

# Sistem Instalasi Pembangkit Piko hidro Untuk Keluaran Listrik Arus Searah 12 Volt

Andrik Sunyoto<sup>\*a)</sup>, Priya Surya Harijanto<sup>b)</sup>, Bakti Indra K.<sup>b)</sup>

(Artikel diterima: Agustus 2022, direvisi: Oktober 2022)

**Abstrak** : This research is focused to help peoples in remote areas who do not have electricity supply from PLN, but have sources of water flow in rivers. The main objective of this research is to create a picohydro hydroelectric power plant with a floating turbine to utilize the kinetic energy of river water flow in areas that have not been supplied with PLN electricity. The flow of water in the river will rotate the turbine, which in the end the rotational power is channeled through a pulley and belt system, which eventually turns an alternator. The alternator used is a three-phase AC alternator. Then the AC current will be rectified by the bridge rectifier to then be used to charge the battery and go to the load. In addition, in this study, the ability of the pico-hydro system to supply electrical energy will be tested to be able to run 12 V DC electrical loads and charge 12 V batteries.

**Kata kunci:** *picohydro, alternator, rectifier, battery*

## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Salah satu kebutuhan yang sudah dianggap menjadi kebutuhan pokok masyarakat di dunia adalah energi listrik. Di Indonesia masih banyak perkampungan yang belum dialiri listrik terutama di daerah terpencil. Persoalan seputar listrik ini terjadi karena beberapa hal, antara lain sulitnya akses untuk mencapai perkampungan tersebut dan biaya untuk instalasi listrik menjadi sangat tinggi. [1]

Meningkatnya sumber daya manusia dan potensi pembangkit listrik di daerah terpencil terutama potensi air yang begitu melimpah membuka peluang terhadap pengembangan pembangkit listrik skala kecil, terutama yang memiliki kapasitas di bawah 5 kW. Pembangkit listrik tenaga air yang memiliki kemampuan di bawah 5 kW disebut dengan pikohidro. Sistem pembangkitan ini telah terbukti sangat berguna diterapkan pada tempat terpencil yang memiliki komunitas relatif kecil dan membutuhkan sedikit listrik. Bahkan, di banyak tempat-tempat terpencil, sebuah turbin air pembangkit listrik berkapasitas 200 W hingga 300 W bisa memasok tenaga listrik pada satu rumah dengan sumber ketinggian air hanya satu meter. Konfigurasi pada pembangkit pikohidro kebanyakan menggunakan sistem *run-of-stream*, yaitu tidak memerlukan *reservoir* (bendungan) air, cukup dengan menggunakan instalasi pipa kecil yang dipasang sekitar satu meter di atas turbin pembangkit. Aliran air dialihkan menuju pipa tersebut, setelah melalui turbin pembangkit, air dialirkan kembali ke dalam aliran utama. [2]

Pembangkit pikohidro memiliki kelebihan yaitu mudah untuk dibuat sendiri, memanfaatkan sumber daya alam terbarukan karena menggunakan aliran air yang ada di lingkungan sebagai pembangkit energi listrik, dan sederhana. Dari sumber alternator sampai ke beban memiliki struktur yang tidak rumit, sehingga masyarakat awam mampu dengan mudah memahaminya. Pembangkit pikohidro diharapkan bisa menjadi alternatif untuk menyalurkan listrik ke daerah-daerah yang belum tersalur listrik oleh PLN.

Pada penelitian ini, akan dilakukan perancangan dan pembangunan pembangkit listrik tenaga air menggunakan pikohidro dengan turbin apung berdaya 120 W dengan sistem keluaran berupa arus searah 12 V, serta melakukan analisis mendalam pada bagian instalasinya, mulai dari alternator hingga beban.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas yang telah ditulis sebelumnya maka pada penelitian ini memiliki beberapa permasalahan yang akan diteliti:

1. Bagaimana merancang dan membuat pembangkit listrik tenaga pikohidro turbin apung dengan sistem tegangan DC 12 V dan daya 120 W.
2. Bagaimana instalasi kelistrikan pada pembangkit listrik tenaga pikohidro mulai dari alternator hingga beban.
3. Berapa kapasitas pembangkitan rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga pikohidro turbin apung dengan sistem tegangan DC 12 V dan daya 120 W.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membangun sistem instalasi kelistrikan pada pembangkit listrik tenaga pikohidro turbin apung dengan sistem tegangan DC 12 V dan daya 120 W mulai dari alternator hingga beban.
2. Mengetahui unjuk kerja pembangkit listrik tenaga pikohidro turbin apung dengan sistem tegangan DC 12 V dan daya 120 W.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Sebelumnya

Pada salah satu penelitian terdahulu, berdasarkan sebuah artikel dalam jurnal yang dipublikasikan oleh Syahputra, dkk., pada tahun 2017 yang berjudul "Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro dengan Menggunakan Turbin Ulir", telah dilakukan pengujian turbin ulir dengan empat variasi debit air dan tiga variasi kemiringan. Dari hasil pengujian

\* Korespondensi: [andriksunyoto@upm.ac.id](mailto:andriksunyoto@upm.ac.id)

a) Teknik Elektro, Universitas Panca Marga Probolinggo, Jln. Yos Sudarso, No. 107, Pabean, Dringu Probolinggo, Jawa Timur, Indonesia Kode Pos. 67271.

b) Jurusan Teknik Elektro, Polinema.

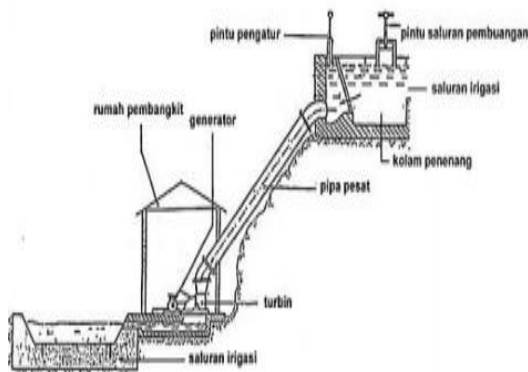
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

tersebut didapatkan nilai paling maksimal terhadap kinerja turbin yaitu pada debit  $0,0433 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  dan kemiringan turbin pada  $30^\circ$ , dengan kecepatan putar murni turbin sebesar 91 rpm. Pada sistem rancangan yang telah dibuat tersebut, kecepatan putar turbin ditingkatkan menggunakan *pulley* dengan rasio 5:1, sehingga didapatkan kecepatan putar generator DC sebesar 245 rpm. Tegangan keluaran dari generator DC tersebut sebesar 45 V, dengan hasil perhitungan daya adalah 66,4 W, sehingga efisiensi dari turbin ini adalah sebesar 21,4%. [3]

