

## DESAIN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK BERDASARKAN ENERGI GRAVITASI MELALUI PIPA AIR HUJAN (RWH) DENGAN OPTIMASI TEGANGAN DAN PUTARAN TURBIN MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI (WPCA)

1,2) Program Studi Teknik  
Manufaktur Kapal,  
Politeknik Negeri  
Banyuwangi, Banyuwangi

Abdul Rohman <sup>1)</sup>, M. Abdul Wahid <sup>2)</sup>

Corresponding email <sup>1)</sup> :  
[rahmanabd@poliwangi.ac.id](mailto:rahmanabd@poliwangi.ac.id)

Received: 14-11-20  
Accepted: 22-03-21  
Published: 28-06-21

©2021 Politala Press.  
All Rights Reserved.

**Abstrak.** Merancang pembangkit listrik berdasarkan gaya gravitasi energi potensial dari pipa air hujan Rain Water Harvesting (RWH). Terdiri dari perangkat pengumpul air dan tipe Turbin Pelton. Perangkat pengumpul air hujan ditempatkan dipipa saluran keluar ditinggikan yang diatur. RWH dipasangkan pipa keluar posisi terendah,. RWH bekerja dengan volume air yang dikumpulkan mencapai nilai ambang batas, sehingga perangkat bekerja kontinyu. Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan pengaruh panjang dan diameter perangkat pengumpul terhadap besarnya listrik dan Metode Taguchi dalam optimasi tegangan dan putaran turbin. Pengaruh ketinggian RWH divariasikan didapatkan 2,4359 Volt pada Panjang pipa 70 cm dengan diameter 1 inch. Kontribusi variabel proses dalam mengurangi total variansi dari respon tegangan dan putaran turbin sudut bukaan kran 55% panjang pipa 17 %, .diameter pipa 15%. Pengaturan kombinasi variabel proses yang signifikan dapat memaksimalkan tegangan listrik dan meminimalkan putaran turbin adalah diameter pipa sebesar 1 inch, panjang pipa 70 cm dan sudut bukaan kran 90°.

**Kata Kunci:** Energi Potensial, Air Hujan, Metode Taguchi

**Abstract.** Designing power plant based on the gravitational force of potential energy from the Rain Water Harvesting (RWH) rainwater pipe. It consists of water collection device and Pelton Turbine type. The rainwater collection device is placed in the outlet pipe at regulated height. RWH paired the lowest position exit pipe. RWH works with the volume of water collected reaching a threshold value, so that the device works continuously. The research was conducted experimentally with the effect of the length and diameter of the collector device on the amount of electricity and the Taguchi method in optimizing the voltage and turbine rotation. The effect of the RWH height was varied, it was found 2.4359 volts at pipe length of 70 cm with diameter of 1 inch. Contribution of process variables in reducing the total variance of stress response and turbine rotation of valve opening angle 55% pipe length 17%, pipe diameter 15%. The combination setting of process variables that can significantly maximize electrical voltage and minimize turbine rotation is pipe diameter of 1 inch, pipe length of 70 cm and valve opening angle of 90°.

**Keywords:** Potential Energy, Rainwater, Taguchi Method

To cite this article at <https://doi.org/10.34128/je.v8i1.151>

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan listrik sebagai sumber pokok kehidupan dalam menjalankan aktifitas sehari-hari. Peralatan serba modern tidak lepas dari kebutuhan listrik. Sumber listrik di dapat dari proses mekanis penggerak untuk menghasilkan Gaya Gerak Listrik (GGL). Sumber penggerak utama dalam energi terbarukan yang sudah banyak dipergunakan seperti energi yang berasal fosil. Namun perlu pengembangan energi terbarukan seperti energi air,

energi air ini banyak sekali dalam bentuk alirannya. Dimana energi air dapat dipergunakan jika ada perbedaan elevasi yang tinggi.

Potensi air hujan belum ada pengembangan lebih lanjut dengan model Rain Water Harvesting (RWH). Air hujan ini di kumpulkan melalui atap-atap rumah dan Gedung dalam suatu media dimana dibuatkan sistem aliran yang dapat dipergunakan sebagai penggerak model RWH.

