

PERANCANGAN TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO KAPASITAS 1 KW: STUDI KASUS KALI BENING KOTA MAGELANG

Wahyu Fitri Yanto¹, Sigit Iswahyudi², Kun Suharno³

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar¹²³

Email: wahyufitri890@gmail.com¹, sigit.iswahyudi@untidar.ac.id², kun_plumbor@yahoo.com³

ABSTRAK

Kali Bening merupakan saluran irigasi primer di Kota Magelang. Saluran irigasi Kali Bening tidak pernah mengalami kekeringan sepanjang tahun dengan debit tahunan rerata sekitar $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Sehingga menyebabkan disepanjang saluran air tersebut terdapat kurang lebih 17 tambak ikan, namun dari 17 tersebut hanya 2 yang sudah mendapatkan akses aliran listrik. Keberadaan aliran sungai tersebut mempunyai ketinggian 4 meter, sehingga sangat berpotensi dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik dengan pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan rancangan PLTMH berupa dimensi-dimensi ukuran turbin dengan daya output 1 kW, sehingga dapat menjadi rekomendasi rancangan pembangunan PLTMH. Hasil dari perancangan PLTMH yaitu berupa turbin propeller dengan daya turbin (P_t) = 1.0699 kW, efisiensi turbin (η_t) = 64%, putaran turbin spesifik (n_s) = 650 rpm, jumlah sudu turbin 5 daun, dan jumlah sudu pengarah 5 daun. Adapun dimensi turbin propeller yang dihasilkan memiliki diameter luar sudu (D_1) = 73.874 mm, diameter naaf (D_N) = 31.396 mm, tinggi sudu pengarah (B_o) = 60.956 mm, diameter poros (d_s) = 18 mm, serta ukuran spiral casing (rumah turbin) dengan ukuran pipa besar 109 mm dan ukuran pipa kecil 29 mm.

Kata kunci: Kali Bening, PLTMH, turbin propeller

ABSTRACT

Kali Bening is the primary irrigation canal in Magelang City. The Kali Bening irrigation canal has never undergone drought throughout the year, with an average annual discharge of about $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Therefore, along the waterway, there are approximately 17 fish ponds, but only two of them which already have access to electricity. The river has a height of 4 meters, so it has the potential to be used to generate electrical energy by constructing a micro hydro power plant (MHP). The purpose of this study is to obtain the design of the MHP in the form of turbine size dimensions with an output power of 1 kW, so that it can be a recommendation for the design of the MHP development. The results of the MHP design are in the form of a propeller turbine with turbine power (P_t) = 1.0699 kW, turbine efficiency (η_t) = 64%, specific turbine rotation (n_s) = 650 rpm, and with the number of 5 for both turbine blades, and guide blades. The dimensions of the turbine propeller produced have an outer diameter of the blade (D_1) = 73.874 mm, a naaf diameter (D_N) = 31.396 mm, a blade height (B_o) = 60.956 mm, a shaft diameter (d_s) = 18 mm, and the size of the spiral casing (turbine housing) with a large pipe size of 109 mm and a small pipe size of 29 mm.

Keywords: Kali Bening, micro hidro power plant (MHP), and turbine propeller

PENDAHULUAN

Kali Bening merupakan saluran irigasi primer di Kota Magelang. Jalur yang dilalui meliputi Kelurahan Kramat Selatan; Kelurahan Potrobangsari, Kelurahan Magelang, dan Kelurahan Cacaban; Kelurahan Kemirejo, Kelurahan Jurangombo Utara dan Kelurahan Jurangombo Selatan [1].

