

## ANALISIS POTENSI LISTRIK PADA TEKNOLOGI TEPAT GUNA KINCIR AIR

Arrizka Yanuar Adipradana<sup>1\*</sup>, Hery Teguh Setyawan<sup>2</sup>, Apanggi Mustakhim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Kota Magelang, Jawa Tengah, Kode Pos 56116

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Kota Magelang, Jawa Tengah, Kode Pos 56116

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tidar, Jl. Kapten Suparman 39 Potrobangsari, Kota Magelang, Jawa Tengah, Kode Pos 56116

\*E-mail: [arrizka.yanuar@untidar.ac.id](mailto:arrizka.yanuar@untidar.ac.id)

Diterima: 10 Januari 2021

Direvisi: 23 Juli 2021

Disetujui: 26 Desember 2021

### ABSTRAK

Aliran sungai dapat dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik mikro dan piko. Teknologi kincir air (*water wheel*) telah lama digunakan masyarakat untuk menaikkan air sungai ke petak-petak sawah dengan memanfaatkan putaran kincir. Para Petani di Dusun Gedongan Desa Bondowoso Kabupaten Magelang sudah sejak lama menggunakan teknologi tersebut sebagai pompa untuk menaikkan air sungai ke petak sawah yang elevasinya di atas sungai. Dari kajian literatur diketahui bahwa turbin *cross flow* dari kincir air dapat menghasilkan energi dengan bekerjanya putaran dan torsi kincir. Namun demikian teknologi tepat guna (*appropriate technology*) tersebut belum dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga piko. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui besaran dan daya energi yang dihasilkan kincir air sehingga diketahui potensi listrik yang dihasilkan. Manfaat dari penelitian adalah dapat meningkatkan elektrifikasi di wilayah pedesaan terutama untuk penerangan jalan dengan teknologi yang murah, ramah lingkungan dan berkesinambungan. Metode penelitian yang dilakukan dengan pengambilan data primer dilapangan dengan mengukur besaran putaran dari kincir akibat kecepatan sungai. Adapun tahapan riset yang dilakukan adalah memilih lokasi spesifik penelitian, menyiapkan alat dan bahan seperti kincir air, rpm meter dan tacho meter, memobilisasi alat ukur, mengumpulkan data lapangan, analisis data, menyusun hasil dan laporan. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan bahwa potensi listrik yang dihasilkan oleh kincir air tradisional sebesar 80 watt sedangkan energi listrik yang dihasilkan dari putaran kincir sebesar 7,5 watt.

**Kata kunci:** Kincir air, Teknologi tepat guna, Potensi listrik, Elektrifikasi pedesaan.

### ABSTRACT

*Streams can be used for micro and pico-scale power plants. Water wheel technology has long been used by the community to raise river water to rice fields by utilizing the spinning wheel. Farmers in Gedongan Hamlet, Bondowoso Village, Magelang Regency have long used this technology as a pump to raise river water to rice fields that are elevated above the river. From the literature review it is known that the cross flow turbine from a waterwheel can produce energy by working the rotation and torque of the wheel. However, the appropriate technology has not been used as a pico power generator. The purpose of this study is to determine the amount and power of energy produced by waterwheels so that the potential electricity produced is known. The benefit of the research is that it can increase electrification in rural areas, especially for street lighting with cheap,*

*environmentally friendly and sustainable technology. The research method was carried out by collecting primary data in the field by measuring the amount of rotation of the watermill due to river velocity. The research stages carried out are selecting a specific research location, preparing tools and materials such as waterwheels, rpm meters and tacho meters, mobilizing measuring instruments, collecting field data, analyzing data, compiling results and reports. Based on research that has been done, the electric potential generated by traditional waterwheels is 80 watts, while the electrical energy generated from the spinning wheel is 7.5 watts.*

