

Rancang Bangun Turbin Model Gorlov Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) Memanfaatkan Energi Arus Aliran Sungai

Wildan Nur Rohman^{1*}, George Endri Kusuma², Tri Andi Setiawan³

Teknik Desain dan Manufaktur, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya¹

Teknik Permesinan Kapal, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya²

Teknik Desain dan Manufaktur, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya³

Email: Wildannurr@student.ppns.ac.id^{*}

Abstract - Electrical energy is an important source of energy for the community. In producing the majority of electricity still using coal burning which has a negative impact on breathing, the solution to the problem of pollution is to use renewable energy. PLTPH is one of the sources of electrical energy. The potential of PLTMH in Central Java is 75,926 kW. The construction of a hydroelectric power plant is expensive, overseas manufacturing a turbine costs about 99 million rupiah. In this study using the Ulrich method, where this method compares 3 design concepts with four chosen criteria, namely the fabrication process, portability, dimensions, and costs. Making this design using autodesk fusion software, the fabrication cost of this tool is Rp 4,740,700.00 with details of the cost of raw materials of Rp. Rp. 3,748,700.00, direct labor costs of Rp. 625,000.00, Overhead costs of 367,000.00. Performance tests carried out in rivers that have a water velocity of 0.8 m / s and a river width of 4 meters, obtained the results of a turbine rotation without a load of 300 rpm measured using a tachometer.

Keyword: Turbine, Gorlov, PLTPH, Portable, Ulrich

Nomenclature

A	Area
V	Kecepatan air
ρ	Massa Jenis air
Pd	Daya yang direncanakan
Fc	Faktor Koreksi
T	Momen puntir/Torsi
N1	Kecepatan putaran poros
τ	Tegangan geser yang diizinkan
σ_B	Kekuatan tarik
Sf	Faktor Keamanan
Ds	Diameter poros
Cb	Faktor lenturan

1. PENDAHULUAN

Energi listrik adalah sumber energi yang penting bagi masyarakat Indonesia, karena energi listrik digunakan pada kegiatan industri dan kehidupan sehari-hari. Di Indonesia listrik banyak dihasilkan dari pembakaran batu bara yang tidak ramah lingkungan karena pembakaran dari batu bara menghasilkan CO₂ yang menjadi polusi udara, disamping adanya polusi udara, sumber energi minyak bumi dan batu bara mulai menipis dan akan segera habis apabila terus menerus digunakan, untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan pembangkit listrik yang memanfaatkan teknologi ramah lingkungan seperti pembangkit listrik tenaga angin dan air. Potensi PLTMH di Jawa Tengah adalah sebesar

75.926 kW dan yang sudah dimanfaatkan adalah sebesar 69.832 kW atau 92% dari potensi. Sedangkan potensi yang belum dimanfaatkan sebesar 6.094 kW (sebesar 8% dari potensi yang ada). Rasio Elektrifikasi (RE) di Jawa Tengah saat ini telah mencapai 85.29% sehingga masih diperlukan upaya untuk dapat memenuhi kebutuhan masyarakat, melalui perluasan jaringan/ distribusi PLN dan pembangunan PLTPH. Salah satu potensi yaitu Bendung Trani Kali Samin di Kabupaten Sukoharjo.[1]

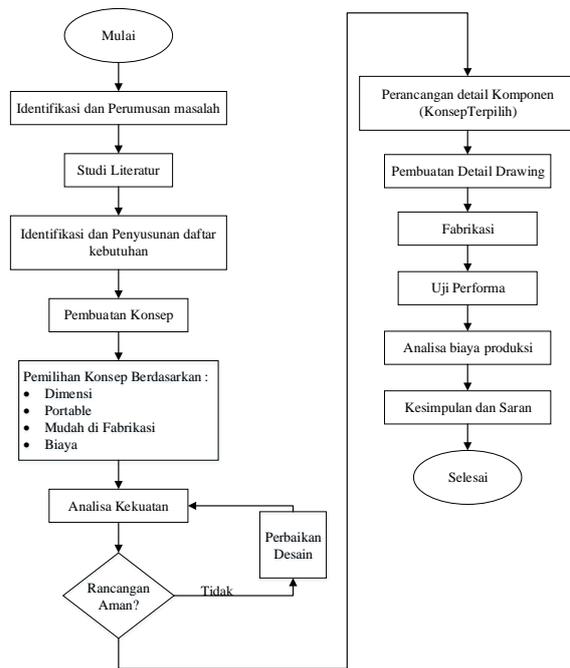
Turbin PLTPH yang paling banyak digunakan adalah turbin jenis Kaplan, Francis, Cross Flow, dan Pelton. Cross Flow Turbine yaitu arah aliran air tegak lurus dengan poros turbin. Untuk Cross Flow posisi poros turbin dibagi dua yaitu Horizontal Axis Water Turbine (HAWT) yaitu posisi sumbu putar turbin adalah horizontal dan Vertical Axis Water Turbine (VAWT) yaitu posisi sumbu putar turbin adalah vertikal. Untuk Cross Flow Turbine ada dua turbin air yang terkenal yaitu turbin air Darrieus dan turbin air helikalGorlov. Turbin Darrieus lebih baik dalam menghasilkan daya tetapi menimbulkan vibrasi pada tip speed ratio yang tinggi. Sedangkan turbin Gorlov lebih baik dari starting rotation[2] Turbin air helikalGorlov merupakan penyempurnaan dari turbin Darrieus . Model gorlov dipilih karena memiliki efisiensi tinggi sebesar 35%

