

RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN PIKOHIDRO DENGAN SISTEM MONITORING JARAK JAUH

Sovia Rahmania Warda ^{1*}, Fipka Bisono ², George Endri Kusuma ³

Program Studi D4 Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia ^{*123}
Email: chepyq.adv@gmail.com¹

Abstract –Energy is the primary need of society in carrying out their daily needs. However, it is currently a global issue that must be faced because it has a negative impact on producing greenhouse gases. Based on Indonesia's energy outlook in 2021, the potential for renewable energy is very abundant, such as hydro energy of 20,960 MW and solar energy of 6,379 MW. Indonesia has natural potentials such as irrigation flow and solar as a renewable energy source. This research contains the design and construction of a hybrid energy power plant by combining the potential of solar energy and irrigation flow. This research uses a screw turbine and monocrystalline solar panels. Development process used the Ulrich method, comparing 3 product concepts, the first concept was chosen because it was suit among others, easy to fabricate, good portability, and lower costs than existing products. The results of performance tests with a water flow speed of 1.28 m/s, the average power produced by the screw turbine is 29.10 watts, and from solar panels is 24.95 watts. This product is equipped with a remote monitoring system via website to unify the voltage, current and frequency. The total cost of production is Rp. 9,534,284.00,-.

Keyword: energy, irrigation, screw turbine, solar cell, ulrich, website

NOMENCLATURE

g	= gaya gravitasi
m	= jumlah <i>blade</i>
H	= <i>head</i>
K	= sudut turbin
L	= panjang turbin
P	= daya hidrolisis
Q	= volume alir
Ri	= jari-jari dalam
Ro	= jari-jari luar
V	= tegangan listrik
Vt*	= volume air pada tiap ulir
V _{total}	= volume total air yang tertampung
V _w	= kecepatan aliran air
π	= konstanta matematika
ρ	= massa jenis fluida
ρ*	= rasio radius optimal
Λ	= periode <i>blade</i>
λ*	= <i>pitch ratio</i>

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan primer masyarakat dalam menjalankan kebutuhan sehari-hari. Namun, saat ini energi menjadi isu global yang harus dihadapi. Hal ini terjadi karena ketidakseimbangan antara kebutuhan dengan ketersediaan energi. Isu lainnya yang sedang terjadi di Indonesia adalah penggunaan energi fosil. Hal ini terlihat dari kebijakan energi nasional (energi *mix*) sampai tahun 2025 yang menempatkan ketergantungan kepada energi fosil sangat sebesar yakni 85%. Dari data tersebut

memberikan gambaran bahwa, sektor energi fosil menjadi salah satu penyumbang emisi global [1].

Energi yang bersumber dari fosil memiliki sifat terbatas, sehingga harus bijak menggunakannya. Perlu adanya pemanfaatan energi alternatif yang berasal dari sumber terbarukan dan ramah lingkungan, sehingga mampu mengurangi ketergantungan terhadap pembangkit listrik yang berasal dari fosil [2].

Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer. Berdasarkan Outlook Energi Indonesia Tahun 2021, potensi energi baru terbarukan dengan jenis energi surya sebesar 6.379 MW dan tenaga air sebesar 20.960 MW [3].

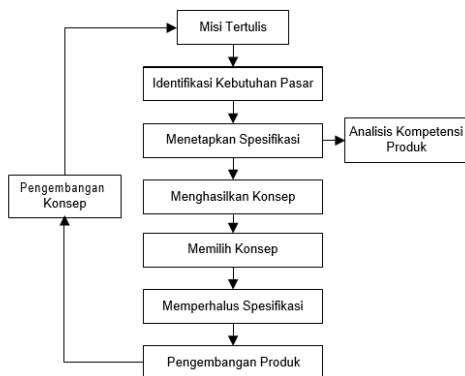
Melihat potensi sumber daya air yang sangat melimpah, Indonesia dapat memanfaatkan aliran sungai atau saluran irigasi sebagai alternatif energi baru terbarukan yang ramah lingkungan. Selain itu, Indonesia terletak di daerah khatulistiwa, sehingga memiliki intensitas penyinaran matahari yang baik sepanjang tahun. Kondisi penyinaran ini berpotensi untuk digunakan dalam pembangkitan listrik tenaga surya.