Kali Bening mempunyai panjang 10,46 km dan lebar 6 m dengan debit rerata tahunan

mencapai $1 \text{ m}^3/\text{s}$ [1]. Ditinjau dari debit tahunan dapat ditarik simpulan bahwa sepanjang tahun Kali Bening tidak pernah mengalami kekeringan. Hal tersebut yang menjadikan industri perikanan (tambak ikan) berkembang di sepanjang aliran Kali Bening. Hasil survei penulis pada Februari 2022 seperti pada Gambar 1 dan Gambar 2, disepanjang Kali Bening total terdapat 17

tambak ikan baik dalam skala kecil maupun besar. Namun dari 17 hanya 2 tambak yang sudah terjangkau aliran listrik, hal tersebut merupakan sebuah permasalahan, karena kekurangan energi listrik dapat mengganggu aktivitas manusia.



Gambar 1. Lokasi Studi Kasus (Gmaps, 2022)



Gambar 2. Tambak Ikan Tempat Studi Kasus (Dok. Pribadi)

Di samping permasalahan tersebut, terdapat peluang yang dapat dimanfaatkan untuk mengatasi permasalahan yang ada, yaitu keberadaan Kali Bening. Saluran irigasi merupakan potensi energi yang perlu dimanfaatkan, selain sebagai sumber pengairan juga sebagai sumber energi baru terbarukan [2].

Pemerintah terus berupaya untuk terus meningkatkan penggunaan energi baru terbarukan. Melalui Peraturan Pemerintah No 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional tepatnya pada Pasal 9 huruf F, bahwasannya Indonesia mematok target; (1) Pada Tahun 2025 peran energi baru dan energi terbarukan paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31%. (2) Pada tahun 2025 peran minyak bumi kurang dari 25% dan pada tahun 2050 menjadi kurang dari 20%.

Sedangkan melihat dari hasil implementasi penggunaan energi baru terbarukan sebesar 6,2% yang berasal dari sumbangsih energi

terbarukan dalam bauran pemanfaatan energi nasional dengan penambahan bauran energi terbarukan 0,36 % per-tahunnya. Nilai tersebut akan sulit untuk mencapai target 23% pada tahun 2025 [3].

Pembangunan PLTMH merupakan upaya untuk memanfaatkan energi baru terbarukan dari aliran air. Potensi energi lokasi tujuan penerapan PLTMH mempunyai *head* 4 m, akan tetapi tidak semua potensi tersebut dapat dimanfaatkan sepenuhnya, karena akan menyebabkan air habis atau tidak bisa mengalir sampai hilir. Berdasarkan keadaan tersebut perlu adanya perancangan turbin sebagai komponen utama pembangkit listrik tenaga *mikro hidro* (PLTMH) dengan debit kecil.

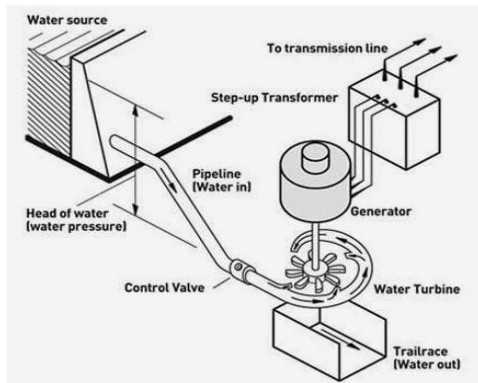
Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik yang memanfaatkan daya air sebagai energi awal dengan daya yang terbangkitkan antara 1-100 kW. PLTMH memanfaatkan sumber energi baru terbarukan dan layak disebut sebagai *clean energy/ zero waste/ zero carbon* karena tidak menghasilkan polusi yang mengganggu keseimbangan lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai atau danau yang dibendung dengan ketinggian dan debit tertentu dapat menggerakkan turbin yang terhubung dengan generator listrik sehingga terbangkitkannya energi listrik. Semakin tinggi jatuh air (*head*) akan semakin besar pula energi potensial yang ada untuk dimanfaatkan sebagai sumber tenaga pembangkit listrik [4]. Klasifikasi umum pembangkit listrik tenaga air tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi pembangkit listrik tenaga air [5].