Berdasarkan penelitian yang berjudul “Capstone Project Report: Design and Manufacture of a Cross-Flow Helical Tidal Turbine” yang dilakukan di Northwest National Marine Renewable Energy Center (NNMREC) and Snohomish Public Utility District, pembuatan turbin gorlov ini membutuhkan dana 7084,72\$ USD atau jika dirupiahkan menjadi 99.271.096 rupiah. [3]

2. METODOLOGI .

2.1 Metodologi Penelitian

Metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini mencakup beberapa langkah diantaranya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Identifikasi awal dan studi literatur adalah tahap untu menentukan rumusan masalah serta tujuan dari penelitian serta mempelajari bentuk geometri, beban, serta hasil simulasi pada penelitian sebelumnya. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan dan pemilihan konsep dengan menggunakan metode Ulrich dan dilakukan analisa kekuatan. Proses fabrikasi dan uji performa dilakukan apabila desain sudah selesai dibuat, pada tahapan terakhir adalah analisa biaya produksi dan kesimpulan maupun saran.

2.2 Formula Matematika

Daya turbin [4]

$$p = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \times A \tag{1}$$

Daya rencana (Pd)[5]

$$Pd = fc \times P \tag{2}$$

Momen puntir rencana (T)

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{Pd}{n1} \tag{3}$$

Tegangan geser

$$\tau = \frac{16 T}{\pi d^3} \tag{4}$$

Tegangan yang diijinkan

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf1 \times Sf2} \tag{5}$$

Menentukan diameter poros

$$ds = \left[\frac{5.1}{\tau_a} Kt Cb T \right]^{\frac{1}{3}} \tag{6}$$

2.3 Metode Ulrich

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode Ulrich, karena menurut Irvan (2011), metode Ulrich cocok digunakan untuk mengembangkan sebuah produk yang berdasarkan dari identifikasi kebutuhan konsumen serta metode ini memiliki kelebihan untuk memperbaiki kelemahan dari produk pembanding serta menambahkan hal-hal yang perlu ditambahkan dari produk pembanding, oleh karena itu metode Ulrich dipilih pada penelitian ini

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Parameter Blade Turbine

Turbine 2	
Change	4 Blades 60, Helix
Blade Type	NACA 0018
Number of Blades	4
Blade Tilt	0
Solidity Ratio	0,3
Chord Length (cm)	6,126
Diameter (m)	0,26
Aspect ratio	1,36
Height (m)	0,35
Swept Area (m2)	0,092
Helix Angle (degree)	60
Overwrap (%)	0
End Support	RadialArms

3.2 Daya Turbin

$$P_{fv} = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \times A$$

$$P_{fv} = \frac{1}{2} \times 1000 \times 1,36^3 \times 1 \times 0,18388$$

$$= 231,27 \text{ Watt}$$

Jika Cp diasumsikan 0,2

$$p = Cp \times P_{fv}$$

$$p = 0,2 \times 231,27$$

Daftar Kebutuhan		
S/H	Komponen	Penanggung Jawab
S	1. Mampu menghasilkan putaran dan disalurkan ke generator	Tim Desain dan Manufaktur
S	2. Mampu menghasilkan listrik	Tim Desain dan Manufaktur
H	3. Rangka mampu menahan beban dari tekanan air yang akan diterima	Tim Desain
	4. Panjang maksimal blade 35 cm	Tim Desain
S	1. Dapat di fabrikasi	Tim Manufaktur
S	2. Hasil pengerjaan sesuai dengan detail drawing yang telah dibuat	Tim Manufaktur
S	1. Mudah dirakit	Tim Desain
S	2. Mudah dibawa dan dipindahkan	Tim Desain
H	3. Dalam proses perakitan dan pembongkaran tidak memerlukan banyak alat	Tim Desain
S	1. Mudah untuk dibongkar dan di pasang	Tim Desain dan Manufaktur
H	2. Bila ada kerusakan, part mudah diperbaiki atau diganti	Tim Desain dan Manufaktur
S	Biaya lebih rendah dari produk <i>existing</i>	Tim Desain dan Manufaktur