Meninjau permasalahan dan potensi diatas, penelitian ini akan merancang pembangkit listrik tenaga surya dan pikohidro menggunakan model *hybrid* energy. Pada pembangkit listrik tenaga pikohidro akan memanfaatkan turbin jenis ulir (*screw turbine*) yang mampu beroperasi pada *head* rendah dan memanfaatkan panel surya

sebagai sumber pembangkit listrik tenaga surya. Pembangkit listrik ini nantinya diharapkan mampu menghasilkan produk yang ringan, dimensi serta material yang cocok untuk diaplikasikan di saluran irigasi yang memiliki kondisi berbeda-beda, serta dapat menghasilkan *output* energi listrik yang maksimal. Dalam produk ini juga dilengkapi dengan sistem *monitoring* jarak jauh untuk memantau semua data-data yang terkait dengan penentuan *performance* sistem. Data tersebut berupa tegangan, arus, dan frekuensi dari masing-masing sumber energi yaitu, pembangkit listrik tenaga pikohidro dan pembangkit listrik tenaga surya yang dapat dipantau melalui *website*, sehingga pengoperasionalan produk dapat menjadi lebih mudah dan efisien.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode Ulrich dalam proses pengerjaannya agar mendapatkan desain terbaik sesuai kebutuhan. Dengan metode Ulrich, peneliti merancang 3 konsep desain dan membandingkan ketiga konsep tersebut. Proses selanjutnya akan diseleksi menjadi satu konsep desain berdasarkan kriteria yang dibutuhkan untuk menentukan desain terbaik. Berikut Gambar 1 adalah Diagram Alir Metode Ulrich.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Ulrich

Proses pengembangan konsep sesuai metode Ulrich mencakup kegiatan-kegiatan sebagai berikut: identifikasi kebutuhan, penyusunan konsep, pemilihan konsep, dan pembuatan alat [4].

2.1 Parameter Perhitungan Desain

Archimedes screw yang optimum dapat dihitung berdasarkan perhitungan yang diberikan oleh Chris Rorres seperti pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1: Parameter Optimum *Archimedes Screw*

No. of blades N	Optimal radius ratio ρ^*	Optimal pitch ratio λ^*	Optimal volume per turn ratio λ^*v (N, ρ^* , λ^*)	Optimal volume ratio v (N, ρ^* , λ^*)

1	0.5358	0.1285	0.0361	0.2811
---	--------	--------	--------	--------

Perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan desain turbin ulir adalah sebagai berikut [5].

1. Diameter Dalam

$$R_i = \rho R_o$$

Dimana :

R_i = jari-jari dalam

ρ = rasio radius optimal

R_o = jari-jari luar

2. Periode *Blade*

$$\Lambda = \frac{2\pi R_o \lambda}{K} \quad (1)$$

Dimana :

Λ = *pitch ratio*

K = sudut turbin

3. Jumlah *Blade*

$$m = \frac{L}{\Lambda} \quad (2)$$

Dimana :

m = jumlah *blade*

L = panjang turbin

4. Volume Total Pada *Blade*

$$V_t^* = \frac{1,52 R_o^3}{K} \quad (3)$$

$$V_{total} = V_t^* \times m \quad (4)$$

Dimana :

m = jumlah *blade*

L = panjang turbin

5. Volume Alir

$$Q = V_w \times A \quad (5)$$

Dimana :

V_w = kecepatan aliran air

A = luas penampang

6. Daya Hidrolisis

$$P = \rho \times Q \times g \times H \quad (6)$$

Dimana :

P = daya hidrolis (kW)

ρ = massa jenis fluida (Kg/m^3)

g = gaya gravitasi (m^2/s)

H = *head* (m)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Daftar Kebutuhan Produk

Penyusunan daftar kebutuhan dilakukan untuk membantu dalam mendapatkan spesifikasi produk dengan harapan produk yang dibuat dapat sesuai dengan kebutuhan, fungsi, dan mampu menyempurnakan produk yang akan dibuat [6]. Daftar kebutuhan produk dapat dilihat pada uraian Tabel 2 dibawah ini.