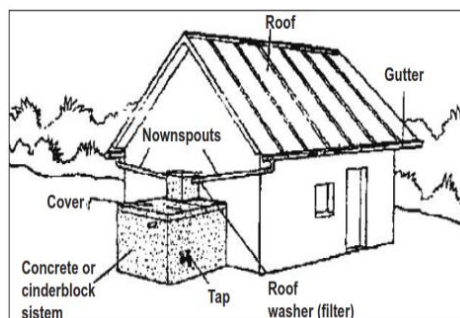
Daerah perkotaan memiliki gedung-gedung bertingkat tinggi, dimana curah hujan di atas gedung pencakar langit seringkali di buang melalui pipa, sehingga membuang energi potensial yang cukup besar.

## 2. Metodologi

Ketersediaan air menjadi kebutuhan utama bagi setiap manusia. Pemerintah dan masyarakat terus mengupayakan adanya air bersih. Salah satunya adalah melalui konservasi sumber daya air. Menurut Malik (2016:1), konservasi sumber daya air memiliki arti penghematan dan penggunaan kembali (*reuse*) air. Hal ini menjadi sesuatu yang penting karena terdapat beberapa masalah terkait ketersediaan air antara lain penurunan muka air tanah, kekeringan, maupun dampak dari perubahan iklim

Menurut Harsoyo (2010: 34-35), teknik pemanenan air hujan atau disebut dengan *rain water harvesting* didefinisikan sebagai suatu cara pengumpulan atau penampungan air hujan untuk selanjutnya digunakan pada waktu curah hujan rendah. Dilihat dari ruang lingkup implementasinya, teknik pemanenan digolongkan ke dalam 2 (dua) kategori yaitu:

- (1) Teknik pemanenan air hujan dengan atap bangunan (*roof top rain water harvesting*), dan
- (2) Teknik pemanenan air hujan (dan aliran permukaan) dengan bangunan *reservoir*, seperti dalam parit, embung, kolam, waduk dan sebagainya

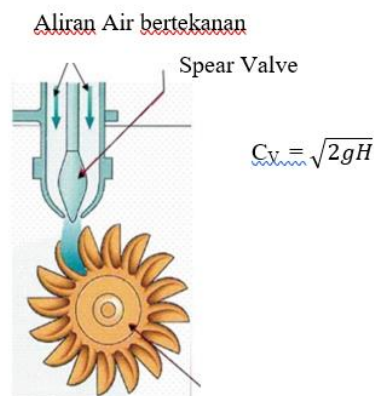


**Gambar 1.** Skema Teknik Panen Hujan dengan Atap Rumah

Hujan merupakan salah satu sumber air mengalir yang melimpah. Air hujan dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari, misalnya digunakan untuk kebutuhan air minum atau air resapan. Belum banyak orang yang memanfaatkan air hujan untuk membangkitkan energi listrik.

Turbin impuls dengan aliran tangensial dinamakan seorang Insinyur Amerika L. Patton. Dalam turbin pelton atau roda pelton air menabrak sudu di sepanjang garis singgung air yang disalurkan melalui pipa PVC pada ujung bawah pipa air menerpa bilah pada kecepatan lebih tinggi. Di saluran masuk turbin energi tersedia adalah Energi Kinetik dan di inlet dan outlet turbin tekanan adalah tekanan atmosfer

Dalam sistem tenaga air skala kecil turbin pelton dapat digunakan pada sistem Pico hydro karena keberlanjutannya. Turbin Pelton adalah turbin reaksi dimana satu atau lebih pancaran air menumbuk roda yang terdapat pada mangkuk dan tekanan memiliki setengah kecepatan semburan air sama dengan kecepatan keliling konstan.



**Gambar 2.** Pelton Wheel

Untuk menghasilkan jumlah daya yang baik untuk multi gedung bertingkat, baik dari head yang tersedia dan laju aliran, hal ini perlu menentukan Daya menggunakan volume dari air ditangkap melalui Sistem Pemanenan Air Hujan (Rain Water Harvesting System / RWH)

**Daya (Watt)**

Daya adalah torsi dikalikan putaran maka diperoleh :

$$P = \tau \times \omega$$

Dimana :