Tipe	Kapasitas
Pico Hidro	<500 W
Mikro Hidro	1-100 kW
Mini Hidro	100-1000 kW
Small Hidro	1-15 mW
Medium Hidro	15-100 mW
Large Hidro	>100 mW

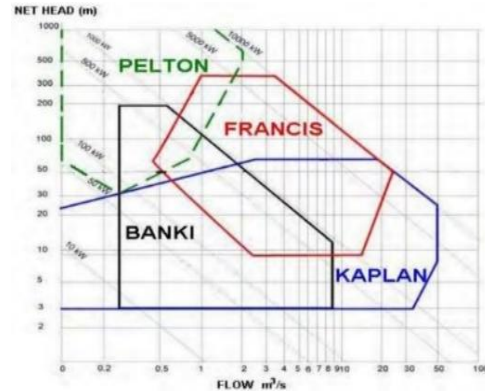
PLTMH memiliki tiga komponen utama yaitu air, turbin, dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas dan ketinggian tertentu menuju rumah instalasi (turbin). Di

dalam rumah instalasi tersebut, turbin akan mengkonversikan energi potensial dari air menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. Kemudian energi tersebut ditransmisikan ke generator. Generator yang berputar akan menyebabkan terjadinya beda potensial sehingga terbangkitkannya energi listrik. Hubungan antara energi potensial, energi mekanik, dan energi listrik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Energi Potensial – Energi Mekanik - Energi Listrik [5].

Salah-satu komponen utama PLTMH adalah turbin. Kata "*turbine*" ditemukan oleh Claude Bourdin pada awal abad ke-19. Secara etimologi kata tersebut diambil dari bahasa latin, "*whirling*" (putaran) atau "*vortex*" (pusaran air). Sedangkan secara terminologi turbin air adalah mesin yang berputar untuk mengkonversikan energi dari aliran air menjadi energi mekanis yaitu turbin yang berputar. Energi mekanis ditransmisikan melalui poros untuk memutar generator. Pemilihan jenis turbin yang akan digunakan bergantung terhadap keadaan/ karakteristik lokasi, karena berkaitan dengan tinggi air jatuh dan debit aliran. Pemilihan turbin juga berkaitan dengan kecepatan putar generator yang diminta [6]. Grafik hubungan antara *head* dengan *flow rate* untuk penentuan jenis turbin dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan antara *head* dengan *flow rate* [5].

Tidak hanya hubungan antara *head* dengan *flow rate* saja. Klasifikasi jenis turbin yang dapat digunakan dapat berdasarkan head dan kecepatan spesifik yang ditentukan seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Pengaplikasian turbin air terhadap tinggi head [7].

Jenis Turbin	Variasi Head (m)
Kaplan/ <i>Propeller</i>	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 3500$
Pelton	$50 < H < 1000$
<i>Cross-flow</i>	$6 < H < 100$
Turgo	$50 < H < 250$

Tabel 3. Kecepatan spesifikasi turbin [8].

Kecepatan Spesifik Ns (rpm)	Jenis Turbin Air
12-25	Turbin Pelton
60-300	Turbin Francis
40-200	Turbin <i>Crossflow</i>
250-1000	Turbin Kaplan/ <i>Propeller</i>

METODE

Tempat dan Waktu

Perancangan ini bertempat di Laboratorium Komputer, Teknik Mesin Universitas Tidar, Magelang pada bulan Juni – Juli 2022.

Alat

Menggunakan Laptop ASUS VivoBook Max dalam perancangan. Spesifikasi laptop ASUS VivoBook Max ditunjukkan pada Tabel 2.