Tabel 2: Daftar Kebutuhan

DAFTAR KEBUTUHAN		
	Komponen	Penanggung Jawab
S S S H	Mampu memenuhi fungsi dengan baik. <i>Frame</i> mampu menahan beban dari tekanan yang akan diterima. Panjang maksimum produk 1.5 meter. Mampu menghasilkan putaran <i>blade</i> dan dapat mentransmisikan putaran ke generator.	1. Tim Desain & Manufaktur 2. Tim Desain 3. Tim Desain 4. Tim Desain & Manufaktur
S	1. Dapat di fabrikasi	Tim Manufaktur
S S H	1. Mudah di bongkar dan pasang dengan mudah. Mudah dibawa dan ditempatkan. Dalam perakitan tidak memerlukan banyak alat/ <i>tools</i> .	Tim Desain
	1. Bila terdapat kerusakan dapat diperbaiki untuk <i>part</i> yang dianggap kurang, sehingga tidak perlu mengganti banyak <i>part</i> yang tidak terlibat.	Tim Desain dan Manufaktur
	Produk dapat diintegrasikan ke dalam <i>website</i> . Produk dapat di- <i>monitoring</i> secara <i>real-time</i> .	Tim Otomasi
	1. Tidak menimbulkan polusi Tidak mengganggu/merusak ekosistem	Tim Desain
	1. Biaya yang dikeluarkan lebih rendah dari produk <i>existing</i> , tetapi dapat memenuhi fungsi dengan baik. Dapat dipasarkan dengan harga yang terjangkau.	Semua Tim

Keterangan :
 S = syarat
 H = harapan

Berdasarkan daftar kebutuhan di atas maka akan dibuat konsep desain untuk membangun pembangkit listrik *hybrid* energi.

3.2 Konsep Desain Turbin

Dalam membuat konsep desain turbin, berdasarkan perhitungan yang dilakukan didapatkan spesifikasi turbin ulir. Berikut Tabel 3 menunjukkan spesifikasi turbin :

Tabel 3: Spesifikasi Turbin

Parameter	Value
Panjang turbin	80 cm
Diameter luar	24 cm
Diameter dalam	12 cm
Tebal sudu <i>screw</i>	0,2 cm
Jarak tiap sudu <i>screw</i>	19 cm
Jumlah sudu <i>screw</i>	1 buah
Jumlah lilitan <i>screw</i>	4 buah

Spesifikasi dimensi diatas akan digunakan untuk menjadi parameter dalam proses fabrikasi. Berikut adalah perhitungan untuk mendapatkan perancangan dimensi optimum berdasarkan penelitian Chris Rorres:

1. Diameter Dalam

Diketahui:

$$\rho = 0.5358$$

$$R_o = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$$

Didapat:

$$R_i = \rho R_o$$

$$= 0.5358 \times 0.12 \text{ m}$$

$$= 0.064 \text{ m}$$

2. Periode *Blade*

Diketahui:

$$\pi = 3.14$$

$$R_o = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.1285$$

$$K = \tan 27^\circ = 0.50$$

Didapat:

$$\Lambda = \frac{2\pi R_o \lambda}{K}$$

$$= \frac{2(3.14) \times 0.12 \text{ m} \times 0.1285}{0.50}$$

$$= 0.193 \text{ m}$$

3. Jumlah *Blade*

Diketahui:

$$L = 80 \text{ cm} = 800 \text{ mm}$$

$$\Lambda = 0.193 \text{ m} = 193 \text{ mm}$$

Didapat:

$$m = \frac{L}{\Lambda}$$

$$m = \frac{800}{193}$$

$$m = 4.1 \text{ buah}$$

Dengan pembulatan keatas didapatkan jumlah *blade* sebanyak 4 buah.