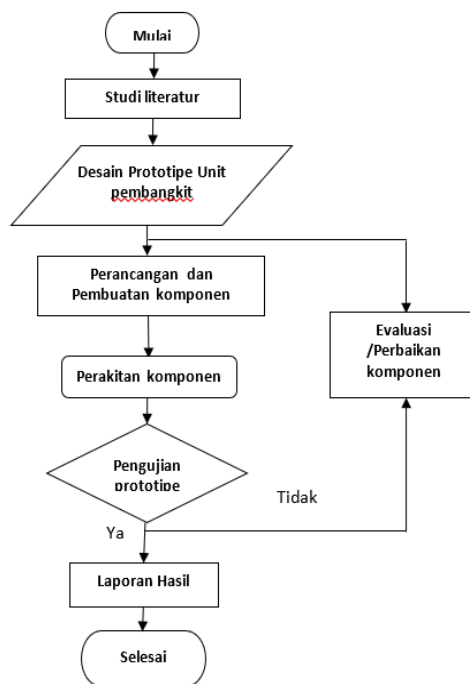
$P$  = daya (watt),

$\tau$  = momen torsi (Nm) ,

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/sec)

**3. Metodologi**

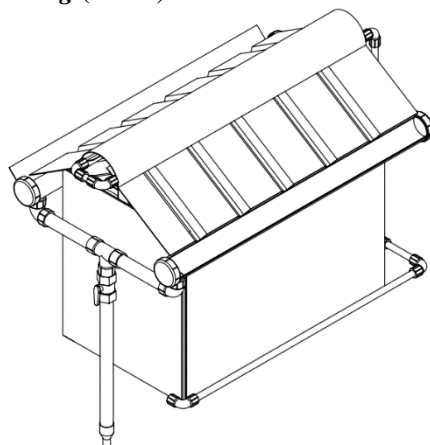
Dalam penelitian ini menggunakan kajian yang akan dilakukan dengan merancang sistem pembangkit listrik tenaga air hujan yang dibuat sesuai dengan tinggi potensial air hujan Data-data yang diambil adalah rotasi rotor (rpm) dan tegangan yang dihasilkan putaran generator.



**Gambar 3.** Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa kegiatan. adapun tahapan kegiatan tersebut dalam diagram alir seperti Gambar 3.

**3.1 Pemodelan Rain Water Harvesting (RWH)**



**Gambar 4.** Model Rumah Pemanen Air Hujan (RWH)

Konsep mekanisme pemanen air hujan untuk sebagai tenaga listrik. dapat dijelaskan bahwa untuk menghasilkan energi listrik diperlukan beberapa mekanisme. Dalam mekanisme ini terdapat komponen penting yaitu turbin yang dapat menghasilkan kecepatan sudut dan torsi ketika diberikan input berupa energi potensial air hujan. . Generator akan menghasilkan energi listrik dalam bentuk arus dan voltase

### 3.2 Rancangan Eksperimen

Penentuan variabel proses berdasarkan perangkat *Rain Water Harvesting* (RWH) bahwa penentuan keluaran listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu : kecepatan aliran

Variabel-variabel yang digunakan untuk mendapatkan data eksperimen adalah sebagai berikut:

1. Variabel bebas

Variabel bebas dan level-levelnya ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Variabel Bebas dan Level-levelnya

Variabel bebas	level 1	level 2	level 3
1 Diameter Pipa (D) inch	3/4	1	1 1/4
2 Panjang Pipa (L) mm	35	50	70
3 Buka-an Katup ( $\phi$ ) <sup>0</sup>	30	45	90

2. Variabel respon

Variabel respon pada penelitian ini adalah:

- Tegangan Listrik (V, Volt).
- Putaran Turbin (N, Rpm)

3. Variabel konstan.

Variabel konstan pada poses pembangkit model RWH ini adalah kecepatan aliran yang konstan

Berdasarkan banyaknya variabel bebas dan jumlah level yang ditunjukkan pada Tabel 1, didapatkan 6 derajat kebebasan untuk rancangan eksperimen ini, sehingga matriks ortogonal yang digunakan adalah  $L_9(3^3)$ . Matriks ortogonal jenis  $L_9$  memiliki 3 kolom dan 9 baris yang mampu digunakan untuk tiga buah variabel bebas yang masing-masing memiliki 3 level. Rancangan eksperimen berdasarkan matriks orthogonol untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Matriks Orthogonal  $L_9$