Berdasarkan sebuah laporan penelitian oleh Pasaribu tahun 2020 dengan judul "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Terapung Menggunakan Turbin *Crossflow*", telah dibangun sebuah pembangkit listrik tenaga pikohidro terapung yang dirancang menggunakan turbin yang bersudu 18 buah, dengan lebar sudu  $40 \times 20 \text{ cm}$ . Dalam penelitian tersebut, didapatkan bahwa daya alternator yang dirancang sangat dipengaruhi oleh intensitas debit air, yang mana mencapai titik maksimum ketika debit air sebesar  $0,232 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  dengan tegangan keluaran sebesar 6,61 V dan arus sebesar 1,43 A, atau setara dengan daya 9,45 W. Lama pengisian baterai yang digunakan pada titik maksimum tersebut (dari kosong menuju terisi penuh) adalah 6,7 h, dengan spesifikasi baterai 12 V 4,5 Ah. Tegangan operasional untuk pengisian baterai rata-rata adalah 14 V, dan sebuah *buck-boost converter* dipakai untuk mengatur (menaikkan) tegangan dari alternator menuju baterai. [4]

## 2.2. Pembangkit Pikohidro

Pembangkit pikohidro adalah instalasi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air, yang mempunyai daya hingga 5 kW. Secara teknis, pembangkit pikohidro mempunyai tiga komponen utama yaitu kinetik air sebagai sumber energi, turbin, dan generator. Aliran air akan menggerakkan poros turbin yang akan menghasilkan energi mekanik dan akan diubah menjadi energi listrik oleh generator. Daya listrik yang dihasilkan oleh generator sebuah pembangkit pikohidro berkisar antara 100 W hingga 5 kW.



Gambar 1. Prinsip pembangkit listrik pikohidro.

Pada saluran irigasi yang terlihat pada Gambar 1 terdapat penyaringan sampah untuk menyaring kotoran yang mengambang di atas air, kolam pengendap untuk mengendapkan kotoran, dan saluran pembuangan untuk

membuang kelebihan air yang mengalir melalui saluran akibat banjir melalui pintu saluran pembuangan. Akhir dari saluran ini adalah sebuah kolam penenang (*forebay tank*) yang berfungsi untuk mengendapkan dan menyaring kembali air agar kotoran tidak masuk dan merusak turbin. Selain itu kolam penenang ini berfungsi juga untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke dalam pipa pesat. Pipa pesat (*penstock*) ini akan mengalirkan air ke rumah pembangkit (*power house*) yang terdapat turbin dan generator di dalamnya. Berputarnya turbin kemudian akan mengakibatkan generator juga berputar sehingga generator dapat menghasilkan listrik sebagai keluarannya.

$$P_{in} = \rho \cdot Q \cdot h \cdot g \quad (1)$$

Besarnya daya listrik sebelum masuk ke turbin secara matematis dapat dituliskan pada Persamaan (1).

## 2.3. Sistem Pulley dan Belt

Sistem *pulley* dan *belt* adalah sebuah transmisi yang menyalurkan gerakan putar dari satu poros menuju poros lainnya. Sebuah *pulley* adalah roda atau poros yang dirancang untuk mendukung gerakan dan perubahan arah *belt* yang kencang, atau transfer daya antara poros dan *belt*. Sedangkan sebuah *belt* adalah semacam sabuk dari bahan elastis yang digunakan sebagai penghhubung antar *pulley* tersebut. Sebuah *pulley* bisa memiliki alur di sekitar kelilingnya untuk menahan *belt* agar tidak terlepas.



Gambar 2. Sistem pulley dan belt.

Dengan diameter antar *pulley* yang dihubungkan *belt* dibuat berbeda, maka kecepatan putar antar *pulley* bisa dilipatgandakan ataupun dikurangi.

$$\omega_B = \frac{D_A \cdot \omega_A}{D_B} \quad (2)$$

Persamaan (2) menyatakan tentang hubungan antara kecepatan dan diameter kedua *pulley* yang disambungkan oleh sebuah *belt*. Untuk mendapatkan rasio kecepatan yang lebih tinggi, maka sistem *pulley* dan *belt* bisa dibuat majemuk. Penggunaan sistem *pulley* dan *belt* memiliki kelebihan dibandingkan dengan sistem roda gigi, yaitu dapat memiliki jarak antar poros yang lebih panjang dibandingkan jumlahan jari-jari antar gigi.

## III. METODE PENELITIAN

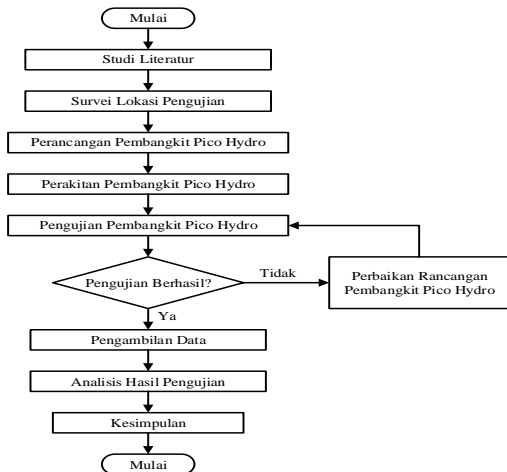
### 3.1. Langkah Penelitian

Sesuai dengan Gambar 3, proses penelitian ini dimulai pada tahap studi literatur. Tahap berikutnya adalah melakukan survei lokasi penelitian dengan menilai potensi suatu sungai untuk digunakan sebagai tempat untuk pembangkit listrik tenaga pikohidro terapung. Kemudian tahap perancangan dilakukan untuk

merancang pembangkit listrik tenaga pikohidro, baik dari segi fisik, kerangka, maupun kelistrikkannya. Setelah tahap perancangan selesai, dilakukan proses perakitan, mulai dari pembuatan rangka, pemasangan komponen, hingga instalasi sistem kelistrikkannya.