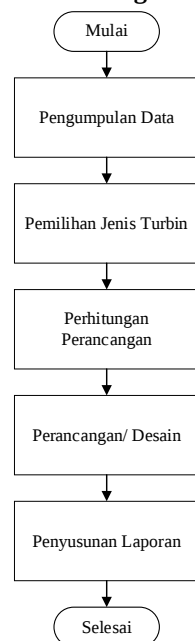
Tabel 4. Spesifikasi Laptop ASUS VivoBook Max dan Software

Spesifikasi	Keterangan
Manufacture	: ASUS VivoBook Max
Processor	: Intel Celeron N4000 2,65GHz
Memory	: 4GB DDR4
Operating System	: Windows 10 64-bit
Graphic	: Intel® UHD Graphics 600
Storage	: 120 GB SSD SATA
Software	: Solidworks 2014 dan Matlab R2016a

Bahan

Bahan yang dipakai dalam perancangan ini berupa data hasil studi kasus di Kali Bening, Kota Magelang, yakni data potensi tinggi jatuh air/ head (H), dan Debit (Q).

Diagram Alir Perancangan



Gambar 5. Diagram Alir Perancangan

1. Pengumpulan Data; Data dalam penelitian/ perancangan ini berupa data primer dan data sekunder yang penulis dapatkan dari studi literatur berupa jurnal, artikel, thesis, dan sejenisnya serta data dari studi lapangan berupa pengamatan secara langsung.
2. Pemilihan Jenis Turbin; Pemilihan turbin ditentukan berdasarkan keadaan lingkungan yang ada. Jenis turbin dapat ditentukan melalui parameter-parameter yang dapat memengaruhi

kinerja turbin, diantaranya (1) Head (H) atau tinggi jatuh air dan debit (Q) air yang akan digunakan, (2) Daya (P) yang akan dibagikan dari head dan debit yang ada, dan (3) Kecepatan putaran turbin yang akan dikapelkan dengan generator.

3. Perhitungan Rancangan; Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan mulai dari daya turbin, faktor kecepatan, sampai perhitungan dimensi runner. Perhitungan dilakukan menggunakan bantuan aplikasi Matlab R2016a sehingga akan mengurangi kesalahan yang diakibatkan *human error*.
4. Perancangan/ Desain; Pada tahap ini dilakukan pembuatan Gambar *Detail Engineering Design (DED)* Turbin PLTMH menggunakan aplikasi Solidwork 2014 dalam dua dimensi dan tiga dimensi sebagai acuan proses manufaktur dengan kondisi penyesuaian terhadap perhitungan perancangan.
5. Penyusunan Laporan; merupakan tahap untuk melaporkan data-data yang dihasilkan sesuai dengan format yang telah ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Teknis Kali Bening Kota Magelang

1. Nama sumber air : Kali Bening
2. Kecepatan aliran : 0.3895 m/s (v)
3. Ukuran kanal (A) : 0.0875 m^2
4. Tinggi jatuh air : 4 meter lapangan (H)
5. Kecepatan : 600, 650, dan spesifik berdasar 700 rpm daya (n_s)
6. Percepatan : 9.81 m/s^2 gravitasi (g)
7. Massa jenis air : 1000 kg/m^3 (ρ)

Data teknis yang didapatkan dari studi lapangan selanjutnya dianalisis menggunakan grafik pada Gambar 4. Sehingga didapatkan jenis turbin propeller adalah yang paling cocok diterapkan pada sumber air tersebut.

Pemilihan Nilai n_s Terbaik (600 rpm, 650 rpm, dan 700 rpm)

Pemilihan n_s harus mempertimbangkan nilai n_q , D_1 , D_N , D_T , dan H_s . Karena dari nilai-nilai tersebut berkaitan satu sama lainnya. Terutama nilai n_q ada batasannya antara 0 sd 240 rpm, sedangkan untuk nilai D_1 , D_N , D_T , dan H_s semakin besar akan semakin baik.

Tabel 5. Hasil hubungan antara n_s , n_q , D_1 , D_N , D_T , dan H_s untuk menentukan nilai n_s terbaik.