4. Volume Total Pada *Blade*

Diketahui:

$$R_o = 12 \text{ cm} = 0.12 \text{ m}$$

$$K = \tan 27^\circ = 0.50$$

Didapat:

$$Vt^* = \frac{1.52 R_o^3}{K}$$

$$Vt^* = \frac{1.52 (0.12 \text{ m})^3}{0.50}$$

$$Vt^* = 0.0052 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = Vt^* \times m$$

$$V_{total} = 0.0052 \text{ m}^3 \times 4$$

$$V_{total} = 0.021012 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = 21.01 \text{ liter}$$

5. Volume Alir

Diketahui:

$$L = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$

$$D = 30 \text{ cm} = 300 \text{ mm}$$

$$V = 1.28 \text{ m/s}$$

$$A = 0.3 \text{ m}^2$$

Didapat:

$$A = L \times D$$

$$A = 1000 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$$

$$= 300.000 \text{ mm}^2 = 0.3 \text{ m}^2$$

$$Q = V \times A$$

$$= 1.28 \text{ m/s} \times 0.3 \text{ m}^2$$

$$= 0.384 \text{ m}^3/\text{s}$$

6. Daya Hidrolisis

Diketahui:

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = 0.384 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = 0.5$$

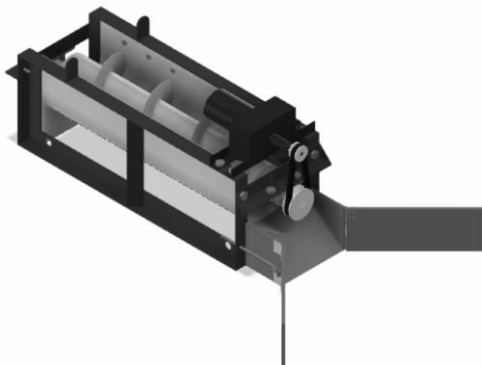
Didapat:

$$P = \rho \times Q \times g \times H$$

$$P = 1000 \text{ kg/m}^3 \times 0.384 \text{ m}^3/\text{s} \times 9.81 \times 0.5 \text{ m}$$

$$P = 1.883 \text{ Watt} = 1.8 \text{ kW}$$

Setelah spesifikasi turbin didapatkan maka, dapat didesain sebuah turbin seperti yang terlihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Desain Turbin

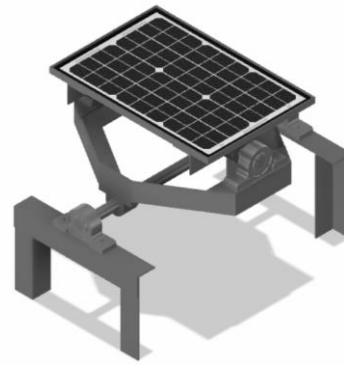
3.3 Konsep Desain Komponen Atas

Berikut merupakan beberapa konsep desain dari komponen atas yang telah dibuat. Konsep desain 1 dapat dilihat pada Gambar 3. dibawah ini.