No	Variabel Proses		
	D	L	$\Phi$
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

### 3.3 Optimasi Multi Respon Menggunakan Metode Taguchi dan WPCA.

Pada penelitian ini metode optimasi multirespon yang digunakan adalah metode Taguchi yang dikombinasikan dengan metode WPCA. Langkah – langkah optimasi adalah sebagai berikut:

1. Penentuan S/N Rasio Dari Respon

Hasil penelitian dan S/N rasio untuk SR dan MRR dapat dilihat pada Tabel 3. Karakteristik respon dari MRR adalah larger-is-better dan SR adalah smaller-is-better, S/N rasio untuk masing karekeristik respon dihitung mengikuti persamaan sebagai berikut :

Larger is better:

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} \right] \quad (1)$$

Smaller is better:

$$S/N = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \quad (2)$$

2. Normalisasi S/N Rasio

Proses normalisasi data respon adalah proses mengubah nilai respon menjadi nilai yang besarnya antara 0 dan 1. Proses normalisasi juga dilakukan berdasarkan karakteristik kualitas respon. Normalisasi S/N rasio untuk masing karekteristik respon dihitung mengikuti persamaan sebagai berikut:

Larger is better:

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (3)$$

Smaller is better:

$$X_i^*(k) = \frac{\max_{\forall k} X_i(k) - X_i(k)}{\max_{\forall k} X_i(k) - \min_{\forall k} X_i(k)} \quad (4)$$

1. Menghitung *Principal Components Analysis (PCA)*.

Untuk melakukan PCA, terlebih dahulu dihitung nilai *principal component* dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Z_j = \sum_{i=1}^p a_{ji} Y_i \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^p a_{ji}^2 = 1$$

Dengan :  $j = 1, \dots, k$   
 $a$  adalah *eigen factor*.

2. Menghitung nilai *multi-response performance index (MPI)*

Menghitung nilai *multi-response performance index (MPI)* dengan menggunakan persamaan berikut :

$$MPI = \sum_{j=1}^k W_j Z_j \quad (6)$$

Dengan:  $W$  adalah akuntabilitas proporsi yang digunakan sebagai bobot prioritas individual.

3. Menghitung nilai *Combined Quality Loss (CQL)*.

Menghitung nilai *Combined Quality Loss (CQL)* dengan menghitung selisih absolut antara nilai MPI pada kondisi ideal dengan nilai MPI dari data respon.

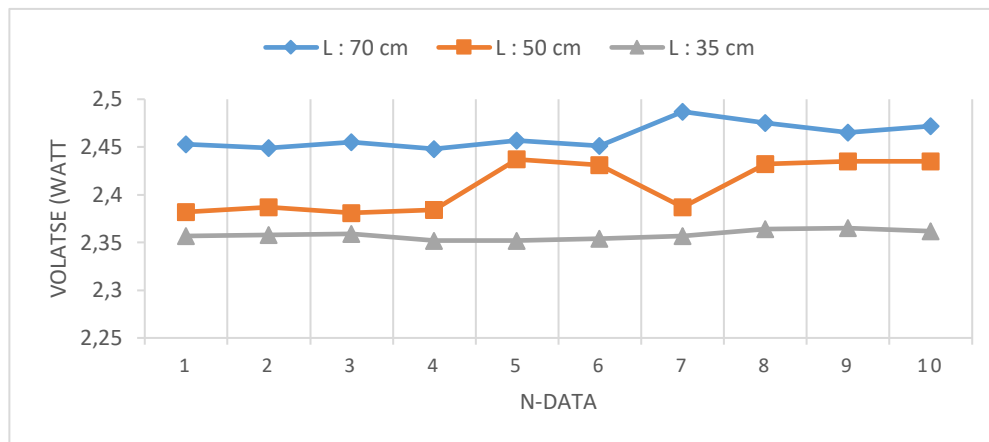
**Tabel 3.** Hasil Penelitian

Urutan Level			V	N
Parameter				
D	L	Φ	Volt	Rpm
1	1	1	2.789	517.7
1	2	2	2.684	657
1	3	3	5.464	579.6
2	1	2	3.708	515.7
2	2	3	4.639	278.2
2	3	1	2.010	315
3	1	3	3.539	502.5
3	2	1	3.576	506.3
3	3	2	2.780	409.2

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Perancangan bangun turbin pembangkit listrik untuk *Rain Water Harvesting* (RWH) ini dapat digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga air hujan sehingga dapat menghasilkan listrik dan memanfaatkan potensi genangan air yang mengalir di atap dengan menambahkan saluran penampung atau pengumpul air. Debit air yang terkumpul air disalurkan melalui pipa yang terhubung dengan generator penggerak listrik.