Setelah tahap tersebut dilalui, tahap berikutnya adalah melakukan pengujian pada pembangkit pikohidro yang telah dibuat. Jika pengujian gagal, dengan lampu LED tidak berhasil menyala, maka dilakukan tahap perbaikan rancangan, dan kemudian langkah pengujian diulang kembali. Jika pengujian berhasil hingga menyalakan lampu LED sebagai beban, maka proses diteruskan pada tahap pengambilan data. Setelah data terkumpul, dilakukan analisis pada hasil pengujian tersebut, untuk kemudian ditarik kesimpulan yang berkenaan dengan rumusan masalah pada penelitian ini.

Proses perancangan hingga perakitan alat dilakukan di laboratorium. Sedangkan proses pengujian di lapangan dilaksanakan di Sungai Amprong, Desa Cemorokandang, Kecamatan Kedungkandang, Kota Malang. Tanggal pengujian dimulai pada 30 Juli 2021, yang dilakukan selama dua hari.

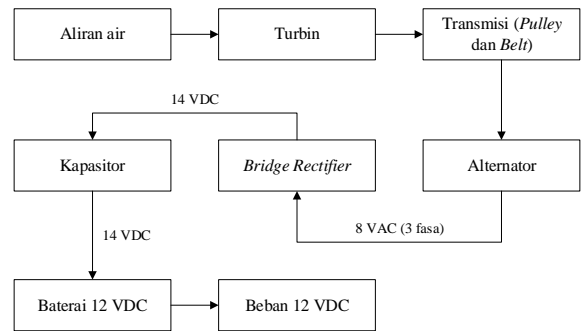


Gambar 3. Langkah-langkah penelitian.

### 3.2. Rancangan Umum

Perangkat purwarupa yang direncanakan adalah pembangkit listrik tenaga pikohidro dengan turbin apung dengan keluaran DC 12 V dan daya 120 W. Dalam operasionalnya, alat yang akan dirancang tersebut menggunakan tenaga aliran air dari sebuah sungai kecil sebagai sumber energinya. Fungsi alat tersebut adalah untuk membangkitkan listrik DC 12 V skala kecil dengan mendayagunakan aliran air dari sungai yang memiliki debit kecil

Secara umum, blok diagram sistem pembangkit pikohidro dengan turbin apung ditunjukkan pada Gambar 4. Turbin yang ada pada pembangkit ini akan berputar karena aliran air, di mana turbin ini terhubung dengan sistem transmisi berupa *pulley* dan *belt* guna meningkatkan kecepatan putaran, hingga dapat memutar alternator dengan kecepatan operasionalnya.



Gambar 4. Blok diagram sistem pembangkit listrik pikohidro turbin apung.

### 3.3. Rancangan Elektrikal Pembangkit

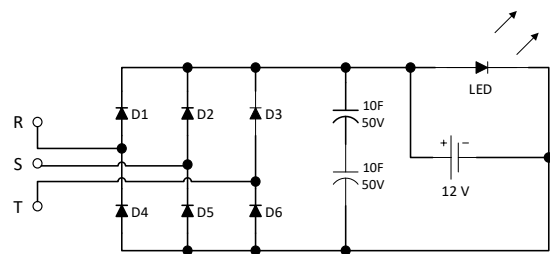
Alternator yang berputar akan menghasilkan arus listrik AC tiga fasa dengan tegangan operasional 8 VAC antar fasa. Pada titik tersebut, ketiga fasa keluaran dari alternator disearahkan menjadi arus DC melalui rangkaian *bridge rectifier*, dan dihaluskan menggunakan kapasitor. Keluaran dari kapasitor sudah berbentuk listrik DC dengan tegangan operasional 14 VDC untuk dipakai melakukan pengisian baterai.

Baterai yang digunakan memiliki tegangan nominal 12 V, sehingga aman jika diisi dengan daya bertegangan hingga sekitar 15 VDC. Dari baterai terdapat saklar yang berguna untuk memutuskan arus ke beban jika tidak digunakan. Beban yang digunakan memiliki tegangan operasional 12 VDC.

Lama pengisian baterai bergantung pada tegangan pengisiannya. Semakin tinggi tegangan pengisian, maka pengisian baterai akan semakin singkat. Ketika aliran air tidak ada atau terlalu kecil, energi yang tersimpan dalam baterai masih bisa digunakan sebagai pasokan daya pada beban.

### 3.4. Rancangan Elektrikal dari Rectifier

Karena alternator yang digunakan adalah AC tiga fasa, sementara baterai menggunakan arus DC, maka diperlukan penyearah arus. Rangkaian untuk menyearahkan arus ini disebut *rectifier*. Fungsi rangkaian tersebut adalah untuk membuat arus AC menjadi DC dan menghaluskan riak tegangannya, sehingga bisa disalurkan dengan aman pada baterai.



Gambar 5. Rangkaian penyearah arus hingga baterai dan beban.

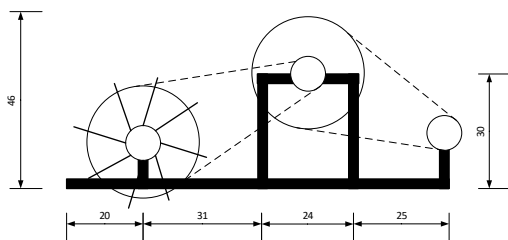
Gambar 5 menunjukkan rangkaian yang digunakan dalam pembuatan pembangkit pikohidro ini. Secara teoritis, tegangan AC rms dari alternator antar fasa R-S, S-T, dan T-R masing-masing adalah sebesar 8 V. Karena setiap fasa memiliki selisih  $120^\circ$ , maka tegangan teoritis setelah keluar dari *rectifier* memiliki nilai puncak 14 V.

Setelah dihaluskan menggunakan kapasitor, tegangan keluaran untuk mengisi baterai adalah 14 VDC.

Menurut *datasheet* dari alternator, tegangan 8 VAC rms akan didapatkan antar fasa jika kecepatan putar sekitar 400 rpm. Oleh karena itu, berdasarkan rasio kecepatan turbin dengan alternator sebesar 1:14,0625, maka kecepatan putar turbin ideal adalah sekitar 28 rpm, atau sekitar  $0,47 \text{ s}^{-1}$ . Hal ini sesuai dengan konsep pikohidro yang hanya membutuhkan arus aliran air pada sungai kecil.