**Keywords:** *Water wheel, appropriate technology, electric potensial, village electricity.*

## PENDAHULUAN

Data nasional tahun 2018 menunjukkan bahwa dengan jumlah penduduk 265 juta konsumsi bahan bakar sebesar 450, 78 juta BOE (*Barrels of Equivalent*) dan konsumsi listrik sebesar 156,98 Juta BOE sedangkan produksi energi (BBM, gas, listrik, dll) secara berturut-turut dari besar ke kecil bersumber dari batu bara (*coal*), minyak mentah (*crude oil*), panas bumi dan PLTA (Indonesia, 2018). Berdasarkan data tersebut menggambarkan bahwa konsumsi bahan bakar dan listrik berbanding lurus dengan populasi jumlah penduduk dengan produksi terbesar berasal dari bahan-bahan fosil. PLN pada 2019 menyatakan secara umum bahwa tingkat elektrifikasi telah mencapai 98,5 % untuk seluruh Rumah Tangga (RT) Indonesia atau hanya sekitar 1,02 juta RT yang belum mendapatkan listrik, namun jika dilihat dari segi kualitas (*quality*) dan keberlanjutan (*sustainability*) menurut standar Bank Dunia ternyata jumlahnya mencapai 10 juta RT (Torra, 2019). IRENA (*Internasional Renewable Energy Agency*) mengeluarkan data statistik tentang total energi baru terbarukan di seluruh Indonesia yang mencapai 9.471 Mega Watt (MW) (Renewable & Agency, 2019). Daya tersebut tentu belum ideal untuk negara dengan penduduk terbesar keempat di dunia ini, namun usaha untuk terus memproduksi energi alternatif yang berkelanjutan terus dilakukan.

Potensi energi baru terbarukan yang tersedia di Indonesia relatif beragam antara lain energi sel surya dan sel air hujan (Diniardi, Ramadhan, Fithriyah, & Dermawan, 2018). Aliran sungai pun dapat menghasilkan listrik dengan penggunaan Kincir air yang merupakan teknologi tepat guna yang sejak lama sudah ada di Indonesia (Ibrahim, Haron, & Azhari, 2010) (Jamlay, Sule, & Hasan, 2016).

Di Dusun Gedongan, Desa Bondowoso, Kecamatan Mertoyudan, Kabupaten Magelang kincir air digunakan untuk menaikkan air Sungai Gending ke petak-petak sawah karena elevasi sungai lebih rendah dari areal persawahan. Teknik pembuatannya juga sangat tradisional berdasarkan pengalaman para sesepuh yang sudah turun-temurun (*local wisdom*). Pemanfaatan kincir air di desa tersebut masih terbatas untuk pompa irigasi padahal dari beberapa penelitian yang telah dilakukan teknologi tepat guna ini dapat menghasilkan energi listrik skala piko yang bersih dan berkelanjutan (Sule & Soenoko, 2014) (Emanuele Quaranta & Müller, 2018) (Emanuele Quaranta & Revelli, 2018). Potensi listrik pada teknologi tepat guna merupakan nilai tambah (*value added*) yang belum banyak dimanfaatkan.

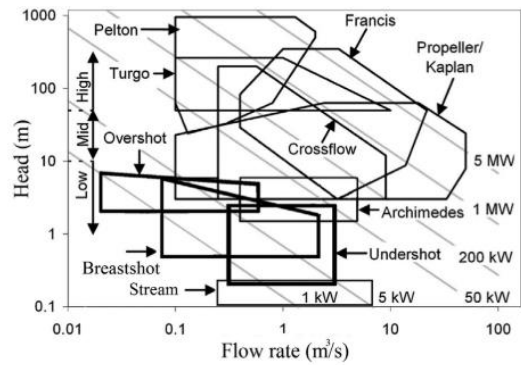
Penelitian air untuk energi (*water for energy*) khususnya untuk pembangkit listrik telah sejak lama dilakukan meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Mini Hidro, Mikro Hidro dan Piko Hidro (Muchtar, 2016) (Shahabudin, Ibrahim, Akmal, & Zamri, 2017) (Azhari, Prawinnetou, & Hutama, 2017). Dengan teknologi turbin, Aliran Sungai dapat digunakan sebagai sumber energi baru terbarukan yang murah, ramah lingkungan dan berkelanjutan (Emanuele Quaranta, 2020) (Du, Shen, & Yang, 2020). Di dunia, penelitian terkait teknologi turbin dengan penggerak aliran sungai sudah masif diteliti dan dikembangkan baik sebagai pompa irigasi maupun pembangkit energi (Carlo et al., 2019) (Salleh, Kamaruddin, & Mohamed-kassim, 2019) (Emanuele Quaranta & Revelli, 2020). Topik teknologi kincir air sangat menarik untuk diteliti karena saat ini di Pedesaan teknologi tersebut digunakan untuk pompa irigasi pertanian. Sebagai contoh adalah Kincir Air yang terpasang di Dusun Gedongan, Desa Bondowoso, Kecamatan Mertoyudan, Kabupaten Magelang. Kincir air ini

