

## PERANCANGAN PLTMH MEMANFAATKAN DISCHARGE POMPA BRINE BLOWDOWN PADA PLTGU

**Gede Bayu Mahendra, Abdul Multi**

Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Pascasarjana

Institut Sains dan Teknologi Nasional

Telp : (021) 7270090, Fax (021) 7866955

Email : bayu24mahendra@gmail.com

### ABSTRAK

PLTMH adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro yang memanfaatkan energi potensial maupun energi kinetik dari air untuk diubah menjadi energi listrik. Pembuatan PLTMH pada PLTGU Tanjung Priok bertujuan untuk efisiensi serta menciptakan energi terbarukan dari *discharge* pompa motor *Brine Blowdown* yang ada pada *Desalination Plant*. *Desalination Plant* berfungsi mengubah air laut menjadi air tawar yang nantinya digunakan untuk air penambah pada sistem Steam Turbin, sistem Hidran dan air *sealing* pada unit Pembangkit.

Pemanfaatan potensi energi kinetik, berupa aliran air dari *discharge* pompa *Brine Blowdown* sebesar 386 m<sup>3</sup>/h mempunyai daya hidrolis sebesar 10kW. Untuk dapat mengkonversi potensi energi ini menjadi energi listrik diperlukan perancangan turbin air serta pemilihan generator berkapasitas 10Kw. Sistem pembebanan diperlukan untuk menjaga kualitas tegangan output PLTMH saat terjadi perubahan beban.

Dari hasil perancangan, PLTMH ini menggunakan jenis turbin air tipe Pelton dengan diameter 30 cm dan 21 sudu turbin air. PLTMH ini mampu beroperasi dengan beban 7 kW dengan output tegangan 251VAC/53Hz. Dari hasil commissioning, didapatkan PLTMH ini beroperasi ideal pada beban 5 kW dengan output tegangan sebesar 230VAC/49,7Hz.

**Kata kunci:** PLTMH, *Desalination Plant*, *Brine Blowdown Pump*, Generator, Turbin

### ABSTRACT

*PLTMH (MHP Plant) is a Micro Hydro Power Plant that utilizes whether potential or kinetic energy from water to be converted into electrical energy. The construction of MHP Plant at PLTGU Tanjung Priok is aimed to increase the efficiency and create a renewable energy from the Brine Blowdown motor discharge pump at the Desalination Plant. The Desalination Plant functions to convert sea water into fresh water which will be used for make up water in the Steam Turbine System, Hydrant System and Water Sealing in the Generating Unit.*

*The utilization of kinetic energy, in the form of water flow from the Brine Blowdown Discharge Pump at the rate of 386 m<sup>3</sup>/h has hydraulic power of 10kW. In order to be able to convert this energy into electrical energy, it is necessary to design a Water Turbine with a 10 kW generator. The load system is needed to maintain the quality of the output voltage of MHP Plant when the load changes.*

*From the design results, this MHP Plant uses a Pelton type of water turbine with a diameter of 30 centimeters and 21 water turbine blades. This MHP Plant can operate with a load of 7 kW with an output voltage of 251VAC/53Hz. From the commissioning results, it was found that this MHP Plant operates ideally at a 5 kW load with an output voltage of 230VAC/49.7Hz.*

**Keywords:** PLTMH, *Desalination Plant*, *Brine Blowdown Pump*, Generator, Turbine

**I. PENDAHULUAN**

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro) adalah salah satu jenis pembangkit berkapasitas kecil yang memanfaatkan gaya potensial dari air untuk memutar turbin yang terkopel dengan generator untuk menghasilkan listrik. Dimana energi listrik yang dihasilkan akan dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik.

PLTGU Tanjung Priok blok 1&2 mempunyai Desalination Plant, yang berfungsi mengubah air laut menjadi air tawar. Pada Desalination Plant terdapat *Brine Blowdown Pump* yang berfungsi untuk membuang air laut yang tidak terkondensasi ke laut. *Flow* dan *Pressure output* dari *Brine Blowdown Pump* dapat dimanfaatkan untuk memutar turbin pada PLTMH, untuk menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk efisiensi PS (Pemakaian Sendiri) pada PLTGU Tanjung Priok.

