)$$

$$r_1 = 0,163 \cdot 0,3736$$
$$r_1 = 0,060911 \text{ m}$$

Jumlah sudu

$$N = \frac{\pi \cdot D}{K} \quad (8)$$
$$N = \frac{\pi \cdot 0,3736 \text{ m}}{0,065 \text{ m}}$$
$$N = 18,04 \text{ buah} \geq 20 \text{ buah}$$

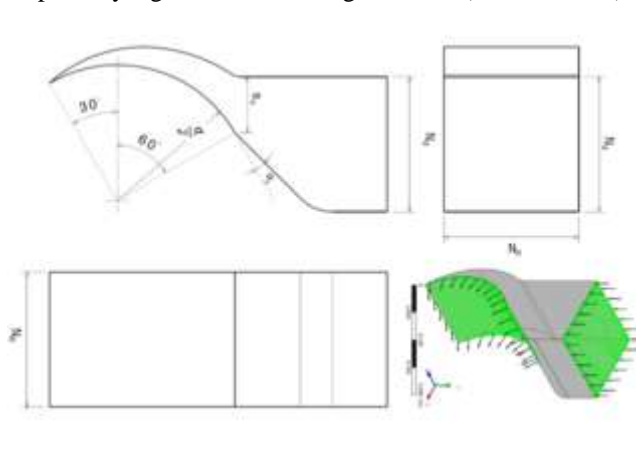
Hasil rancangan selanjutnya diwujudkan dalam bentuk gambar tiga dimensi untuk memudahkan proses pembuatan. Berikut merupakan gambar rancangan tiga dimensi untuk runner:



Gambar 2. Rancangan runner turbin crossflow

Perancangan Nosel Turbin

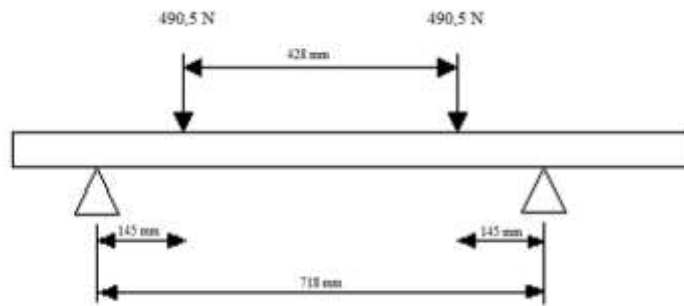
Nosel pada turbin crossflow merupakan bagian penting untuk mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik. Nosel turbin juga merupakan bagian yang menyambungkan antara pipa pesat dan runner turbin, sehingga perlu diperhatikan bentuk penampang nosel. Dalam hal ini, digunakan penampang nosel yang bersentuhan dengan runner sebesar sudut 90° sebagai sudut optimal yang bersentuhan dengan runner (Yassen, 2014) seperti pada gambar berikut:



Gambar 3. Rancangan Nosel turbin crossflow (Sumber: Yassen, 2014)

Perancangan poros turbin

Poros yang digunakan pada turbin crossflow bekerja dengan kombinasi antara beban puntir dan beban lentur dengan tingkat pembebanan yang berfluktuasi setiap saat. Berdasarkan dimensi lebar runner turbin yang telah ditentukan serta untuk kebutuhan sistem transmisi pada poros, maka panjang poros ditentukan sebesar 770 mm. Poros pada turbin crossflow pada penelitian ini digunakan untuk mentransmisikan daya rencana sebesar daya hidrolis minimal yang tersedia yakni 8887 watt. Selain itu, poros juga harus menahan beban runner turbin sebesar 100 kg. Bahan poros yang dipilih adalah baja S45C dengan tegangan geser ijin sebesar 343 Mpa dan tegangan tarik ijin sebesar 569 Mpa. Adapun skema gaya yang bekerja pada poros dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 4. Skema gaya pada poros

Perancangan dimensi poros pada umumnya didasarkan pada gaya yang bekerja pada poros tersebut (Sularso, 2000). Adapun gaya yang bekerja pada turbin crossflow berupa torsi dan momen. Berikut merupakan perhitungan dimensi poros:

Perhitungan torsi dan momen:

$$T = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (9)$$

$$T = \frac{8887 \text{ watt} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot (263 \text{ rpm})}$$

$$T = 322,84 \text{ Nm}$$

$$T = 322840 \text{ Nmm}$$

$$M = F \cdot L \quad (10)$$

$$M = \frac{m \cdot g}{2} \cdot L$$

$$M = \frac{(100 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2})}{2} \cdot 145 \text{ mm}$$

$$M = 71122,5 \text{ Nmm}$$

Diameter minimal poros pada beban puntir

$$k_m = 2,5$$

$$k_t = 2,5$$

Sehingga:

$$T_e = \sqrt{(k_m \cdot M)^2 + (k_t \cdot T)^2} \quad (11)$$

$$T_e = \sqrt{(2,5 \cdot 71122,5 \text{ Nmm})^2 + (2,5 \cdot 322840 \text{ Nmm})^2}$$

$$T_e = \sqrt{(177806,25 \text{ Nmm})^2 + (807100 \text{ Nmm})^2}$$

$$T_e = \sqrt{6,830 \times 10^{11}}$$

$$T_e = 826453,55 \text{ Nmm}$$

Maka diameter poros minimal beban lentur:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_e}{\pi \cdot \tau_{maks}}} \quad (12)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 826453,55 \text{ Nmm}}{\pi \cdot 343 \frac{N}{mm^2}}}$$

$$d = 23,07 \text{ mm}$$

Diameter minimal poros pada beban lentur

$$M_e = \frac{1}{2} [k_m \cdot M + \sqrt{(k_m \cdot M)^2 + (k_t \cdot T)^2}] \quad (13)$$

$$M_e = \frac{1}{2} [k_m \cdot M + T_e]$$

$$M_e = \frac{1}{2} [(2,5 \cdot 71122,5 \text{ Nmm}) + 826453,55 \text{ Nmm}]$$

$$M_e = \frac{1}{2} [177806,25 \text{ Nmm} + 826453,55 \text{ Nmm}]$$

$$M_e = 502129,9 \text{ Nmm}$$

Maka diameter minimal poros:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_e}{\pi \cdot \sigma_b \text{ maks}}} \quad (14)$$
$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 502129,9 \text{ Nmm}}{\pi \cdot 569 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$
$$d = 20,08 \text{ mm}$$

Pembuatan Turbin Crossflow

Poros runner

Poros merupakan bagian yang berfungsi untuk menopang putaran runner turbin kemudian mentransmisikan putaran tersebut menjadi putaran pulley. Bahan yang digunakan untuk poros adalah baja poros S45C. Berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan, maka poros yang digunakan memiliki panjang 770 mm dengan diameter minimal 23,84 mm. Dengan memperhatikan daya yang bisa terus membesar sesuai debit yang tersedia, maka diameter poros yang digunakan adalah sebesar 50 mm. Pada salah satu sisi poros dibuat sambungan pasak untuk mentransmisikan putaran poros menjadi putaran pulley. Adapun dimensi alur pasak yang digunakan berdasarkan hasil perancangan adalah 60 mm x 12 mm dengan kedalaman 6 mm.

Sudu turbin

Sudu turbin dibuat dari pipa besi dengan diameter 2.5 inci (6,35 cm). Diameter tersebut dipilih karena mendekati dimensi jari-jari lengkung sudu sebesar 0,06 m. Adapun ketebalan pipa yang digunakan adalah 5 mm. Proses pembuatan sudu turbin dilakukan dengan melakukan pemotongan sesuai dengan panjang runner turbin hasil perancangan yakni sebesar 428 mm. Selanjutnya pipa tersebut dibagi menjadi tiga bagian sehingga untuk satu pipa besi dapat dihasilkan 3 buah sudu turbin. Pembagian menjadi 3 bagian dinilai cukup untuk membuat aliran air dapat masuk dan keluar secara sempurna. Adapun jumlah sudu yang dibuat adalah 20 sudu turbin.

Sisi runner

Sisi runner merupakan pelat besi berdiameter 380 mm dengan ketebalan 10 mm. Sisi runner berfungsi untuk menopang sudu turbin. Adapun jarak antar sudu yang dipasang pada sisi runner adalah 6,5 mm sehingga 20 sudu turbin dapat dipasang secara simetris pada sisi runner.

Tutup runner

Tutup runner merupakan bagian yang berfungsi untuk menutupi runner agar aliran air yang menuju runner dapat mengarah pada runner dan tidak memancar keluar runner. Tutup runner dibuat dengan bahan pelat besi dengan diameter 500 mm dan berjarak 50 mm dari runner turbin agar aliran air yang menumbuk sudu tidak menimbulkan gesekan antara sudu turbin dengan tutup runner. Selain itu, tutup runner juga menjadi kedudukan inlet turbin sehingga pada salah satu sisi tutup runner dibuat lubang dengan dimensi yang sesuai dengan inlet turbin.