N o	n_s (rpm)	n_q (rpm)	D_1 (m)	D_N (m)	D_T (m)	H_s (m)
1	600	214.1765	0.075926	0.032268	0.054097	0.020561
2	650	232.0245	0.073874	0.031396	0.052635	0.021485
3	700	249.8725	-	-	-	-

Dari Tabel 5 dapat ditarik kesimpulan bawah nomer (2) dengan nilai n_s 650 rpm lebih baik dari yang lain karena mempunyai nilai n_s , n_q , dan H_s lebih besar dari nomer (1), walaupun nilai D nomer (1) sedikit lebih besar namun tidak begitu berpengaruh. Sedangkan pada n_s 700 rpm didapatkan n_q yang melebihi batas maksimal sehingga tidak dapat digunakan.

Daya dan Faktor Kecepatan

1. Daya terbangkitkan

$$P_t = \frac{\rho g Q H \eta}{1000}$$

$$= \frac{1000 \times 9.81 \times 0.034081 \times 4 \times 0.8}{1000}$$

$$= 1.0699 \text{ (kW)}$$

$$Q = v \times A$$

$$= 0.3895 \times 0.0875$$

$$= 0.034081 \text{ (m}^3/\text{s)}$$

2. Daya generator

$$P_G = P_t \cdot \text{Koefisien}$$

$$= 1.0699 \times 0.8$$

$$= 0.8559 \text{ (kW)}$$

3. Kecepatan air menumbuk turbin (v_t)



Diketahui:
 $H = 4 \text{ m}$
 $f = 0.005$
 $L = 4 \text{ m}$

Gambar 6. Ilustrasi letak turbin dan sumber tenaga

$$v_f = \sqrt{\frac{2gH}{0.5 + (4 \cdot f \cdot L) + \sin^2 \theta + 1}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 4}{0.5 + (4 \times 0.005 \times 4) + \sin^2 0 + 1}}$$

$$= 7.0478 \text{ m/s}$$

4. Kecepatan putaran turbin (n)

$$n = \frac{n_s H^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{P_t}} = \frac{650 \times (4)^{\frac{5}{4}}}{\sqrt{1.0699}}$$

$$= 3554.8485 \text{ (rpm)}$$

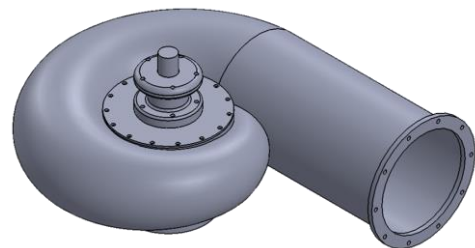
5. Kecepatan spesifik berdasar satuan debit (n_q)

$$n_q = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

$$= 3554.8485 \frac{\sqrt{0.034081}}{(4)^{\frac{3}{4}}}$$

$$= 232.0245 \text{ (rpm)}$$

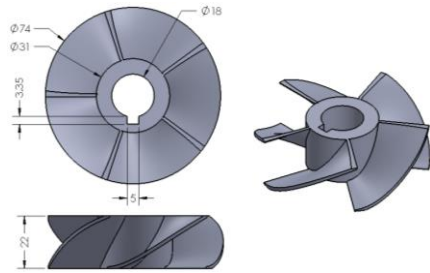
Dari nilai-nilai tersebut selanjutnya digunakan untuk mencari dimensi-dimensi turbin sehingga dihasilkan seperti berikut ini:



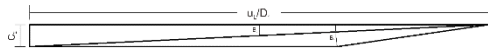
Gambar 7. Hasil desain turbin propeller poros vertikal lengkap

Runner

Sudu turbin memiliki 5 (lima) dasun sudu dengan ukuran diameter luar (D_1) 74 mm, diameter dalam (D_N) 31 mm, tinggi jatuh air (ketebalan turbin) (H_s) 22 mm, diameter lubang poros 18 mm, alur pasak 5x3.35 mm, serta mempunyai kemiringan sudu turbin pada daerah diameter naff (dalam) sudut masuk 57.0739° dan sudut keluar 6.7357° , pada daerah diameter tengah (D_T) sudut masuk 16.2376° dan sudut keluar 3.8609° , pada daerah diameter luar (D_1) sudut masuk 8.1119° dan sudut keluar 2.7048° seperti pada Gambar 4.4 sd Gambar 8. Sudu turbin dirancang menggunakan material *Stainless Steel 304* [9].