Pada umumnya PLTMH mengkonversi energi potensial air menjadi energi listrik, namun pada PLTMH Brine Blowdown mengubah energi kinetik air menjadi energi listrik. Pompa *Brine Blowdown* mempunyai kapasitas maksimal 368 m<sup>3</sup>/jam, yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH. Dimana *output* PLTMH akan digunakan sebagai PS (Pemakaian Sendiri) untuk Gedung PLC (*Priok Learning Center*) PT Indonesia Power UPJP Priok.

Syarat suatu pembangkit dikatakan layak adalah memiliki *output* tegangan, frekuensi dan sudut fasa yang sama dan konstan. Sedangkan *output flow* dan *pressure* pada *Brine Blowdown pump* sangat fluktuatif, sehingga berimbas pada *output* PLTMH.

PLTMH *Brine Blowdown* akan menjadi prototipe pembangkit energi terbarukan yang dapat diimplementasikan ke unit yang mempunyai *discharge* pompa dengan kapasitas tertentu dan tidak menutup kemungkinan dapat digunakan di unit lain tidak hanya di PLTGU tanjung Priok untuk tujuan efisiensi.

Karena hal tersebut, penulis hendak menganalisa dan merancang sistem optimalisasi agar dapat memanfaatkan *flow* dan *pressure discharge Brine Blowdown Pump* untuk menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk pemakaian sendiri serta nilai tambah dalam meraih Proper emas pada perusahaan.

**Pengambilan Data**

Pengambilan data aktual diperlukan data dari *nameplate* motor dan pompa *brine blowdown*, serta pengambilan data arus dari motor *brine blowdown* untuk mengetahui berapa beban dari motor *brine blowdown* saat desal beroperasi minimal sampai maksimal.

**Spesifikasi Motor Brine Blowdown**

Dalam pengambilan data perlu melihat *nameplate* dari motor *brine blowdown* untuk mengetahui kapasitas dan spesifikasi dari motor *brine blowdown*. *Nameplate* pada umumnya dipasang oleh pabrikan sesuai spesifikasi dari barang yang diproduksi serta standar yang digunakan dalam pengoperasian. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi motor *brine blowdown*.

Tabel 1. Spesifikasi Motor *Brine Blowdown*

SPESIFIKASI MOTOR BRINE BLOWDOWN			
Type	MLA6207B	Frame	200 L
Output	30 KW	Rating	CONT.
Voltage	380 Volt	Ampere	58 A
Frequency	50 Hz	rpm	975
pole	6	insulation Class	F
power factor	0,8	connection	delta
IP	55	year production	1992

Gambar 1 menunjukkan foto fisik dari motor *brine blowdown*. Dimana pada saat foto ini di ambil, sedang dilakukan pemeliharaan pada motor dan pompa *brine blowdown*.



Gambar 1. Foto fisik Motor *Brine Blowdown*

**Spesifikasi Pompa Brine Blowdown**

Dari tabel 2 dapat diketahui kapasitas pompa *brine blowdown* adalah 368 m<sup>3</sup>/H dengan *total head* 20 meter. Pompa *brine blowdown* adalah jenis pompa *Horizontal Split Case*. Pompa ini adalah salah satu jenis pompa *flow*, dimana pompa ini mempunyai *pressure* rendah namun dengan kapasitas *flow* yang besar.

Tabel 2. Spesifikasi *Brine Blowdown Pump*

Spesifikasi Brine Blowdown Pump			
Merk	TORISHIMA PUMP	Total Head	20 m
Item No.	P1-P-01	Capacity	368m <sup>3</sup> /H
Type & size	CDM 300 x 200	Speed	980 rpm
Product No.	P752118	Driver	30 kW
No.	2-1	Belevary Time	Mar. 1993

Dari tabel 2 dapat dilihat secara jelas spesifikasi dari pompa *brine blowdown*, dimana dari spesifikasi

yang dikeluarkan oleh pabrikan mencantumkan nama pabrikan, tipe, kapasitas, *flow* sampai nilai besaran daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa ini.