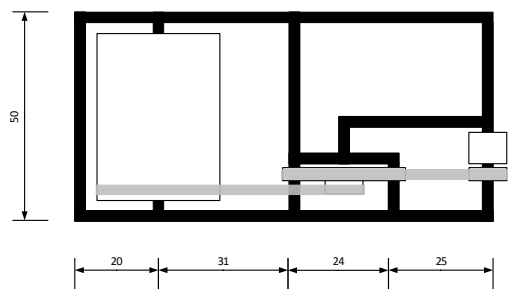
### 3.5. Rancangan Fisik

Secara fisik, pembangkit pikohidro yang dirancang akan memiliki panjang 100 cm dan lebar 50 cm. Pada bagian depan yang terekspos aliran air secara langsung, terdapat turbin dengan delapan bilah sudu yang masing-masing memiliki lebar 20 cm dan panjang 40 cm.



Gambar 6. Tampak samping rancangan pembangkit pikohidro yang dibuat.

Sistem transmisi menggunakan *pulley* dan *belt*, di mana pada bagian turbin terdapat *pulley* dengan diameter 30 cm. Pada bagian tengah terdapat *pulley* dengan diameter luar 30 cm dan dalam 8 cm. Antara *pulley* turbin dengan *pulley* tengah diameter dalam dihubungkan dengan sebuah *belt*. Sedangkan bagian belakang terdapat *pulley* diameter 8 cm yang langsung terhubung as dengan alternator, di mana *pulley* ini dihubungkan dengan *pulley* tengah luar menggunakan *belt*.



Gambar 7. Tampak atas rancangan pembangkit pikohidro yang dibuat.

Pada Gambar 6 ditunjukkan tampak samping rancangan pembangkit pikohidro yang akan dibuat, sementara bagian atasnya tampak seperti ditunjukkan oleh Gambar 7. Berdasarkan Persamaan (2), maka rasio kecepatan putar antara turbin dengan pulley tengah adalah 1:3,75, sementara rasio kecepatan putar antara pulley tengah dengan alternator juga sebesar 1:3,75. Dengan demikian, rasio kecepatan putar antara turbin dengan alternator adalah 1:14,0625.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

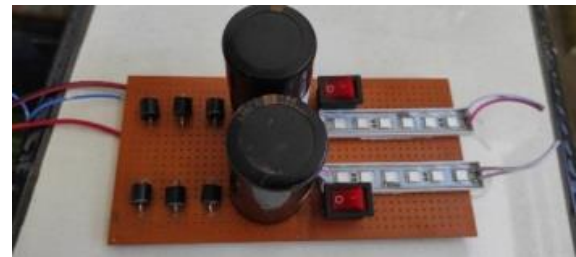
### 4.1. Hasil Pengembangan Perangkat

Setelah semua selesai dirakit, maka pembangkit pikohidro dengan turbin apung ini secara keseluruhan akan tampak seperti pada Gambar 8.

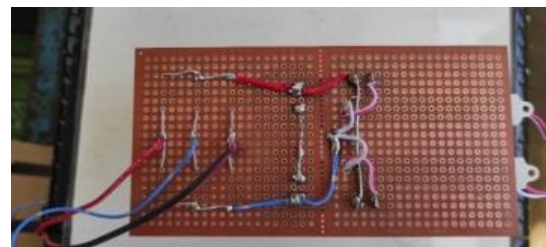


Gambar 8. Pembangkit pikohidro yang telah selesai dibuat.

Secara rinci untuk rangkaian *rectifier* bagian atas ditunjukkan pada Gambar 9. Pada Gambar 10 ditunjukkan rangkaian *rectifier* pada bagian bawah.



Gambar 9. Rangkaian *rectifier* dilihat dari bagian atas.



Gambar 10. Rangkaian *rectifier* dilihat dari bagian bawah.

### 4.2. Strategi dan Metode Pengujian

Proses pengujian yang dilakukan adalah dengan mengukur parameter yang berkaitan dengan konversi energi dari aliran air yang ada hingga menuju sistem kelistrikan pembangkit pikohidro ini. Hal ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja, kapasitas pembangkitan, dan efisiensi dari pembangkit pikohidro turbin terapung yang telah dibangun sebelumnya, sesuai dengan rumusan permasalahan.

Beberapa langkah pengujian yang akan dilakukan antara lain:

1. Pengukuran kecepatan aliran air pada sungai tempat uji.
2. Pengapungan pembangkit pikohidro pada sungai tempat uji.
3. Pengukuran kecepatan putaran turbin dan alternator ketika pembangkit pikohidro dalam posisi terapung di sungai.



4. Pengukuran tegangan, arus listrik, dan daya pada beberapa titik penting pada rangkaian rectifier ketika pembangkit pikohidro beroperasi di permukaan sungai tempat uji.
5. Pengujian lama pengisian baterai pada saat pembangkit pikohidro beroperasi di permukaan sungai tempat uji.
6. Pengujian lama pemakaian baterai pada saat pembangkit pikohidro tidak membangkitkan listrik (ketika di luar sungai atau tidak ada aliran air).

Pengujian ini dilakukan di lokasi Sungai Amprong, Desa Cemorokandang, Kecamatan Kedungkandang, Kota Malang, pada tanggal 30 Juli 2021 dan 31 Juli 2021.

#### 4.3. Pengujian Kecepatan Aliran Air

Langkah pertama pengujian adalah mengetahui kecepatan aliran air pada Sungai Amprong. Berbeda dengan PLTA skala besar, pada pembangkit pikohidro debit air sungai secara keseluruhan tidak berkontribusi kepada kecepatan turbin, karena hanya memakai sebagian dari seluruh lebar sungai. Dalam kasus ini, kecepatan aliran air sungai akan menjadi faktor utama dari kecepatan putaran turbin.

Pengukuran kecepatan aliran air sungai ini dilakukan pada waktu-waktu tertentu bersamaan dengan pengujian lainnya. Pada setiap harinya, diambil data pengukuran kecepatan aliran air setiap 30 menit, mulai dari pukul 08.00 WIB hingga 16.00 WIB. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat bantu benda apung, meteran, dan stopwatch. Sebelumnya dibuat dua titik pada tepi sungai berjarak 3 m sebagai referensi. Kemudian pada setiap pengukuran, alat bantu benda apung dimasukkan sungai sebelum titik pertama. Waktu tempuh dari titik pertama menuju titik kedua diukur dengan *stopwatch*. Dengan melakukan pembagian jarak kedua titik terhadap waktu yang ditunjukkan di *stopwatch*, maka akan didapatkan kecepatan aliran air sungai tersebut.