Gambar 3. Konsep Desain 1

Konsep desain 2 dapat dilihat pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Konsep Desain 2

Konsep desain 3 dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Konsep Desain 3

Konsep desain yang telah dibuat memiliki perbedaan komponen penunjang yang dapat dilihat pada Tabel 4 seperti di bawah ini:

Tabel 4: Perbandingan Konsep Desain Komponen Atas

	Konsep 1	Konsep 2	Konsep 3
Bentuk penampang	Persegi panjang	Segi-6	Lingkar
Jumlah komponen	4	8	6
Minimal stress (MPa)	3.06E-08	4.19 E-08	3.26 E-08
Maksimal stress (MPa)	4.251	5.526	4.393
Minimal safety factor	15	15	15
Hasil analisa stress	aman	aman	aman
Dimensi (mm)	344 x 310 x 850	592 x 344 x 548	1015 x 463 x 562
Berat (kg)	30	39	31
Material	ASTM A36	ASTM A36	ASTM A36
Proses fabrikasi	3 tahap	3 tahap	4 tahap
Estimasi Biaya	Rp6,984,284	Rp8,774,727.50	Rp9,372,907.50

3.4 Penetapan Konsep Desain Terpilih

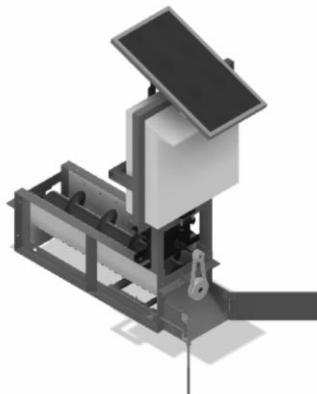
Proses penetapan konsep desain akan menggunakan model matriks penilaian konsep. Dari 3 konsep desain tersebut akan dipilih satu konsep terbaik melalui tahapan pemilihan konsep dengan melakukan analisa di setiap kriteria

pemilihan yaitu, fabrikasi, portabilitas, dan biaya. Setelah melakukan uraian masing-masing konsep desain berdasarkan kriteria sesuai daftar kebutuhan maka akan dilanjutkan dalam matriks penilaian dengan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5: Matriks Penilaian Konsep

Matriks Penilaian Konsep									
Kriteria Seleksi	Bobot	Konsep Produk dan Referensi							
		Konsep 1		Konsep 2		Konsep 3		Referensi	
		Rate	Skor	Rate	Skor	Rate	Skor	Rate	Skor
Fabrikasi	25%	5	0,5	4	0,4	4	0,4	3	0,3
Portabilitas	35%	4	0,8	3	0,6	3	0,6	3	0,6
Biaya	40%	5	1,5	4	1,2	3	0,9	3	0,9
Total Nilai		14	4,75	11	3,75	9	3	8	2,6
Nilai Relatif (%)		31,5	31,7	24,7	24,8	23,3	22,8	20,5	20,7
Ranking		1		2		3		4	
Continue?	Ya/Tidak	Ya		Tidak		Tidak		-	

Berdasarkan Tabel 5 di atas konsep desain yang mendapat ranking terbaik adalah konsep desain 1. Konsep desain 1 dapat dilihat pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Konsep Desain Terpilih

3.5 Proses Fabrikasi

Proses fabrikasi untuk membuat pembangkit listrik *hybrid* energi ini meliputi proses *drawing*, *cutting plate*, penarikan plat, pengelasan, *rolling*, *drilling*, *bending*, dan *coating*. Komponen atau bagian pembangkit yang membutuhkan proses fabrikasi adalah sebagai berikut:

- 1) *Blade*
- 2) Poros
- 3) *Housing*
- 4) *Frame*
- 5) Kolektor air
- 6) Penyangga *panel box*
- 7) Penyangga panel surya
- 8) Konektor komponen atas dan bawah

Dalam membuat produk pembangkit listrik *hybrid* energi membutuhkan total waktu 86 jam dengan total 8 tahap proses. Tahapan setelah proses fabrikasi komponen produk selesai adalah proses perakitan dan pengecatan. Tahap tersebut adalah tahap akhir dari pembuatan pembangkit listrik *hybrid*

energi ini. Hasil pembuatan produk dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini:



Gambar 7. Hasil Fabrikasi

3.6 Uji Performa

Pengujian performa dilakukan di saluran irigasi daerah Jl. Mentaraman, Penarukan, Kec. Kepanjen, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65163. Uji performa dilakukan pada rata-rata kecepatan aliran air 1.28 m/s dan kedalaman sungai 500 mm. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui fungsi turbin dapat diaplikasikan dan untuk mengetahui hasil performansi energi listrik yang mampu dihasilkan.