## II. PERHITUNGAN DESAIN PLTMH

Dari pengambilan data awal, dapat diolah menggunakan rumus-rumus yang ada untuk memperoleh hasil dan desain PLTMH yang optimal.

### Menghitung potensi PLTMH

Untuk mengetahui potensi pembuatan PLTMH memanfaatkan *discharge* pompa *brine blowdown*. Dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$P_h = Q \cdot p \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Dimana,

- $P_h$  : Daya Hidraulik
- $Q$  : Debit Air (Maksimal Debit Pompa 368m<sup>3</sup>/h → 1,022m<sup>3</sup>/s)
- $p$  : Masa Jenis Air (1000 Kg/m<sup>3</sup>)
- $g$  : Gaya Gravitasi (9,8 M/S)
- $h$  : Ketinggian

### Rumus diameter luar

Berdasarkan rumus (2), dapat digunakan untuk mendapatkan nilai untuk menentukan diameter luar dan lebar sudu turbin.

$$L \times D = \frac{2,627 \times Q}{\sqrt{H}} \quad (2)$$

Dimana,

- L: Lebar sudu turbin (m)
- $D_1$  : Diameter turbin luar (m)
- $D_2$  : Diameter turbin dalam (m)
- H : Ketinggian (m)
- Q : Debit air (Kg/m<sup>3</sup>)

### Menentukan kecepatan maximal runner turbin

Untuk menentukan kecepatan *maximal* dari *runner* turbin, rumus (3) dapat di gunakan untuk menentukan kecepatan *maximum* dari *runner* turbin sesuai dengan hasil perhitungan diameter luar runner ( $D_1$ ), hasil perhitungan dari rumus (2).

$$n = \left( \frac{39,81}{D_1} \right) \sqrt{H} \quad (3)$$

Dimana,

- $n$  : Kecepatan *maximal* runner turbin (*rpm*)
- $D_1$  : Diameter luar *runner* (m)
- H : Ketinggian air (m)

### Menentukan jarak antara sudu

Untuk menentukan jarak antar sudu yang efektif dalam pembuatan/perancangan turbin air, dapat dengan mengaplikasikan rumus (5) sehingga diperoleh jarak sudu yang optimal. Namun sebelum menentukan jarak antar sudu, perlu di hitung terlebih dahulu untuk ketebalan sudu turbin, dengan menggunakan rumus (4).

$$S_1 = k \cdot D_1 \quad (4)$$

Dimana,

- $S_1$ : Ketebalan sudu turbin (*ft*)
- $k$  : Konstanta (0,087)
- $D_1$ : Diameter luar runner (m)

Setelah mendapatkan hasil perhitungan untuk mentukan ketebalan turbin, nilai ketebalan turbin akan digunakan pada rumus (5) untuk mendapatkan hasil perhitungan jarak antar sudu yang optimal.

$$t = \frac{S_1}{\sin \beta} \quad (5)$$

Dimana,

- $t$ : Jarak antar sudu (*ft*)
- $S_1$ : Ketebalan turbin (*ft*)

Dari rumus (5) terdapat nilai  $\beta$ , dimana dalam menentukan nilai ini, karena menggunakan desain turbin pleton, nilai  $\beta$  pada umumnya menggunakan nilai 30°.

### Menentukan ketebalan semburan/ lebar nozzel

Desain turbin yang digunakan adalah desain turbin pleton, pada bagian turbin, terdapat *nozzel* yang berfungsi untuk mengarahkan air langsung membentur sudu turbin, serta sekaligus menambah tekanan air akibat penyempitan *discharge* pada *nozzel*. Untuk menentukan ketebalan semburan/ lebar *nozzel* dapat menggunakan rumus (6).

$$S = 0,22 \frac{Q}{t \sqrt{H}} \quad (6)$$

Dimana,

- S: Ketebalan semburan (m)
- $t$ : Jarak antar sudu (*ft*)
- H: Ketinggian air (m)

Dari rumus (6) terdapat nilai 0,22. Dimana nilai tersebut didapat dari persentase (%) penyempitan lubang *discharge nozzel*. Sehingga desain lubang *discharge nozzel* yang di tentukan adalah 22% dari diameter *nozzel*.