$$p = 46,254 \text{ watt}$$

Kecepatan turbin menurut capstone project report sebesar 181 RPM

3.3 Pemilihan Konsep Desain

Pemilihan konsep desain dengan menggunakan metode Ulrich, metode Ulrich digunakan untuk membandingkan dan menyaring 3 konsep yang telah dibuat [6],

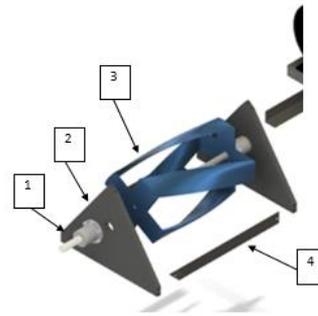
Dari daftar kebutuhan diatas, kemudian dibuat 3 konsep desain tersebut sebagai berikut :

1. Konsep Desain 1



Gambar 1 Konsep desain 1

Proses fabrikasi konsep desain 1



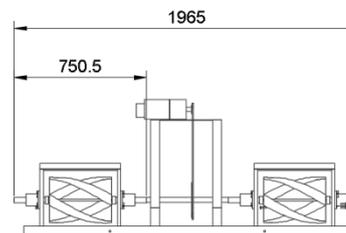
Gambar 2 Proses fabrikasi desain 1

Portabilitas



Gambar 3 Portabilitas desain 1

Dimensi



Gambar 4 Dimensi desain 1

Biaya

Tabel 1 Biaya desain 1

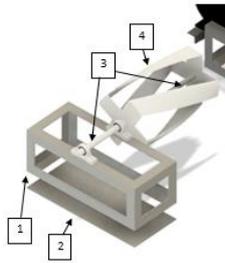
No	Uraian	Kuantitas	Harga Satuan	Jumlah
1	Plat Besi	76 kg	11.000,-	836.000,-
2	Aluminium silinder	13,85 kg	60.000,-	692.000,-
3	Plat Siku L	4	186.000,-	744.000,-
4	Pillow block <u>ucp</u> 205	2	45.000,-	90.000,-
5	Coupling	2	90.000,-	180.000,-
6	Bearing	8	11.000,-	88.000,-
7	Jasa las + Bubut	5	100.000,-	500.000,-
8	Biaya cetak 3D print	140 gr	700,-	98.000,-
9	Biaya Cor blade	8	50.000,-	400.000,-
10	Mur Baut m 10	4	2.000,-	8.000,-
11	Mur Baut m 8	8	1.500,-	12.000,-
12	Pembuatan spoke	4	200.000,-	800.000,-
13	Gear + rantai	1 set	200.000,-	200.000,-
Total				4.648.000,-

2. Konsep Desain 2



Gambar 5 Konsep desain 2

Proses fabrikasi konsep desain 2



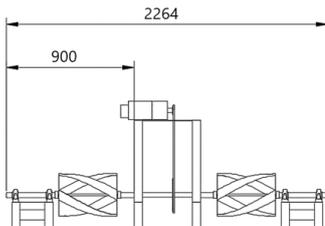
Gambar 6 Proses fabrikasi desain 2

Portabilitas



Gambar 7 Portabilitas desain 2

Dimensi



Gambar 8 Dimensi desain 2

Biaya

Tabel 2 Biaya desain 2

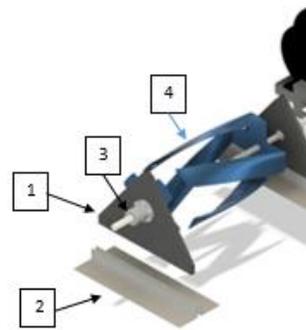
No	Uraian	Kuantitas	Harga Satuan	Jumlah
1	Plat L 5 mm	6	186.000,-	930.000,-
2	Ahli murium silinder	13,85 kg	60.000,-	692.000,-
3	Fillow block ucp 205	6	45.000,-	270.000,-
4	Coupling	2	90.000,-	180.000,-
5	Jas alas + bubut	10	100.000,-	1.000.000,-
6	Biaya cetak 3D print	140 gr	700,-	98.000,-
7	Biaya Cor blade	8	50.000,-	400.000,-
8	Plat 5mm	1 lembar	306.000,-	306.000,-
9	Pembuatan spoke	4	200.000,-	800.000,-
10	Gear + rantai	1 set	200.000,-	200.000,-
Total				4.878.000,-