Gambar 8. Design Sudu Turbin



Gambar 9. Segitiga kecepatan pada bagian luar sudu turbin

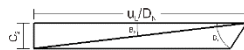
Keterangan:

$$D_1 = 13.7432 \text{ mm}$$

$$C_2 = 0.64926 \text{ m/s}$$

$$B_1 = 8.1119^\circ$$

$$B_2 = 2.7048^\circ$$



Gambar 10. Segitiga kecepatan pada bagian naaf sudu turbin

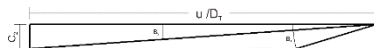
Keterangan:

$$D_N = 5.4973 \text{ mm}$$

$$C_2 = 0.64926 \text{ m/s}$$

$$B_1 = 57.0739^\circ$$

$$B_2 = 6.7357^\circ$$



Gambar 11. Segitiga kecepatan pada bagian tengah sudu turbin

Keterangan:

$$D_T = 9.6202 \text{ mm}$$

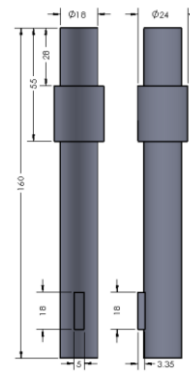
$$C_2 = 0.64926 \text{ m/s}$$

$$B_1 = 16.2376^\circ$$

$$B_2 = 3.8609^\circ$$

Poros

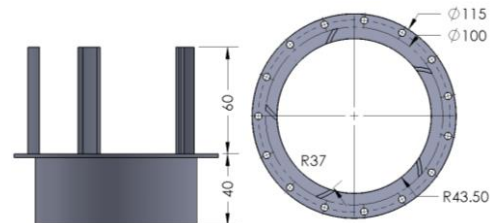
Poros dirancang menggunakan material baja krom nikel (SNC22) [10], dengan diameter poros (d_s) 18 mm dan dimensi pasak 18x5x3.35 mm seperti pada Gambar 12.



Gambar 12 Desain poros

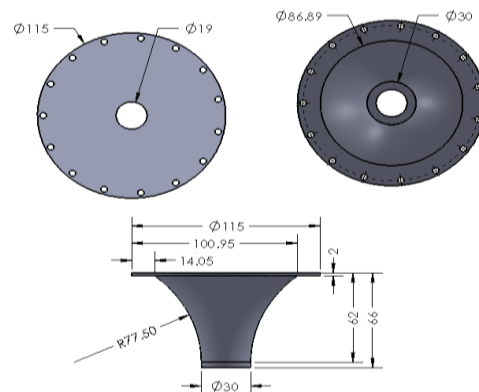
Sudu Pengarah dan Casing

Sudu pengarah dan casing dirancang menggunakan *Stainless Steel 304* [9]. Dimana sudu pengarah sendiri berdasarkan perhitungan dirancang 5 (lima) buah sudu dengan jari-jari kelengkungan 37 mm dan tinggi 60 mm, *cover* bawah dirancang dengan diameter 87 mm dan 115 mm, dan tinggi *draft tube* (saluran air kelura) 40 mm seperti pada Gambar 13.



Gambar 13 Desain cover bawah dan sudu pengarah

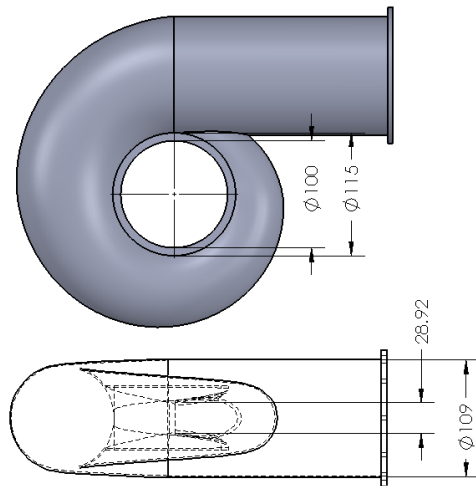
Begitupun dengan *cover* atas dirancang dengan diameter 115 mm dan diameter tempat poros 19 mm seperti pada Gambar 14.