Data hasil uji performansi dari pembangkit listrik tenaga pikohidro yang dihasilkan dari turbin ulir dapat dilihat pada tabel 6 berikut.

Tabel 6: Hasil Pengujian Turbin Ulir Tanpa Beban

Jam	Rpm Turbin	Rpm Generator	Daya (watt)
09.00	250	345	25,67
10.00	247	340	26,44
11.00	249	343	26,53
12.00	256	353	32,98
13.00	258	357	34,61
14.00	244	336	28,42

Berdasarkan Tabel 6 dilakukan enam kali percobaan dalam rentang pukul 09.00 – 14.00 didapatkan rata-rata rpm turbin sebesar 251 rpm, rpm generator 346 rpm, dan daya yang dihasilkan 29.10 watt.

Hasil pengujian panel surya tanpa pembebanan dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini.

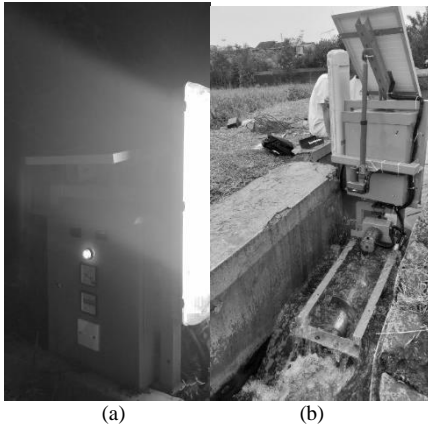
Tabel 7: Hasil Pengujian Panel Surya Tanpa Beban

Jam	V (volt)	I (ampere)	P (watt)
09.00	11.5	1.81	20,89
10.00	11.8	1.82	21,54
11.00	12.5	1.88	23,51
12.00	12.8	2.16	27,71
13.00	12.7	2.32	29,55
14.00	12.3	2.15	26,54

Pada Tabel 7 telah dilakukan enam kali percobaan dalam rentang pukul 09.00 – 14.00 didapatkan rata-rata tegangan yang dihasilkan

12.2 volt, arus rata-rata sebesar 2.02 ampere, dan daya rata-rata sebesar 24.95 watt.

Pembangkit listrik *hybrid* ini mampu menyalakan beban lampu TL 9 watt. Proses uji performa dapat dilihat pada Gambar 8 dibawah ini.

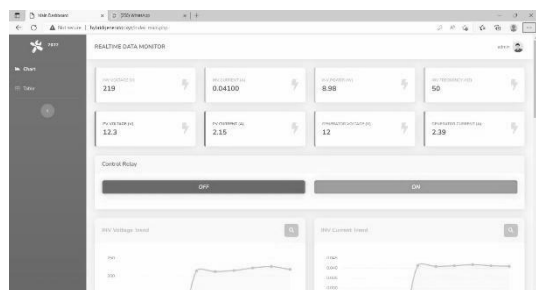


Gambar 8. (a) Uji Coba Menggunakan Lampu
 (b) Uji Performa Pembangkit

3.7 Integrasi Pada Website

Salah satu fitur dari produk pembangkit listrik *hybrid* energi adalah dapat diintegrasikan kepada *website* berupa proses pemantauan atau disebut *monitoring*. *Monitoring website* didapatkan dari pengukuran arus dan tegangan panel surya, generator turbin air, dan inverter.

Hasil integrasi *website* dapat diakses pada link <http://www.hybridgenerator.xyz/>. Cara kerja dari *website* yang telah disebutkan adalah admin harus melakukan *log in* terlebih dahulu dengan memasukkan *user ID* dan *password*. Berikut Gambar 3.8 merupakan tampilan utama *website*.