3. Konsep Desain 3



Gambar 9 Konsep desain 3

Proses fabrikasi konsep desain 3



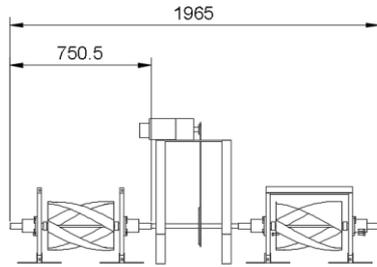
Gambar 10 Proses fabrikasi desain 3

Portabilitas



Gambar 11 Portabilitas Desain 3

Dimensi



Gambar 12 Dimensi desain 3

Biaya

Tabel 3 Biaya desain 3

No	Uraian	Kuantitas	Harga Satuan	Jumlah
1	Plat Besi	76 kg	11.000,-	836.000,-
2	Aluminium silinder	13,85 kg	60.000,-	692.000,-
3	Plat 5 mm	1200x1200		612.000,-
4	Pillow block ucp 205	2	45.000,-	90.000,-
5	Coupling	2	90.000,-	180.000,-
6	Bearing	8	11.000,-	88.000,-
7	Jasa las	5	100.000,-	500.000,-
8	Jasa Bending	8	10.000,-	80.000,-
9	Biaya cetak 3D print	140 gr	700,-	98.000,-
10	Biaya Cor blade	8	50.000,-	400.000,-
11	Mur Baut m 10	16	2.000,-	32.000,-
12	Mur Baut m 8	8	1.500,-	12.000,-
13	Pembuatan spoke	4	200.000,-	800.000,-
14	Gear + rantai	1 set	200.000,-	200.000,-
15	Plat Siku L	1	186.000,-	186.000,-
Total				4.806.000,-

4. Matrik Pemilihan konsep

Tabel 4 Matrik pemilihan konsep

Kriteria Seleksi	Bobot	Matrik Penilaian Konsep							
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Produk Existing	
		Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot	Rate	Skor Bobot
Proses fabrikasi	20	4	0,8	4	0,8	3	0,6	3	0,6
Portabilitas	30	2	0,6	2	0,6	2	0,6	3	0,9
Dimensi	10	2	0,2	2	0,2	2	0,2	3	0,3
Biaya	40	5	2	4	1,6	4	1,6	3	1,2
Bobot Total	100								
Nilai Absolut		13	3,6	12	3,2	11	3	12	3
Nilai Relatif (%)		27,083	28,12	25	25	22,91	23,43	25	23,43

3.4 Perhitungan Komponen Daya Rencana

$$Pd = P \times fc$$

$$= 0,04 \times 1,5$$

$$= 0,06 \text{ kW}$$

$$= 6 \times 10^{-2} \text{ kW}$$

Momen puntir

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{Pd}{n_1}$$

$$= 9,74 \times 10^5 \times \frac{0,06}{180}$$

$$= 324,66 \text{ kg.f mm}$$

Bahan Poros

Material poros yang digunakan adalah s45c yang memiliki Kekuatan tarik $\sigma = 58 \text{ kg/mm}^2$

Faktor keamanan untuk material s45c, $sf_1 = 6$
 $sf_2 = 2$

Tegangan Ijin Geser

$$\tau_a = \frac{\sigma}{(sf_1 \times sf_2)}$$

$$= \frac{58}{(6 \times 2)}$$

$$= 4,83 \text{ kg.f/mm}^2$$

Diameter Poros

Sesuai dengan standar ASME, nilai faktor koreksi momen puntir (K_t) yang digunakan adalah 1,5 karena terjadi sedikit kejutan atau tumbukan dan untuk faktor beban lenturnya (C_b) adalah 1 -2 dipilih 2. Berdasarkan data yang telah diketahui maka, dapat dihitung diameter poros (d_s) sebagai berikut:

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau_a} K_t C_b T \right]^{\frac{1}{3}}$$