Gambar 14 Desain penutup atas

Spiral Casing (Rumah Keong)

Perancangan *spiral casing* (rumah keong) menggunakan material Baja Siemens Martin S55C [11], yang dilas satu sama lain hingga berbentuk *spiral* seperti pada Gambar 15. Berdasarkan hasil perhitungan, perancangan *spiral casing* didapatkan ukuran pipa besar berdiameter 109 mm dan pipa kecil berdiameter 29 mm yang melingkari selubung tempat turbin dengan diameter luar 115 mm dan diameter dalam 100 mm.



Gambar 15 Desain *Spiral Casing*

Pembahasan

Perancangan turbin propeller ini dilakukan berdasarkan potensi yang terdapat pada saluran Kali Bening Kota Magelang, khususnya pada sekitar area tambak ikan. Tujuan dari perancangan ini adalah untuk menghasilkan rancangan turbin yang dapat diterapkan untuk membangun pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) berdasarkan potensi yang ada, dengan target *output* daya yang dihasilkan sebesar 1 kW. Hasil perancangan diperoleh rancangan turbin propeller, rumah turbin, dan *spiral casing* (rumah keong) dimana daya yang dihasilkan sebesar 1.0699 kW dengan menggunakan 5 buah sudu (sudu turbin dan sudu pengarah). Sudu turbin memiliki kemiringan pada daerah diameter naff (dalam) sudut masuk 57.0739° dan sudut keluar 6.7357° , pada daerah diameter tengah (D_T) sudut masuk 16.2376° dan sudut keluar 3.8609° , pada daerah diameter luar (D_1) sudut masuk 8.1119° dan sudut keluar

2.7048° . Sudu turbin dirancang menggunakan material *Stainless Steel* 304 [9], material jenis ini memiliki kelebihan mudah dibentuk dan dapat dilas (formabilitas atau daya pembentukan yang baik), tahan karat (memiliki kandungan kromium yang membuat permukaannya tahan terhadap oksidasi), memiliki kualitas baik untuk proses *deep drawing*, serta memiliki daya tahan tinggi (PT. Indomakmur Inti Lestari). Nilai sudut kemiringan dari sudu turbin erat pengaruhnya terhadap performa atau efisiensi turbin yang dihasilkan. Seperti penelitian yang dilakukan oleh [12], bahwa pada saat kemiringan tertentu dihasilkan nilai efisiensi turbin tertinggi. Sehingga apabila nilai dari sudut kemiringan tersebut diganti menjadi lebih kecil atau sebaliknya maka yang terjadi adalah nilai efisiensi yang dihasilkan juga akan mengalami penurunan secara perlahan. Maka dari itu dalam merancang turbin tidak boleh asal menentukan besar-kecilnya sudut kemiringan sudu turbin. Tidak berbeda dalam perancangan yang penulis lakukan, nilai kemiringan sudu turbin adalah murni hasil dari perhitungan, oleh karena itu ketika merealisasikannya harus sesuai dengan hasil perhitungan agar nilai dari efisiensi yang dihasilkan dapat maksimal.

Poros dirancang dengan diameter (d_s) 18 mm dan dimensi pasak 18x5x3.35 mm. Pada poros ini terdapat bagian yang lebih besar dengan diameter 24 mm serta tinggi 27 mm untuk menyangga poros pada *bearing* sehingga poros tidak akan naik turun. Poros dirancang menggunakan material baja krom nikel (SNC22) dengan kekuatan tarik 100 kg/mm² [10].