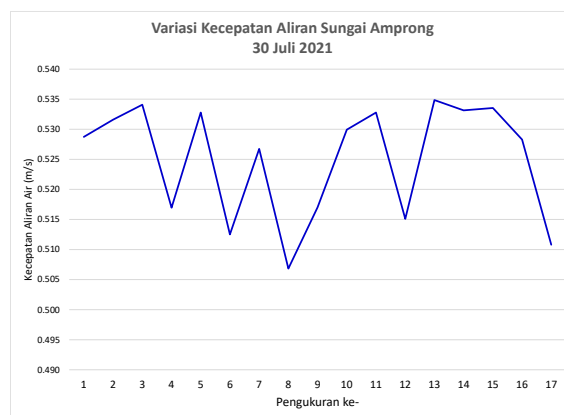
**Tabel I.** Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran Air Sungai Amprong

No.	Tanggal	Waktu	Sela Waktu Ukur (s)	Kecepatan ( $m \cdot s^{-1}$ )
1	30 Juli 2021	08.00	5.67	0.529
2	30 Juli 2021	08.30	5.64	0.532
3	30 Juli 2021	09.00	5.62	0.534
4	30 Juli 2021	09.30	5.80	0.517
5	30 Juli 2021	10.00	5.63	0.533
6	30 Juli 2021	10.30	5.85	0.513
7	30 Juli 2021	11.00	5.70	0.527
8	30 Juli 2021	11.30	5.92	0.507
9	30 Juli 2021	12.00	5.80	0.517
10	30 Juli 2021	12.30	5.66	0.530
11	30 Juli 2021	13.00	5.63	0.533
12	30 Juli 2021	13.30	5.82	0.515
13	30 Juli 2021	14.00	5.61	0.535
14	30 Juli 2021	14.30	5.63	0.533
15	30 Juli 2021	15.00	5.62	0.534
16	30 Juli 2021	15.30	5.68	0.528
17	30 Juli 2021	16.00	5.87	0.511
18	31 Juli 2021	08.00	5.93	0.506
19	31 Juli 2021	08.30	5.92	0.507

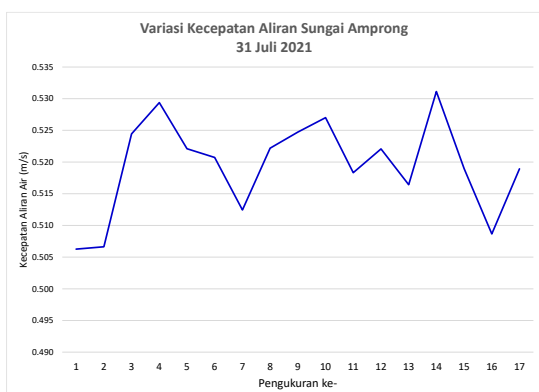
No.	Tanggal	Waktu	Sela Waktu Ukur (s)	Kecepatan ( $m \cdot s^{-1}$ )
20	31 Juli 2021	09.00	5.72	0.524
21	31 Juli 2021	09.30	5.67	0.529
22	31 Juli 2021	10.00	5.75	0.522
23	31 Juli 2021	10.30	5.76	0.521
24	31 Juli 2021	11.00	5.85	0.512
25	31 Juli 2021	11.30	5.75	0.522
26	31 Juli 2021	12.00	5.72	0.525
27	31 Juli 2021	12.30	5.69	0.527
28	31 Juli 2021	13.00	5.79	0.518
29	31 Juli 2021	13.30	5.75	0.522
30	31 Juli 2021	14.00	5.81	0.516
31	31 Juli 2021	14.30	5.65	0.531
32	31 Juli 2021	15.00	5.78	0.519
33	31 Juli 2021	15.30	5.90	0.509
34	31 Juli 2021	16.00	5.78	0.519
<b>Kecepatan rata-rata (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</b>				<b>0,522</b>
<b>Selisih Kecepatan (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</b>				<b>0,029</b>
<b>Simpangan baku Kecepatan (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</b>				<b>0,009</b>

Dari hasil pengukuran pada Tabel I, didapatkan bahwa kecepatan rata-rata dari aliran Sungai Amprong adalah  $0,522 m \cdot s^{-1}$ , dengan selisih antara terlambat dan tercepat cukup kecil, yaitu sebesar  $0,029 m \cdot s^{-1}$ , dan simpangan baku yang juga sangat kecil yaitu  $0,009 m \cdot s^{-1}$ . Hal ini menunjukkan bahwa aliran air di Sungai Amprong relatif konstan.

Grafik pada Gambar 11 dan Gambar 12 berturut-turut menunjukkan variasi kecepatan aliran air pada Sungai Amprong pada tanggal 30 Juli 2021 dan 31 Juli 2021, yang secara visual memperlihatkan bahwa variasi kecepatan aliran cukup kecil.



**Gambar 11.** Grafik variasi kecepatan aliran air Sungai Amprong pada tanggal 30 Juli 2021.



**Gambar 12.** Grafik variasi kecepatan aliran air Sungai Amprong pada tanggal 31 Juli 2021.

#### 4.4. Pengujian Pengapungan Pembangkit Pikohidro

Pengujian berikutnya adalah melakukan pengapungan unit pembangkit pikohidro. Hal ini dimaksudkan agar dapat diketahui bahwa pembangkit pikohidro yang telah dibangun mampu mengapung di permukaan air berarus dengan baik, dan tidak sampai terbalik. Selain itu juga untuk mengetahui bahwa pembangkit pikohidro ini mampu bertahan tanpa terbawa arus dengan konfigurasi tali penahan yang dirancang sedemikian rupa.



**Gambar 13.** Proses pengapungan pembangkit pikohidro menggunakan dua tali.

Proses pengapungan pembangkit pikohidro ini berhasil dilakukan seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Pembangkit pikohidro berhasil mengapung pada permukaan aliran air Sungai Amprong dan dapat dengan stabil bertahan dengan bantuan dua tali. Untuk praktiknya, kedua tali tersebut diikatkan pada dua titik pada tepi sungai. Dan pengoperasiannya membutuhkan dua operator untuk menahan dan menyimpulkan tali di dua titik tersebut.