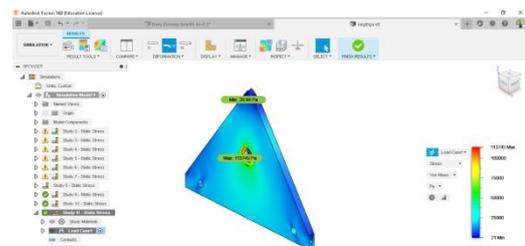
$$d_s = \left[\frac{5,1}{4,83} 1,5 \times 2 \times 324,66 \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_s = [1,05 \times 1,5 \times 2 \times 324,66]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_s = [1.022,7105]^{\frac{1}{3}}$$

$$d_s = 10,07 \text{ mm} \sim 10 \text{ mm}$$

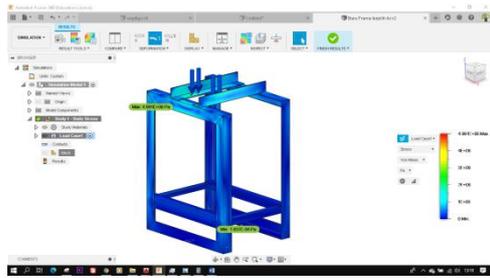
3.5 Analisa Kekuatan



Gambar 13 Analisa kekuatan frame segitiga

Frame Segitiga

$$11,37e + 004 \text{ pa} < 2,15e + 008 - 7,9e + 008 \text{ Pa}$$



Gambar 14 Analisa kekuatan frame L

Frame tengah
 $4,991e + 06 \text{ pa} < 2,5e + 008 \text{ Pa}$

3.6 Pengujian Performa

Tabel 1. 5 Pengujian performa

No	Kec Air	Beban	RPM Turbin	RPM Generator	Tegangan (V)	Arus (A)
1	1,2	-	600	-	-	-
2	0,8	-	300	-	-	-
3	0,8	-	50	152,9	32	0,19
4	0,8	12 v	20	61	-	0,11

3.7 Harga Pokok Produksi

Tabel 1. 6 Harga pokok produksi

No	Biaya	Total (Rp)
1	Biaya Bahan Baku	Rp 3.748.700,00
2	Biaya Tenaga Kerja Langsung	Rp 625.000,00
3	Biaya Overhead	Rp 367.000,00
	Total	Rp 4.740.700,00

4. KESIMPULAN

1. Perancangan turbin Gorlov dibantu dengan menggunakan software Fusion 360, dari spesifikasi yang telah ditentukan, dilanjutkan pemilihan konsep berdasarkan 4 aspek yaitu proses fabrikasi, portabilitas, dimensi, biaya dengan menggunakan metode Ulrich untuk mendapatkan desain yang terbaik, dari ketiga konsep desain yang telah dibuat, konsep 1 mendapatkan nilai 28,12, sehingga dipilihlah konsep 1 sebagai konsep untuk membuat turbin Gorlov
2. Fabrikasi turbin Gorlov dibagi menjadi 2, fabrikasi blade dan fabrikasi frame, dalam pembuatan blade dilakukan dengan cara pengecoran, sedangkan Frame dibuat menggunakan Plat L tebal 5 mm, Frame L tersebut di las sesuai dengan gambar detail drawing
3. Harga pokok produksi didapatkan dari perhitungan biaya bahan baku, biaya tenaga kerja langsung dan biaya overhead, pada biaya bahan baku pembuatan turbin Gorlov ini sebesar Rp. Rp 3.748.700,00, Biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp 625.000,00, Biaya Overhead 367.000,00

Sehingga total biaya untuk pembuatan turbin ini sebesar Rp 4.740.700,00.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada keluarga, dosen pembimbing, teman – teman dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah berkontribusi baik moril maupun materiil dalam penyelesaian penulisan artikel.

6. PUSTAKA

- [1] Albastomiroji. (2018). STUDI KELAYAKAN POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH) BENDUNG TRANI KALI SAMIN/GEMBONG DI KABUPATEN SUKOHARJO. Skripsi. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [2] Shiono, dkk. (2002).
- [3] Anderson, J., & Huges, B. (2011). Design and Manufacture of a Cross-Flow Helical Tidal Turbine. Capstone Project Report :.
- [4] Gorlov, A. M. (2001). Limits of the Turbine Efficiency for free fluid flow. Energy Resources Technology.
- [5] Sularso dan Kiyokatsu Suga. (n.d.). Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin.
- [6] Ulrich, K. T., & Epingner, S. D. (2001). Product Design and Development.