Selain sudu turbin, sudu pengarah dan *casing* juga menggunakan material *Stainless Steel* 304 [9]. Karena *part*/ bagian ini berhubungan secara langsung dengan air serta memiliki tekanan sehingga membutuhkan material yang kuat serta tahan karat seperti *Stainless Steel* 304. Sudu pengarah yang digunakan sebanyak 5 buah dengan jari-jari kelengkungan 37 mm dan tinggi 60 mm. Sedangkan *cover* bawah dirancang dengan diameter 87 mm dengan lubang berdiameter 115 mm, dan tinggi *draft tube* (saluran air

keluar) 40 mm, begitupun dengan *cover* atas dirancang berdiameter 115 mm.

Perancangan *spiral casing* (rumah keong) menggunakan material Baja Siemens Martin S55C [11], material jenis ini paling banyak digunakan dan sudah ada dipabrikaan. Perancangan *spiral casing* didapatkan ukuran pipa besar berdiameter 109 mm dan pipa kecil berdiameter 29 mm yang melingkari selubung tempat turbin dengan diameter luar 115 mm dan diameter dalam 100 mm.

SIMPULAN

1. Rancangan turbin yang bisa dibangun untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) dengan daya 1 kW pada aliran Kali Bening Kota Magelang adalah jenis turbin *propeller*. Pemilihan jenis turbin mempertimbangkan *head*, debit air, dan kecepatan putar yang diinginkan. Sehingga dihasilkan rancangan turbin *propeller* dengan spesifikasi; daya turbin (P_t) = 1.0699 kW, efisiensi turbin (η_t) = 64%, putaran turbin spesifik (n_s) = 650 rpm, jumlah sudu turbin 5 daun, dan jumlah sudu pengarah 5 daun.
2. Dimensi turbin *propeller* yang dihasilkan memiliki diameter luar sudu (D_1) = 73.874 mm, diameter naaf (D_N) = 31.396 mm, tinggi sudu pengarah (B_o) = 60.956 mm, diameter poros (d_s) = 18 mm, serta ukuran *spiral casing* (rumah turbin) dengan ukuran pipa besar 109 mm dan ukuran pipa kecil 29 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dinas Lingkungan Hidup, *Laporan Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah*. Kota Magelang, 2019.
- [2] S. D.I, *Rancang Bangun Simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) (Studi PLTMH Cinta Mekar Kabupaten Subang)*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia., 2014.
- [3] F. Adzikri, D. Notosudjono, and Suhendi. D, *Strategi Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia*. Program Studi Teknik Elektro,

Fakultas Teknik - Universitas Pakuan, 2017.

- [4] V. Dwiyanto, *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai)*. Bandar Lampung: Universitas Lampung, 2016.
- [5] C. Penche and I. . Minas, *Layman's Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site*. Brussel: European Small Hydropower Association, 1998.
- [6] I. C. Syafi'i, *Studi Kelayakan Aliran Sungai guna Memilih Turbin Air dan Generator dalam Merancang Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Magelang*. Magelang: Fakultas Teknik Universitas Tidar, 2019.
- [7] A. Sunyoto, F. Wenehenubun, and H. Sutanto, "The effect of number of blades on the performance of H-Darrieus type wind turbine," 2013, pp. 192–196.
- [8] O. . Patty, *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga, 1995.
- [9] Kusnadi, A. Mulyono, G. Pakki, and Gunarko, "Rancang Bangun Dan Uji Performansi Turbin Air Jenis Kaplan Skala Mikrohidro," *J. TURBO*, vol. 7, no. 2, pp. 207–213, 2018.
- [10] Sularso and K. Suga, *Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin*, 11th ed. Jakarta: PT. Pradnya Pramita, 2004.
- [11] R. Saputra and T. Liichan, "Perancangan Ulang Turbin Kaplan Poros Vertikal Di Pltm Plumbungan," *J. BINA Tek.*, vol. 14, no. 2, pp. 153–161, 2018.
- [12] P. Juliana, A. . Weking, and L. Jasa, "Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir dan Daya Putar Turbin Ulir dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, pp. 393–400, 2018.