### Menentukan jari-jari kelengkungan sudu

Rumus (7) dapat digunakan untuk menentukan jari-jari kelengkungan sudu turbin, lengkungan turbin ini berfungsi untuk menangkap dan mengoptimalkan benturan fluida dari *discharge nozzel*.

$$\rho = 0,163 \times D_1 \quad (7)$$

Dimana,

- $\rho$  : Jari-jari kelengkungan sudu(m)
- $D_1$ : Diameter luar runner (m)

### Menentukan jumlah sudu turbin

Dari perhitungan diameter turbin luar (2) serta perhitungan jarak antar sudu (5) dapat digunakan untuk menghitung atau menentukan jumlah sudu turbin yang harus dipasang, sesuai dengan rumus atau persamaan (8).

$$n = \frac{\pi D_1}{t} \quad (8)$$

Dimana,

- $n$  : Jumlah sudu turbin
- $D_1$  : Diameter turbin luar (m)
- $t$  : Jarak antar sudu (m)

**Menentukan lebar sudu**

Setelah menentukan diameter luar turbin (2), untuk menentukan lebar sudu turbin, dapat dihitung dengan persamaan (9).

$$\alpha = 0,17 \times D_1 \quad (9)$$

Dimana,  
 $\alpha$  : lebar sudu turbin (inch)

**Menentukan jarak pancaran dari pusat poros**

Dengan menentukan jarak pancaran dari poros turbin yang optimal, bertujuan untuk mengatur posisi jarak antara *nozzel* dengan pusat poros turbin. Hal ini dapat dihitung dengan persamaan (10).

$$y_1 = (0,1986 - 0,945 k) D_1 \quad (10)$$

Dimana,  
 $y_1$ : jarak pancaran (m)  
k: konstanta (0,087)

**Menentukan jarak pancaran dari tepi dalam runner**

Untuk menentukan jarak tersebut dapat menggunakan rumus atau persamaan (11).

$$y_2 = (0,1314 - 0,945 k) D_1 \quad (11)$$

Dimana,  
 $y_2$ : Jarak pancaran dari tepi dalam *runner* (m)

**Daya Hidrolis**

Daya hidrolis adalah daya yang akan dihasilkan oleh pompa *brine blowdown*, yang akan dimanfaatkan untuk memutar turbin dan menghasilkan energi listrik. Daya hidrolis dapat di hitung dengan menggunakan persamaan (12) serta data awal dengan melihat nameplate pompa sesuai tabel 2.

$$P_h = Q \times g \times H \times \eta_t \quad (12)$$

Dimana,  
 $P_h$ : Daya Hidrolis (kW)  
Q: Debit air (Kg/m<sup>3</sup>)  
g : Gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
H: total head pompa (m)  
 $\eta_t$  : efisiensi (0,8)

**Menentukan desain transmisi mekanik (kopling)**

Pada sistem transmisi ini menggunakan *V-belt* dengan komponen pendukung lainnya seperti *pulley* dan juga bantalan. Alasan mengapa tidak menggunakan selain transmisi *V-belt* adalah sebagai berikut:

1. Transmisi langsung digunakan saat putaran turbin harus sama atau hampir sama dengan putaran generator.
2. Transmisi *flat belt* digunakan pada sistem transmisi daya besar.
3. Transmisi *gearbox* harganya mahal, spesifikasinya sulit, alignment dan perawatan sulit.