menggunakan turbin *cross flow* dengan beda tinggi nol (*zero head*). Pada saat ini Kincir Air tersebut digunakan oleh masyarakat untuk menaikkan air irigasi agar dapat mengalir petak sawah.

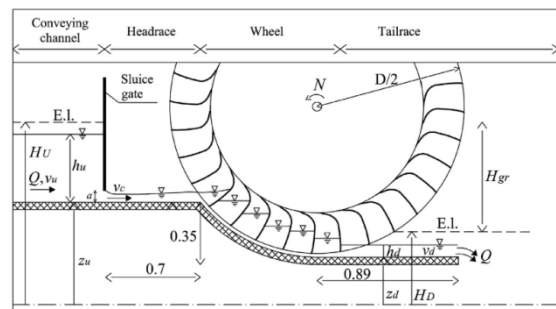
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui potensi energi listrik yang dihasilkan oleh kincir air di lokasi tersebut. Urgensi dari penelitian ini adalah penambahan nilai dan manfaat teknologi tepat guna sehingga memberikan penambahan nilai ekonomi. Nilai ekonomi didapatkan dari pembangkitan energi listrik yang dihasilkan oleh kincir air

**METODE PENELITIAN**

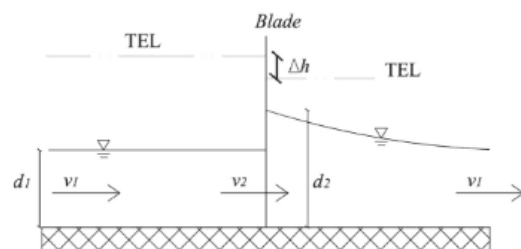
Energi listrik yang dihasilkan oleh Kincir air di sungai mempunyai besaran antara 1-100 kilo Watt (W) seperti pada Gambar 1 (Emanuele Quaranta & Müller, 2018). Walaupun tidak terlalu besar daya yang dihasilkan namun terdapat beberapa keuntungan yaitu biaya cukup efisien karena teknologinya sederhana, ramah lingkungan, ekonomis dan berkelanjutan(Prasad & Nguyen, 2019)(Emanuele Quaranta, 2018). Dalam menghitung bangkitan energi listrik tenaga air beda tinggi nol (*zero head hydropower*) terdapat beberapa variabel yang harus diperhatikan yaitu rotasi kincir, torsi kincir, kecepatan aliran dan debit aliran(Sule, Wardana, Soenoko, & Wahyudi, 2013)(Cho, 2018)(Fatra & Yasri, 2019). Pada Gambar 2 menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada kincir yaitu putaran ( $N$ ), jari-jari kincir ( $R$ ) dan tenaga yang hilang ( $L$ ) (E Quaranta & Revelli, 2016). Terdapat beberapa transfer energi pada kincir air yaitu transfer hidraulik-mekanik, mekanik-elektrik. Energi hidraulik didapat dari perilaku aliran yaitu kecepatan aliran dan debit aliran, kemudian energi mekanik didapat dari rotasi dan torsi dari kincir air. Transfer energi antara kecepatan aliran dan kecepatan rotasi kincir untuk aliran superkritik dapat dilihat pada Gambar 3 dimana  $v_1$  adalah kecepatan aliran,  $v_2 =$  kecepatan rotasi kincir,  $d_1 =$  kedalaman aliran di hulu dan  $d_2 =$  kedalaman aliran di hilir(Emanuele Quaranta, 2018). Pada Gambar 4 tergambar skema proses aliran Sungai sebagai pembangkit energi listrik dengan teknologi turbin *cross flow* beda tinggi nol (*zero head*) (Salleh et al., 2019).