Gambar 9. Tampilan Utama Website

3.8 Harga Pokok Produksi

Harga pokok produksi disini adalah jumlah biaya keseluruhan yang dikeluarkan untuk membuat pembangkit listrik *hybrid* energi. Rincian biaya dapat dilihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8: Biaya Pembangunan Mesin

Biaya	Total Jumlah (Rp)
Biaya Bahan Baku	5,884,284.00

Biaya Tenaga Kerja	1,000,000.00
Biaya <i>Overhead</i>	2,650,000.00
Total	9,534,284.00,-

Biaya total dari proses pembuatan pembangkit listrik *hybrid* energi ini adalah Rp. 9,534,284.00,-.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dalam proses perancangan dan pengembangan produk menggunakan metode Ulrich. Penelitian ini menghasilkan tiga konsep. Konsep pertama terpilih karena dianggap sesuai dengan kriteria: mudah di fabrikasi, portabilitas baik, dan biaya lebih rendah dari produk *existing*. Perancangan desain pembangkit listrik *hybrid* portable menggunakan software Autodesk Fusion 360. Desain pembangkit listrik memiliki dimensi total 900 mm x 600 mm x 1320 mm. Material yang digunakan dalam perancangan produk pembangkit listrik menggunakan stainless steel dan besi. Hasil uji performa yang didapat pada sungai dengan kecepatan aliran air 1,28 m/s, daya rata-rata yang dihasilkan turbin ulir sebesar 29.10 watt dan rata-rata daya dari panel surya sebesar 24.95 watt.
2. Proses fabrikasi yang dibutuhkan dalam pembuatan pembangkit listrik *hybrid* portable terdiri dari 8 tahapan. Tahapan pertama adalah pembuatan *blade*, tahapan kedua adalah pembuatan poros, tahapan ketiga adalah *assembly blade & poros* utama, tahapan keempat adalah pembuatan *housing*, tahapan kelima adalah pembuatan *frame*, tahapan keenam adalah pembuatan kolektor air, tahapan ketujuh adalah pembuatan komponen atas, dan tahapan kedelapan adalah perakitan. Total waktu yang dibutuhkan untuk membuat produk pembangkit listrik *hybrid* energi sejumlah 86 jam. Peralatan yang diperlukan meliputi mesin *bending*, mesin *roll*, laser *cutting*, mesin bubut, las, dan mesin *cutting*.
3. Perencanaan biaya yang dibutuhkan berdasarkan perhitungan harga pokok produksi didapatkan, biaya bahan baku sebesar Rp5,884,284. Biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp1,000,000. Biaya overhead dibutuhkan Rp 2,650,000.00 Total biaya yang diperlukan dalam pembuatan pembangkit listrik *hybrid* portable sebesar Rp9,534,284.00,-.

5. PUSTAKA

[1]Daniel Rohi, & Jandy E.Luik. (2013). *Kesadaran Masyarakat Surabaya untuk Memiliki Gaya Hidup Ramah Lingkungan*

- “Green Living” Melalui Menghemat Penggunaan Energi Listrik. Scientific Repository of Petra Christian University.*
- [2]Juwito, A. F., Pramonohadi, S., & Haryono, T. (2012). *Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya. Semesta Teknika, Vol.15, No.1, pp.22–34.*
- [3]Nasional, S. J. D. E. (2019). **Outlook Energi Indonesia 2019.** Dewan Energi Nasional, Indonesia.
- [4] Ulrich, K. T., & Eppinge, S. D. (2016). **Product Design and Development.** New York: MCGraw-hill.
- [5]Rorres, C. (2000). *The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw. Journal of Hydraulic Engineering, Vol.126, No.1, pp.72–80.*
- [6]Batan, I. M. L. (2012). **Desain Produk (Edisi 1).** Guna Widya, Surabaya