Nosel turbin

Nosel turbin merupakan bagian yang berfungsi untuk memusatkan air yang menuju runner turbin. Nosel turbin juga merupakan bagian yang menjadi penghubung antara runner turbin dan pipa pesat. Oleh karena itu, nosel turbin dibuat dengan bahan pelat besi dan pipa besi dengan diameter yang sesuai dengan pipa pesat. Pada sisi masuk runner turbin, nosel memiliki dimensi 380 mm x 60 mm. Dimensi lebar nosel dibuat lebih besar dari dimensi perancangan yang hanya memiliki lebar 30 mm. Hal tersebut dilakukan agar ketika debit air lebih besar, dapat dilakukan perubahan semburan aliran air yang lebih besar. Sehingga pada bagian dalam nosel turbin diberi katub nosel yang bisa disesuaikan dengan jumlah debit aliran yang tersedia



Gambar 5. Inlet Turbin Crossflow

Pada sisi inlet turbin yang lain dibuat sesuai dengan dimensi pipa pesat yang digunakan. dalam hal ini, pipa pesat yang digunakan memiliki dimensi 8 inci (203,2 mm) sehingga inlet turbin yang bertemu pipa pesat memiliki diameter yang sedikit lebih besar yakni 224 mm.

Dalam proses pembuatan runner, terdapat beberapa bagian yang kurang sesuai dengan dimensi perancangan. Hal tersebut disebabkan karena keterbatasan kemampuan bengkel dalam proses pembuatan. Adapun perbedaan yang terjadi dapat diketahui pada tabel realisasi dimensi turbin sesudah pembuatan sebagai berikut:

Tabel 7. Realisasi dimensi turbin sesudah pembuatan

Bagian Turbin	Dimensi Rancangan (m)	Dimensi Pembuatan (m)
Luas Runner	0,15994	0,15994
Lebar Runner	0,428	0,428
Diameter Luar Runner	0,37369	0,38
Diameter Dalam Turbin	0,24912	0,32
Jarak Antar Sudu	0,06502	0,065
Jumlah Sudu	18,046	20
Ketebalan Semburan Nosel	0,03126	0,06
Jari Jari Kelengkungan Sudu	0,06091	0,0635

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari hasil studi potensi yang dilakukan menunjukkan nilai debit sebesar 0,149 m³/s dan head sebesar 6,08 m. Berdasarkan nilai studi potensi tersebut dilakukan perancangan sistem yang menghasilkan dimensi runner turbin berupa diameter luar 0,37 m, diameter dalam 0,24 m, jarak antar sudu 0,065 m, ketebalan semburan nosel 0,031, jari-jari kelengkungan sudu 0,06 m dan jumlah sudu 18. Dengan memperhatikan kemudahan proses manufaktur maka diperoleh dimensi pembuatan berupa dimensi *runner* dengan diameter luar 0,38 m, diameter dalam 0,32 m, jarak antar sudu 0,065 m, ketebalan semburan nosel 0,04, jari-jari kelengkungan sudu 0,063 m dan jumlah sudu 20.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada seluruh warga Dusun Penyungkayan atas kerjasama serta telah membantu setiap proses penelitian. Terimakasih juga kepada seluruh tim atas segala kontribusi dan kerja keras dalam proses pembuatan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. dan Kuwahara S. 2004. Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik I. Jakarta. Pradya Paramita.
- Dietzel, F.. 1988. Turbin, Pompa Dan Kompresor. Jakarta. Erlangga
- Mockmore., C.A ad Merryfield, F. 1984. "The Banki Water Turbin", Oregon State College, Bulletin Series, NO.25.
- Nugraha, Y.S.H. dan Sallata, M.K.. 2015 . PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro). Yogyakarta. CV. Andi Offset
- Patty, O.F. 1995. Tenaga Air. Jakarta. Erlangga
- Sularso dan Kiyokatsu, S. 1987. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta. Pradnya Paramitha.
- Sulistiyono., Sugiri, A., dan Risano, Y.E. 2013. Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) di Sungai Cikawat Desa Talang Mulia Kecamatan Padang Cermin Kabupaten Pesawaran Propinsi Lampung. Bandar Lampung. Jurnal FEMA, Vol. 1, No 1. Universitas Lampung
- Yasser, R. 2014. *Optimization of the Performance of Micro Hydro-Turbines for Electricity Generation*. Hatfield, UK. University of Hertfordshire.