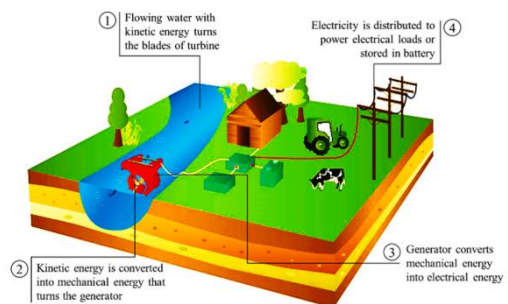
**Gambar 1.** Konverter PLTA pada berbagai jenis turbin (diadaptasi dari Williamson, dkk)



**Gambar 2.** Kincir air dengan gaya-gaya yang bekerja di dalamnya



**Gambar 3.** Perilaku hidraulik dari aliran terhadap kincir air



**Gambar 4.** Skema proses Pembangkitan listrik yang berasal dari Aliran Sungai

Secara teoritis terdapat formulasi untuk menghitung daya (*power*) yang masuk dan yang keluar, koefisien daya, rasio kecepatan ujung dan koefisien torsi dari kincir yaitu (Salleh et al., 2019) (Masud, Yusuke, & Suwa, 2019):

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

$$P_{out} = T \omega \text{ (Watt)} \quad (2)$$

Dengan

$$T = F \cdot L \text{ (Nm)}$$

$$F = \frac{\rho v (\sin \alpha)^2 A}{2} \text{ (N)}$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ (rad/s)}$$

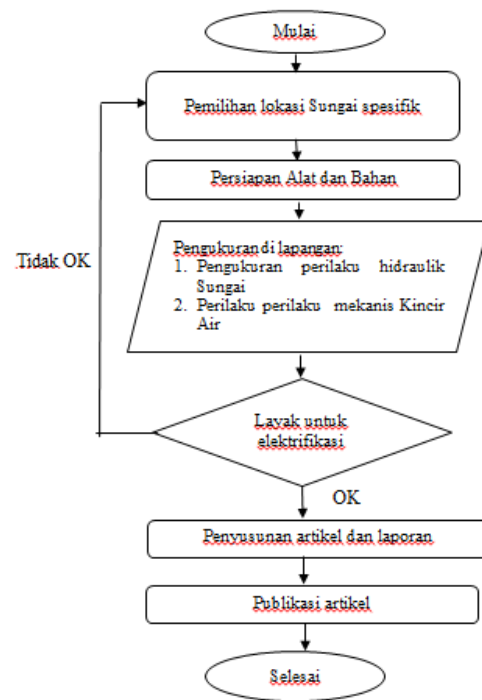
$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\omega D}{2v} \quad (4)$$

$$C_T = \frac{T}{\rho D^2 H v^2} \quad (5)$$

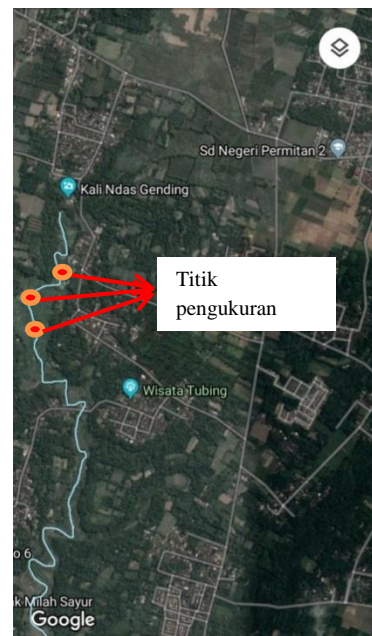
dimana  $P_{in}$  = daya yang masuk (Watt);  $P_{out}$  = daya listrik yang keluar;  $v$  = kecepatan permukaan aliran;  $D$  = diameter turbin;  $H$  = kedalaman turbin yang terendam;  $T$  = Torsi kincir;  $L$  = panjang sudu;  $\alpha$  = sudut sudu terhadap muka air;  $\omega$  = kecepatan rotasi kincir;  $n$  = jumlah putaran kincir;  $C_p$  = koefisien daya;  $\lambda$  = rasio kecepatan ujung; dan  $C_T$  = koefisien torsi.