#### 4.5. Pengujian Kecepatan Putaran Turbin dan Alternator

Pengujian berikutnya adalah untuk mengukur kecepatan putaran turbin dan alternator. Proses pengukuran tersebut dilakukan menggunakan laser tachometer yang ditembakkan oleh operator ke bagian turbin maupun alternator pada stiker titik uji yang telah dipasang sebelumnya. Waktu pengukuran ini dilakukan hampir bersamaan dengan pengukuran kecepatan aliran

air dan pengukuran tegangan keluaran pada *rectifier* dan kapasitor, dengan harapan dapat menemukan korelasi antara kecepatan aliran air dengan tegangan keluarannya.

**Tabel II.** Hasil Pengukuran Kecepatan Turbin dan Alternator

No.	Tanggal	Waktu	Kecepatan Turbin (rpm)	Kecepatan Alternator (rpm)
1	30 Juli 2021	08.00	29	406
2	30 Juli 2021	08.30	29	408
3	30 Juli 2021	09.00	29	410
4	30 Juli 2021	09.30	28	397
5	30 Juli 2021	10.00	29	409
6	30 Juli 2021	10.30	28	393
7	30 Juli 2021	11.00	29	404
8	30 Juli 2021	11.30	28	389
9	30 Juli 2021	12.00	28	397
10	30 Juli 2021	12.30	29	407
11	30 Juli 2021	13.00	29	409
12	30 Juli 2021	13.30	28	395
13	30 Juli 2021	14.00	29	410
14	30 Juli 2021	14.30	29	409
15	30 Juli 2021	15.00	29	409
16	30 Juli 2021	15.30	29	405
17	30 Juli 2021	16.00	28	392
18	31 Juli 2021	08.00	28	388
19	31 Juli 2021	08.30	28	389
20	31 Juli 2021	09.00	29	402
21	31 Juli 2021	09.30	29	406
22	31 Juli 2021	10.00	29	401
23	31 Juli 2021	10.30	29	399
24	31 Juli 2021	11.00	28	393
25	31 Juli 2021	11.30	29	401
26	31 Juli 2021	12.00	29	403
27	31 Juli 2021	12.30	29	404
28	31 Juli 2021	13.00	28	398
29	31 Juli 2021	13.30	29	401
30	31 Juli 2021	14.00	28	396
31	31 Juli 2021	14.30	29	407
32	31 Juli 2021	15.00	28	398
33	31 Juli 2021	15.30	28	390
34	31 Juli 2021	16.00	28	398
<b>Kecepatan rata-rata (rpm)</b>			<b>28,6</b>	<b>400,7</b>

Dari hasil pengukuran pada Tabel II, maka didapatkan bahwa turbin berputar dengan kecepatan rata-rata 28,6 rpm, sedangkan alternator berputar pada kecepatan rata-rata 400,7 rpm. Variasi kecepatan putar alternator cukup kecil, yaitu sekitar 22 rpm, yang mengindikasikan bahwa pada Sungai Amprong, pembangkit pikohidro ini dapat menghasilkan tenaga listrik yang cukup konstan dan konsisten. Selain itu, hasil kecepatan rata-rata alternator sebesar 400,7 rpm menandakan bahwa perhitungan spesifikasi yang diharapkan sebelumnya, yaitu putaran operasional di kisaran 400 rpm, akan dapat dicapai dengan baik dalam penelitian ini.

#### 4.6. Pengujian Keluaran Kelistrikan

Sistem kelistrikan yang diukur pada pengujian di sungai meliputi dua titik pengukuran tegangan, yaitu pada bagian keluaran *rectifier* dan bagian pengisian baterai, keduanya adalah tegangan DC. Pada waktu pengujian di

sungai, tidak dilakukan pengukuran tegangan AC pada alternator maupun arus listriknya, karena kondisi yang basah dan tidak memungkinkan. Operator hanya melakukan pengukuran pada dua titik tersebut dengan sangat singkat setiap 30 menit, segera setelah melakukan pengukuran kecepatan putar turbin dan alternator.

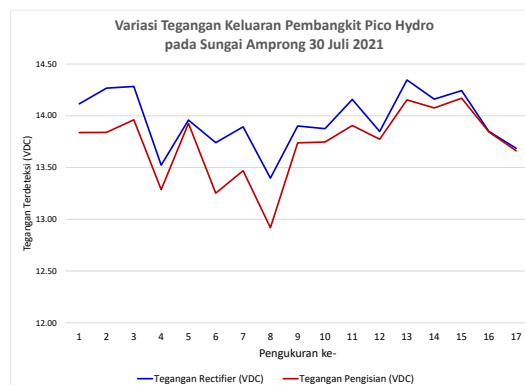
**Tabel III.** Hasil Pengukuran Sistem Kelistrikan Pembangkit Piko hidro Kondisi Nyata pada Sungai Amprong

No.	Tanggal	Waktu	Tegangan Rectifier (VDC)	Tegangan Pengisian Baterai (VDC)
1	30 Juli 2021	08.00	14,12	13,84
2	30 Juli 2021	08.30	14,27	13,84
3	30 Juli 2021	09.00	14,28	13,96
4	30 Juli 2021	09.30	13,52	13,29
5	30 Juli 2021	10.00	13,96	13,93
6	30 Juli 2021	10.30	13,74	13,25
7	30 Juli 2021	11.00	13,89	13,47
8	30 Juli 2021	11.30	13,40	12,92
9	30 Juli 2021	12.00	13,90	13,74
10	30 Juli 2021	12.30	13,88	13,75
11	30 Juli 2021	13.00	14,16	13,91
12	30 Juli 2021	13.30	13,85	13,77
13	30 Juli 2021	14.00	14,35	14,15
14	30 Juli 2021	14.30	14,16	14,08
15	30 Juli 2021	15.00	14,24	14,17
16	30 Juli 2021	15.30	13,85	13,84
17	30 Juli 2021	16.00	13,69	13,66
18	31 Juli 2021	08.00	13,36	13,02
19	31 Juli 2021	08.30	13,64	13,30
20	31 Juli 2021	09.00	13,78	13,69
21	31 Juli 2021	09.30	14,07	13,95
22	31 Juli 2021	10.00	13,87	13,45
23	31 Juli 2021	10.30	13,88	13,49
24	31 Juli 2021	11.00	13,58	13,45
25	31 Juli 2021	11.30	14,06	13,76
26	31 Juli 2021	12.00	13,94	13,70
27	31 Juli 2021	12.30	14,05	13,58
28	31 Juli 2021	13.00	13,57	13,12
29	31 Juli 2021	13.30	13,95	13,50
30	31 Juli 2021	14.00	13,57	13,44
31	31 Juli 2021	14.30	14,12	13,73
32	31 Juli 2021	15.00	13,77	13,68
33	31 Juli 2021	15.30	13,41	13,22
34	31 Juli 2021	16.00	13,88	13,52
<b>Tegangan rata-rata (VDC)</b>			<b>13,87</b>	<b>13,62</b>