Hasil rekapitulasi data voltase namun data tersebut masih perlu di uji dengan pengoptimasian. Metode optimasi hasil pengujian menggunakan metode taguchi. Adapun hasil pengujian awal dengan keluaran voltase dari prototipe disajikan dalam grafik pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengukuran Keluaran Voltase variasi Panjang Saluran

Dari Gambar 5, dapat disimpulkan bahwa pengaruh variasi panjang saluran pipa (saluran pengumpul air) menghasilkan voltase yang berbeda. Data dalam kurva atau grafik keluaran voltase dari variasi Panjang menghasilkan voltase terbesar pada 2,4359 volt untuk Panjang saluran 70 cm. dimana panjang variasi 50 cm menghasilkan sebesar : 2,4088 volt, Panjang 35 cm menghasilkan : 2,358 volt

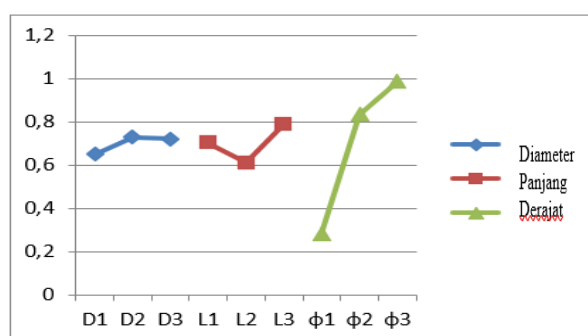
#### Penggunaan Metode Taguchi untuk Optimasi Data Pengukuran Torsi dan Daya Listrik

Data respon dari eksperimen dinormalisasi terlebih dahulu sesuai dengan jenis karakteristik kualitas masing-masing respon, yaitu semakin kecil semakin baik dengan menggunakan persamaan 4 dan 5. Dalam penelitian ini jumlah baris pada matriks orthogonal ( $i$ ) adalah sebanyak  $m = 9$ , dan banyaknya respon ( $k$ ) adalah sebanyak  $n = 2$ . Setelah dilakukan normalisasi data respon pada kondisi ideal, selanjutnya dilakukan pemeriksaan adanya korelasi atau tidak antar respon. Nilai korelasi antar respon sebesar 0.951.

Pada semua kasus, nilai koefisien korelasi non-nol menunjukkan bahwa ada korelasi diantara semua respon. Nilai korelasi sebesar 0.951 menunjukkan adanya korelasi diantara kekasaran permukaan benda kerja dan keausan pahat. Untuk mengurangi bahkan menghilangkan korelasi antar respon tersebut diterapkan *principal component analysis* (PCA).

Selanjutnya, nilai korelasi antar respon dikonversi menjadi indeks kualitas korelasi yang disebut sebagai komponen utama (*principal component*) sesuai dengan menggunakan persamaan 5. Nilai komponen utama ini digunakan untuk menghitung MPI. Dengan menggunakan persamaan 6.

Plot untuk nilai rasio S/N MPI untuk seting optimal pada masing-masing level dari faktor, yaitu kecepatan potong, kecepatan makan dan kedalaman potong radial ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Plot Nilai Rasio S/N MPI pada Masing-masing Level Variabel Proses



Berdasarkan rata-rata nilai rasio S/N MPI dan *plotting* nilai tersebut pada masing-masing level faktor, dapat ditentukan nilai level untuk kombinasi faktor yang menghasilkan respon yang optimum. Kombinasi faktor tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Kombinasi Faktor untuk Respon Optimum

Variabel proses	Level	Nilai
D	2	1 inch
L	3	70 cm
$\phi$	3	90 <sup>0</sup>

Analisis variansi digunakan untuk membantu mengidentifikasi kontribusi faktor sehingga akurasi perkiraan model dapat ditentukan. Analisis variansi untuk suatu matriks orthogonal dilakukan berdasarkan perhitungan jumlah kuadrat untuk masing-masing kolom. Untuk analisis variansi dua arah adalah data penelitian yang terdiri dari dua faktor atau lebih dan dua level atau lebih. Hasil perhitungan ANAVA dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil Perhitungan ANAVA