Berikut ini adalah bagan alir dari penelitian yang terlampir pada Gambar 5. Pada bagan alir tersebut dua pengukuran di lapangan yaitu pengukuran parameter hidraulik Sungai dan parameter mekanis kincir air



Gambar 5. Bagan alir penelitian

Penelitian dilaksanakan di Dusun Gedongan, Desa Bondowoso, Kecamatan Mertoyudan, Kabupaten Magelang terlampir pada Gambar 6.

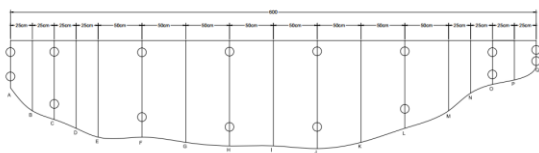


Gambar 6. Lokasi penelitian

Pada penelitian ini digunakan beberapa alat ukur dan bahan-bahan sebagai berikut;

- a. *Current meter*
- b. Rambu ukur
- c. *Stop watch*
- d. *Tacho meter*
- e. Camera digital
- f. Meteran
- g. Jembatan kayu
- h. Tali tambang

Berikut adalah rencana skema pengukuran titik kecepatan pada penggal sungai terpilih ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Skema titik pengukuran kecepatan tampak sungai

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi pengukuran potensi listrik berada Sungai Gending di Dusun Gedongan Desa Bondowoso Kabupaten Magelang di tiga titik yang berbeda yaitu di hulu, tengah dan hilir dengan pengukuran kedalaman Sungai tersaji pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Pengukuran kedalaman Sungai

Kemudian dari data pengukuran penampang sungai dapat dihitung luasan (A) di hulu, tengah dan hilir yang masing-masing tersaji pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.

**Tabel 1.** Luas penampang sungai di Hulu

No	Titik	Jarak antar titik (cm)	Kedalaman (cm)	Luas Segmen (cm <sup>2</sup> )
1	A	50	65	4375
2	B	50	110	5875
3	C	50	125	5875
4	D	50	110	5625
5	E	50	115	5750
6	F	50	115	5125
7	G	50	90	4250
8	H	50	80	
Jumlah				<b>36875</b>

**Tabel 2.** Luas penampang Sungai di Tengah

No	Titik	Jarak antar titik (cm)	Kedalaman (cm)	Luas Segmen (cm <sup>2</sup> )
1	A	50	60	3625
2	B	50	85	5125
3	C	50	120	6125
4	D	50	125	6300
5	E	50	127	6175
6	F	50	120	5500
7	G	50	100	4250
8	H	50	70	3000
9	I	50	50	1750
10	J	50	20	
Jumlah				<b>41850</b>



**Tabel 3.** Luas penampang Sungai di Hilir

No	Titik	Jarak antar titik (cm)	Kedalaman (cm)	Luas Segmen (cm <sup>2</sup> )
1	A	25	54	1675
2	B	25	80	2125
3	C	25	90	2375
4	D	25	100	2625
5	E	50	110	5500
6	F	50	110	5650
7	G	50	116	5900
8	H	50	120	6000
9	I	50	120	6075
10	J	50	123	5975
11	K	50	116	5650
12	L	50	110	5000
13	M	25	90	1875
14	N	25	60	1375
15	O	25	50	1187.5
16	P	25	45	937.5
17	Q	25	30	
Jumlah				<b>59925</b>

Berdasarkan Tabel 1 didapat luas penggal sungai di hulu sebesar 3,687 m<sup>2</sup> kemudian pada Tabel 2 didapat luas penggal sungai di tengah sebesar 4,185 m<sup>2</sup> dan di Tabel 3 didapat luas penggal sungai di hilir sebesar 5,992 m<sup>2</sup>.

Pengukuran berikutnya adalah pengukuran kecepatan aliran di Sungai yang secara fisik terlihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Pengukuran kecepatan aliran

Berdasarkan skema titik pengukuran kecepatan tersebut didapatkan data kecepatan titik yang kemudian dapat dihitung kecepatan rerata tampang/ penggal sungai di hulu, tengah dan hilir yang tersaji berurutan pada Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6.