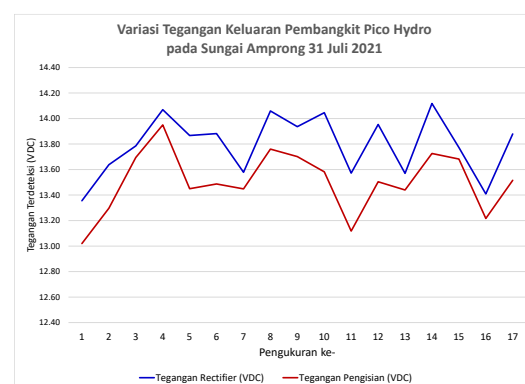
Sesuai dengan hasil pengukuran kondisi nyata pada Tabel III, dapat dilihat bahwa tegangan rata-rata yang terukur pada keluaran *rectifier* adalah 13,87 V, sementara di sisi pengisian baterai setelah dihaluskan oleh kapasitor rata-ratanya lebih rendah, yaitu 13,62 V. Indikasi yang dapat dilihat dari data tersebut adalah tegangan operasional ketika melakukan pengisian pada baterai adalah di titik 13,62 V, berada pada rentang operasional pengisian baterai sebesar 13 V hingga 14 V.

Secara visual, dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15 bahwa variasi tegangan keluaran dari *rectifier* sangat sesuai dengan variasi kecepatan aliran air Sungai Amprong pada 4.3.Gambar 11 dan 4.3.Gambar 12, mengingat pengambilan data dilakukan dalam waktu yang hampir bersamaan. Sedangkan keluaran tegangan untuk

pengisian baterai juga sesuai dengan naik-turunnya tegangan *rectifier*, hanya saja terdapat sedikit penurunan yang diakibatkan oleh efek peredaman oleh kapasitor.



**Gambar 14.** Grafik variasi tegangan keluaran pembangkit piko hidro pada Sungai Amprong tanggal 30 Juli 2021.



**Gambar 15.** Grafik variasi tegangan keluaran pembangkit piko hidro pada Sungai Amprong tanggal 31 Juli 2021.

Pada pengukuran sistem kelistrikan tahap berikutnya, dilakukan pengukuran tegangan AC pada keluaran alternator (fasa-fasa), tegangan DC rms pada keluaran *rectifier*, tegangan DC rms pada titik pengisian baterai, tegangan DC rms pada bagian beban, arus DC pada keluaran *rectifier*, dan arus DC pada titik pengisian baterai (setelah kapasitor). Pengukuran ini dilakukan di dalam ruangan, di mana turbin diputar konstan dengan tangan oleh salah satu operator, dan kecepatannya dipertahankan sekitar 28 rpm. Pengujian ini dilakukan hanya sekali pada tanggal 31 Juli 2021 setelah pembangkit piko hidro diangkat dari Sungai Amprong.

**Tabel IV.** Hasil Pengukuran Sistem Kelistrikan Pembangkit Piko hidro Kondisi Ideal

Pengukuran	Hasil	Satuan
Tegangan AC rms R-S dari alternator	8,01	VAC rms
Tegangan AC rms S-T dari alternator	8,04	VAC rms
Tegangan AC rms T-R dari alternator	8,08	VAC rms
Tegangan DC rms titik keluaran <i>rectifier</i>	13,94	VDC rms
Tegangan DC rms titik pengisian baterai	13,28	VDC rms
Arus DC rms titik keluaran <i>rectifier</i>	0,52	ADC rms

Pengukuran	Hasil	Satuan
Arus DC rms titik pengisian baterai	0,58	ADC rms

Dari hasil pengukuran sistem kelistrikan pada Tabel IV, didapatkan bahwa tegangan AC rms dari alternator berada pada kisaran 8 V, sesuai dengan datasheet ketika alternator berputar dengan kecepatan sekitar 400 rpm. Tegangan DC setelah melalui rectifier terdeteksi di 13,94 V sementara setelah diredam dan dihaluskan oleh kapasitor mencapai 13,28 V. Arus yang keluar dari titik rectifier adalah 0,52 A, sedangkan arus yang keluar dari titik pengisian baterai adalah 0,58 A. Jadi, daya yang dibangkitkan oleh pembangkit pikohidro ini sewaktu kondisi ideal tanpa beban menggunakan kecepatan putaran turbin 28 rpm adalah sekitar 7,7 W.

#### 4.7. Pengujian Lama Pengisian Baterai

Untuk menguji lama pengisian baterai, dilakukan pengosongan baterai terlebih dahulu sebelum tanggal 30 Juli 2021. Ketika dilakukan pengukuran pukul 08.00 WIB, baterai yang kosong tersebut dipasang pada pembangkit. Pada waktu pembangkit pikohidro diangkat dari sungai pukul 16.10 WIB setelah pengujian hari pertama selesai, baterai dilepas dan diambil pengukuran tegangannya.

Pengukuran tegangan ketika baterai kosong menunjukkan 11,42 V, yang berarti baterai dalam kondisi terisi sekitar 15%. Pengukuran kedua ketika selesai pengujian hari pertama menunjukkan nilai 12,46 V, yang berarti baterai berada dalam kondisi terisi sekitar 85. Hal ini menunjukkan bahwa dalam rentang waktu 08.00 WIB hingga 16.00 WIB, yaitu selama 8 jam, didapatkan peningkatan keterisian baterai 12 V berkapasitas total 34 A·h sebesar 70%, atau sekitar 8,75% per jam.