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	$\rho$
D	2	0,213	0,213	0,156	0,02	0,039	15%
L	2	0,247	0,247	0,203	0,08	0,029	17%
$\phi$	2	0,829	0,829	0,414	1,4	0,041	55%
e	2	0,193	0,193	0,102			13%
Total	8	1,483					

Pada Tabel 5, menunjukkan bahwa nilai P-value untuk variabel proses diameter pipa, panjang pipa dan sudut bukaan kran mempunyai nilai lebih kecil  $\alpha$  ( $\alpha=0,05$ ). Semua variabel proses tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap multi respon.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dari ketinggian tetap dengan saluran pipa dengan variasi Panjang 70 cm, 50 cm, 35 cm dengan 80 cm ketinggian saluran pipa tersebut dari lantai atau permukaan. Data awal keluaran voltase dari variasi Panjang menghasilkan voltase terbesar pada 2,4359 volt untuk Panjang saluran 70 cm. dimana panjang variasi 50 cm menghasilkan sebesar : 2,4088 volt, Panjang 35 cm menghasilkan : 2,358 volt. Untuk optimasi metode taguchi menghasilkan daya listrik yang optimal dengan menggunakan saluran pengumpul yang Panjang (70 cm). Hal ini dapat dijadikan pertimbangan dalam penentuan aplikasi di lapangan. Kontribusi variabel-variabel proses dalam mengurangi total variansi dari respon tegangan dan putaran turbin sudut bukaan kran 55% panjang pipa 17 % dan .diameter pipa 15%. Pengaturan kombinasi variabel-variabel proses yang secara signifikan dapat memaksimalkan tegangan listrik dan meminimalkan putaran turbin adalah diameter pipa sebesar 1 inch, panjang pipa 70 cm dan sudut bukaan kran 90<sup>0</sup>.

## Daftar Pustaka

- [1]. Harsoyo B. Teknik pemanenan air hujan (rain water harvesting) sebagai alternatif upaya penyelamatan sumber daya air di wilayah DKI Jakarta. Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca. 11 (2) : 29-39. 2011.
- [2]. Badaruddin B, Suwarjono JP. Sudi analisa pembangkit listrik tenaga air alternative microhydro. Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercubuana. 4 (3): 82- 90. 2013.
- [3]. Yulistyorini A. Pemanenan air hujan sebagai alternatif pengelolaan sumber daya air di perkotaan. Jurnal Teknologi dan Kejuruan. 34 (1):105-114. 2011.
- [4]. Martin S, sharma A.K. Analysis on Rainwater harvesting and Its Utilization for Pico Hydro Power Generation, International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET). 2014.
- [5]. Anuar K, Adrianto A, Sukendi. Analisis kualitas air hujan sebagai sumber air minum terhadap kesehatan masyarakat (studi kasus di kecamatan bangko bagansiapi api). Jurnal Dinamika Lingkungan Indonesia. 2 (1): 32-39. 2015.
- [6]. Malik YS, Suprayogi I, Asmura J. Kajian pemanenan air hujan sebagai alternatif pemenuhan air baku di kecamatan bengkalis. Jurnal Jom F Teknik. 3 (2): 1-13. 2016.

- [7]. Huang Z. The Research On Rainwater Power Generation System. 5th International Conference on advanced material and Computer Science (ICAMCS 2016). 2016.
- [8]. Selvakumar P. Harvesting Energy From Rainfall. DOI:10.13140/RG.2.1.1830.2968. 2017.
- [9]. Adinugraha, dkk. Perancangan Desain alat Pemanen Air Hujan Dengan Media Filter dan Pembangkit Listrik Mikrohidro (YAGIPURE). Factor Exata 11 (2) ; 118-127. 2018.
- [10]. Rashmi V. patil, Ashitosh A. Varkale, Nikhil S. Mhetre, Pramod P.darade. Automatic Power Generation Using rain Water harvesting and Solar Energy. International Journal of Advance Research, ideas and Innovations In Technology. 2019.