**Tabel 4.** Pengukuran kecepatan di hulu

No.	Titik	V <sub>0,2</sub>	V <sub>0,8</sub>	Jumlah	Vr (m/s)
1	A	0	0	0.00	0.00
2	B	0.8	0.9	1.70	0.85
3	C	0.9	0.9	1.80	0.90
4	D	0.7	0.6	1.30	0.65
5	E	0.8	0.7	1.50	0.75
6	F	0.9	0.5	1.40	0.70
7	G	0.6	0.4	1.00	0.50
8	H	0	0	0.00	0.00
<b>Rata-rata</b>					<b>0.54</b>

**Tabel 5.** Pengukuran kecepatan di tengah

No.	Titik	$V_{0,2}$	$V_{0,8}$	Jumlah	$V_r$ (m/s)
1	A	0	0	0	0
2	C	0.8	0.6	1.4	0.7
3	E	0.9	0.6	1.5	0.75
4	G	0.7	0.6	1.3	0.65
5	I	0.5	0.6	1.1	0.55
6	J	0	0	0	0
<b>Rata-rata</b>					<b>0.44</b>

**Tabel 6.** Pengukuran kecepatan di hilir

No.	Titik	$V_{0,2}$	$V_{0,8}$	Jumlah	$V_r$ (m/s)
1	A	0	0	0	0
2	C	0.6	0.5	1.1	0.55
3	F	0.9	0.6	1.5	0.75
4	H	0.8	0.5	1.3	0.65
5	J	0.8	0.6	1.4	0.7
6	L	0.6	0.4	1	0.5
7	O	0.4	0.2	0.6	0.3
8	Q	0	0	0	0
<b>Rata-rata</b>					<b>0.43</b>

Berdasarkan Tabel 4 didapat kecepatan rerata penggal sungai di hulu sebesar 0,54 m/s kemudian pada Tabel 5 didapat kecepatan rerata penggal sungai di tengah sebesar 0,44 m/s dan di Tabel 6 didapat kecepatan rerata penggal sungai di hilir sebesar 0,43 m/s.

Berikutnya adalah dimensi dari kincir air tradisional di lokasi tersebut yang tersaji pada Tabel 7 dan Gambar 10.

**Tabel 7.** Dimensi kincir air tradisional

No	Keterangan	Ukuran
1	Diameter dalam kincir air	170 cm
2	Diameter luar kincir air	250 cm
3	Jari-jari kincir air	125 cm
4	Lebar kincir	60 cm
5	Jumlah sudu kincir air yang aktif	12 buah
6	Ukuran sudu kincir air (P * L)	40 cm x 75 cm
7	Ukuran sudu kincir air yang masuk dalam air	40 cm
8	Ukuran penimba	Tinggi 50cm , Ø 7cm
9	Sudut kemiringan penimba	20°

**Gambar 10.** Kincir air tradisional

Setelah data-data luas tampang dan kecepatan aliran terukur selanjutnya dapat dihitung secara teoritis daya (*power*) yang masuk dengan formulasi teoritis sebagai berikut:

Lokasi di hulu

$$P_{in} = \frac{1}{2} 1000. (2,5.0,4). 0,53^3 = 80,384 \text{ Watt}$$

Lokasi di tengah

$$P_{in} = \frac{1}{2} 1000. (2,5.0,4). 0,44^3 = 43,08 \text{ Watt}$$

Lokasi di hilir

$$P_{in} = \frac{1}{2} 1000. (2,5.0,4). 0,43^3 = 40,10 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan teoritis potensi listrik dari aliran di tiga lokasi yaitu di hulu, tengah dan hilir mempunyai besaran daya yang berbeda-beda secara berurutan yaitu 80,384 watt, 43,08 watt dan 40,10 watt.