Dengan demikian, dapat dihitung bahwa arus yang mengalir pada titik pengisian baterai sewaktu kondisi nyata berbeban adalah sekitar 2,98 A. Jika rata-rata tegangan pada titik pengisian baterai adalah 13,62 V, maka daya yang dihasilkan pembangkit pikohidro ini dalam kondisi nyata berbeban di Sungai Amprong adalah 40,6 W.

#### 4.8. Pengujian Lama Pemakaian Baterai

Lama pemakaian baterai diketahui setelah pengujian hari kedua selesai, dan dilakukan di rumah. Dalam kondisi tidak ada pasokan daya dari pembangkit pikohidro ini, baterai dilepas dari unit, dan dilakukan *discharging* dengan beban *inverter* yang disambungkan pada *charger* laptop yang dipakai dalam penelitian. Pada *name plate* dari *charger* laptop, disebutkan bahwa bebannya adalah 60 W.

Sebelum pemakaian, tegangan baterai diukur dan menunjukkan 12,68 V, yaitu posisi terisi 100%. Kemudian baterai dipakai untuk memberi daya pada *charger* laptop, sementara laptop juga pada kondisi menyala. Setelah pemakaian 2 jam, dilakukan pengukuran tegangan pada baterai dan didapatkan hasil 12,38 V, yaitu terisi sekitar 75%.

Dengan demikian, beban 60 W akan menguras baterai dengan kecepatan 12,5% per jam. Jika dihitung untuk menguras hingga 0%, maka diproyeksikan baterai

akan mampu beroperasi hingga 8 jam pada beban 60 W. Perlu diketahui bahwa 60 W adalah beban dari *charger* laptop tanpa menghitung *losses* pada *inverter*. Sehingga pengukuran tersebut merupakan estimasi, bukanlah nilai presisi.

#### 4.9. Analisis Hasil Pengujian

Dari semua hasil pengujian, maka dapat dilakukan analisis sebagai berikut:

1. Hasil dari pengujian penempatan pembangkit pikohidro yang telah dibuat menyatakan bahwa unit ini mampu mengapung pada aliran Sungai Amprong dengan stabil tanpa terbalik, dan dapat ditahan hanya menggunakan dua tali, dengan kecepatan aliran air rata-rata 0,522 m·s<sup>-1</sup>. Kecepatan aliran sungai tersebut merupakan kecepatan yang relatif rendah, dengan arus yang tidak terlalu tinggi.
2. Dari hasil pengujian kecepatan aliran air Sungai Amprong dan kecepatan putaran turbin dan alternator, didapatkan bahwa turbin dapat berputar dengan kecepatan rata-rata 28,6 rpm, sedangkan alternator berputar pada kecepatan rata-rata 400,7 rpm, dengan kecepatan aliran air sungai rata-rata 0,522 m·s<sup>-1</sup>. Ini mengindikasikan bahwa perhitungan perbandingan diameter *pulley* dan sistem transmisi telah sesuai dengan kondisi di Sungai Amprong untuk mengoperasikan pembangkit pikohidro ini, yang sebelumnya diperkirakan dapat memutar alternator dengan kecepatan 400 rpm.
3. Dari hasil pengujian pengukuran parameter kelistrikan dan pengisian baterai, maka dapat disimpulkan bahwa pembangkit pikohidro yang telah dibangun mampu memasok daya dalam kondisi ideal sebesar 7,7 W dan dalam kondisi nyata berbeban di Sungai Amprong sebesar 40,6 W.
4. Operasional pembangkit pikohidro pada Sungai Amprong akan mampu mengisi baterai 12 V berkapasitas 34 A·h dengan laju sekitar 8,75% per jam.
5. Penggunaan baterai dengan kapasitas 34 A·h akan mampu memasok beban 60 W tanpa bantuan pengisian daya dari alternator selama 8 jam.

### V. PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis pada penelitian ini, maka dapat ditarik tiga kesimpulan, antara lain:

1. Sebuah pembangkit listrik tenaga pikohidro turbin apung dengan keluaran 12 VDC dan daya 120 W telah berhasil dibangun dengan total ukuran 100×50×40 cm.
2. Instalasi kelistrikan pada pembangkit listrik tenaga pikohidro mulai dari alternator hingga beban telah berhasil dibangun menggunakan alternator AC tiga fasa, rangkaian *bridge rectifier*, dan baterai 12 V berkapasitas 34 A·h.
3. Kapasitas pembangkitan rata-rata yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga pikohidro turbin apung dengan keluaran 12 VDC dan daya 120 W yang telah dibangun adalah 7,7 W tanpa beban, dan 40,6 W



dalam kondisi nyata di Sungai Amprong dengan beban baterai 12 V berkapasitas 34 A-h.

## 5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian berikutnya diharapkan ada peningkatan kemampuan baterai sehingga dapat menyimpan lebih banyak energi ketika tidak ada aliran air.
2. Pada penelitian berikutnya diharapkan ada pengembangan pada sistem kendali untuk mengatur tegangan pada titik pengisian baterai sehingga bisa melindungi dari kerusakan.

## Daftar Pustaka

- [1] N. Alipan dan N. Yuniarti, "Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro dengan Memanfaatkan Alternator untuk Membantu Penerangan Jalan Seputaran Kebun Salak," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 59-70, 2018.
- [2] Y. I. Nakhoda, I. B. Sulistiawati dan A. Soetedjo, "Penerapan Pembangkit listrik Tenaga Pikohidro Menggunakan Komponen Bekas dengan Pemanfaatan Potensi Energi Terbarukan di Desa Gelang, Kecamatan Sumberbaru, Kabupaten Jember," *Jurnal Aplikasi dan Inovasi Ipteks SOLIDITAS*, vol. 1, no. 2, pp. 99-109, 2018.
- [3] T. M. Syahputra, M. Syukri dan I. D. Sara, "Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro dengan Menggunakan Turbin Ulir," *Jurnal Online Teknik Elektro KITEKTRO*, vol. 2, no. 1, pp. 16-22, 2017.
- [4] R. Pasaribu, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Terapung Menggunakan Turbin Crossflow," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2020.
- [5] S. A. Dyer, *Wiley Survey of Instrumentation and Measurement*, John Wiley & Sons, 2004.
- [6] AllAboutCircuits.com, "How to Use Simple Converter Circuits," 15 11 2018. [Online]. Available: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/utilization-of-simple-converters-circuits/>.
- [7] S. Herman, *Industrial Motor Control*, Delmar: Delmar Cengage Learning, 2010.