Kemudian dari potensi listrik aliran ini oleh kincir air akan dikonversi menjadi daya listrik yang bisa digunakan secara teoritis sebagai berikut

Perhitungan F

Lokasi di hulu

$$F = \frac{\rho v (\sin \alpha)^2 A}{2} = \frac{1000.0,54. (\sin 20)^2}{2} = 31,803 \text{ N}$$

Lokasi di tengah

$$F = \frac{\rho v (\sin \alpha)^2 A}{2} = \frac{1000.0,44. (\sin 20)^2}{2} = 25,833 \text{ N}$$

Lokasi di hilir

$$F = \frac{\rho v (\sin \alpha)^2 A}{2} = \frac{1000.0,43. (\sin 20)^2}{2} = 25,223 \text{ N}$$

Perhitungan T

Lokasi di hulu

$$T = F.L = 31,803.0,75 = 23,853 \text{ N.m}$$

Lokasi di tengah

$$T = F.L = 25,833.0,75 = 19,374 \text{ N.m}$$

Lokasi di hilir

$$T = F.L = 25,223.0,75 = 18,917 \text{ N.m}$$

Perhitungan  $\omega$

Lokasi di hulu

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2.3,1415.3}{60} = 0,314$$

Lokasi di tengah

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2.3,1415.2,5}{60} = 0,261$$

Lokasi di hilir

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2.3,141.2}{60} = 0,209$$

Perhitungan Daya Keluar  $P_{out}$

Lokasi di hulu

$$P_{out} = T\omega = 23,853.0,341 = 7,5 \text{ Watt}$$

Lokasi di tengah

$$P_{out} = T\omega = 19,374.0,262 = 5 \text{ Watt}$$

Lokasi di hilir

$$P_{out} = T\omega = 18,917.0,209 = 4 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan potensi listrik yang dihasilkan dari kincir air tradisional bahwa daya terbesar dihasilkan di hulu sungai sebesar 7,5 Watt dalam satu putaran per menit. Yang berarti bahwa potensi listrik kincir air merupakan fungsi dari putaran jika putaran kincir cepat maka daya yang dihasilkan juga semakin besar.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan potensi listrik dari teknologi tepat guna kincir air tradisional terbesar berada di hulu sebesar 80 Watt sedangkan energi listrik yang dihasilkan sebesar 7,5 Watt. Dari sini dapat disimpulkan bahwa efisiensi antara potensi listrik dan energi listrik yang dihasilkan mempunyai gap yang besar sehingga belum optimal untuk pembangkitan energi baru terbarukan dari teknologi ini.



## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset Nasional (BRIN) dan Lembaga Penelitian Pengabdian Masyarakat (LPPM-PMP) Universitas Tidar yang telah mendanai penelitian ini pada tahun 2020 dengan nomor kontrak 181/UN57.L/PG/2020.

## DAFTAR PUSTAKA

- Azhari, B., Prawinnetou, W., & Hutama, D. A. (2017). Design of a Quasi-Flat Linear Permanent Magnet Generator for Pico-Scale Wave Energy Converter in South Coast of Yogyakarta, Indonesia. In *Renewable Energy Technology and Innovation for Sustainable Development AIP Conf. Proc. 1826, 020024-1–020024-12*; (Vol. 1826, hal. 1–12). <https://doi.org/10.1063/1.4979240>
- Carlo, J., Zambrano, I., Michavila, J., Pinilla, E. A., Diehl, J. C., & Ertsen, M. W. (2019). Water Lifting Water: A Comprehensive Spatiotemporal Review on the Hydro-Powered Water Pumping Technologies. *Water, 11*(1677), 1–33.
- Cho, J. (2018). Optimization of the Water Volume in the Buckets of Pico Hydro Overshot Waterwheel by Analytical Method. In *QIR. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 316* (Vol. 316, hal. 1–9). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/316/1/012056>
- Diniardi, E., Ramadhan, A. I., Fithriyah, N. H., & Dermawan, E. (2018). Analisis Daya Piezoelektrik Model Hybrid Solar Cell. *Jurnal Teknologi, 10*(2), 139–146.
- Du, J., Shen, Z., & Yang, H. (2020). Study on the effects of runner geometries on the performance of inline cross-flow turbine used in water pipelines. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 40*(December 2019), 100762. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100762>
- Fatra, W., & Yasri, I. (2019). The Performance of Undershot Water Wheel On Irrigation with Four Steps Mechanical Transmission and A Flywheel. *International Journal of Engineering and Technology (IJET) The, 10*(6), 1744–1750. <https://doi.org/10.21817/ijet/2018/v10i6/181006045>
- Ibrahim, G. A., Haron, C. H. C., & Azhari, C. H. (2010). Sustainable Rural Energy: Traditional Water Wheels in Padang (PWW) Indonesia Sustainable rural energy: traditional water wheels in Padang (PWW), Indonesia. *Int. J. Renewable Energy Technology, 2*(1), 23–31. <https://doi.org/10.1063/1.3464893>
- Indonesia, K. E. R. (2018). *Handbook of energy & economic statistics of indonesia*.
- Jamlay, K., Sule, L., & Hasan, D. (2016). Perancangan Roda Air Arus Bawah Sudu Bangkok Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Picohydro di Desa Tamangil Design of Undershot Waterwheel Curved Blades as Picohydro Power Plant Generation in Tamangil Village. *Jurnal Teknik Mesin Institut Teknologi Padang, 6*(1), 32–37.
- Masud, I. A., Yusuke, S., & Suwa, Y. (2019). Performance prediction of zero head turbine at different water levels. In *2019 3rd International Conference on Energy and Environmental Science, IOP Publishing* (hal. 1–6). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/291/1/012048>
- Muchtar, M. (2016). Model of Ocean Wave Energy Converter Based on Water Mass Gravity Force as a Renewable Energy Source. *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), 3*(10), 28–34.
- Prasad, N., & Nguyen, P. H. (2019). An Overview Introduction to Low-Head Hydropower in Vietnam: Visions towards a Greener Vietnam 2030 and Beyond. In *2019 International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEE), IEEE Publishing* (hal. 205–210). IEEE.
- Quaranta, E., & Revelli, R. (2016). Optimization of breastshot water wheels performance using different in flow configurations. *Renewable Energy, 97*, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05>

- 078
- Quaranta, Emanuele. (2018). Energy for Sustainable Development Stream water wheels as renewable energy supply in flowing water : Theoretical considerations , performance assessment and design recommendations. *Energy for Sustainable Development*, 45, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2018.05.002>
- Quaranta, Emanuele. (2020). Estimation of the permanent weight load of water wheels for civil engineering and hydropower applications and dataset collection. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 40(January), 100776. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100776>
- Quaranta, Emanuele, & Müller, G. (2018). Sagebien and Zuppinger water wheels for very low head hydropower applications. *Journal of Hydraulic Research*, 1686(22), 1–11. <https://doi.org/10.1080/00221686.2017.1397556>
- Quaranta, Emanuele, & Revelli, R. (2018). Gravity water wheels as a micro hydropower energy source : A review based on historic data , design methods , efficiencies and modern optimizations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97(August), 414–427. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.033>
- Quaranta, Emanuele, & Revelli, R. (2020). Performance Optimization of Overshot Water Wheels at High Rotational Speeds for Hydropower Applications. *J Hydraul Eng*, 146(9), 1–5. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0001793](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001793)
- Renewable, I., & Agency, E. (2019). *RENEWABLE CAPACITY STATISTICS 2019 STATISTIQUES DE CAPACITÉ RENOUEVELABLE 2019 ESTADÍSTICAS DE CAPACIDAD*.
- Salleh, M. B., Kamaruddin, N. M., & Mohamed-kassim, Z. (2019). Savonius hydrokinetic turbines for a sustainable river-based energy extraction : A review of the technology and potential applications in Malaysia. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 36(July), 100554. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.100554>
- Shahabudin, N., Ibrahim, T., Akmal, N., & Zamri, M. (2017). Portable Pico Linear Generator Design with Different Magnet Shapes for Wave Energy Conversion System. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)* Vol., 8(1), 360–366. <https://doi.org/10.11591/ijped.v8i1.pp360-366>
- Sule, L., & Soenoko, R. (2014). Angled and Curved Blades of Deep-Water Wheel Efficiency. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 8(April), 186–192.
- Sule, L., Wardana, I. N. G., Soenoko, R., & Wahyudi, S. (2013). Performance of a Straight-Bladed Water-Current Turbine. *Advances in Natural and Applied Sciences*, 7(5), 455–461.
- Torra, M. (2019). *Sustainable Decentralised Renewable Energy through the RESCO Model in Indonesia*.