Pada sistem transmisi *pulley* dan *V-belt* berlaku persamaan (13). dimana rasio dari putaran turbin

akan di tingkatkan, sehingga mendapatkan putaran nominal generator yang akan dipasang.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{r_2}{r_1} \quad (13)$$

Dimana  
 $n_1$ : Putaran Turbin air (rpm)  
 $n_2$ : Putaran Generator (rpm)  
 $r_1$ : Jari-jari pulley Turbin air (m)  
 $r_2$ : Jari-jari pulley Generator (m)

**Kecepatan Debit Air**

Kecepatan debit air yang di hasilkan oleh pompa *brine blowdown* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (14). tujuan dari mengetahui kecepatan debit air adalah untuk mempermudah dalam menghitung *output* yang akan dihasilkan generator serta menentukan kapasitas generator yang akan di pasang. Adapun nilai yang digunakan adalah berdasarkan Tabel 2.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (14)$$

Dimana,  
V: Kecepatan debit air (m/s)  
Q: Debit air (Kg/m<sup>3</sup>)  
A: Luas penampang pipa (m<sup>2</sup>)

**Menghitung potensi PLTMH**

Untuk mengetahui potensi pembuatan PLTMH memanfaatkan *discharge* pompa *brine blowdown*. Dapat dihitung dengan rumus atau persamaan (1).

$$P = Q \cdot p \cdot g \cdot H$$

Dimana,  
P : Daya yang di bangkitkan (kW)  
Q : Debit Air (Maksimal Debit Pompa 368m<sup>3</sup>/h → 1,022m<sup>3</sup>/s)  
p : Masa Jenis Air (1000 Kg/m<sup>3</sup>)  
g : Gaya Gravitasi (9,8 M/S)  
H : Ketinggian

Sehingga didapatkan P = 10 kW, dengan asumsi debit maksimal pompa, potensi PLTMH adalah sebesar 10 kW. Dalam pemilihan generator yang akan digunakan adalah dengan kapasitas 10 kW.

**Menghitung diameter luar (D<sub>1</sub>) turbin dan lebar sudu turbin**

Berdasarkan rumus, didapatkan perhitungan sebagai berikut untuk menentukan diameter luar dan lebar sudu turbin. Dengan estimasi minimal (Q) debit air 0,03 m<sup>3</sup>/s sesuai dengan persamaan (2).

$$L \times D = \frac{2,627 \times Q}{\sqrt{H}}$$

$$L \times D = \frac{2,627 \times 0,03}{\sqrt{10}}$$

$$L \times D = 0,0249 \text{ m}^2$$

Desain lebar sudu dan diameter turbin pada perancangan penelitian ini dipilih:  
lebar sudu turbin (L) = 0.08 m = 8 cm  
diameter turbin luar (D<sub>1</sub>) = 0.3 m = 30 cm

$$\text{Diameter turbin dalam } (D_2) = \frac{2}{3} D_1$$

$$(D_2) = \frac{2}{3} 30 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

**Menentukan kecepatan maximal runner turbin sesuai dengan persamaan (3)**

$$N = \left( \frac{39,81}{D_1} \right) \sqrt{H}$$

$$N = \left( \frac{39,81}{0,3} \right) \sqrt{10} = 419,63 \text{ rpm}$$

**Menentukan jarak antara sudu sesuai dengan persamaan (4) dan (5)**

Ketebalan sudu turbin ( $S_1$ ) sesuai persamaan (4)

$$S_1 = k D_1 = 0,087 \times 0,8202 \text{ (ft)}$$

$$S_1 = 0,0713 \text{ ft} = 2,174 \text{ cm}$$

Jarak antara sudu ( $t$ ) sesuai dengan persamaan (5)

$$t = \frac{S_1}{\sin \beta} = \frac{0,0713}{\sin 30} = 0,1426 \text{ ft} = 4,346 \text{ cm}$$

**nozzel dengan menggunakan persamaan (6)**

$$S = 0,22 \frac{Q}{t \sqrt{H}}$$

$$S = 0,22 \frac{0,0137}{0,03925 \sqrt{10}} = 0,024 \text{ m} = 24 \text{ mm}$$

**Menentukan jari-jari kelengkungan sudu (7)**

$$\rho = 0,163 \times D_1$$

$$\rho = 0,163 \times 0,3 = 0,0489 \text{ m} = 48,9 \text{ mm}$$

**Menentukan jumlah sudu turbin (8)**

$$n = \frac{\pi D_1}{t}$$

$$n = \frac{3,14 \times 30}{4,346} = 21,6 = 21 \text{ buah}$$

**Menentukan lebar sudu (9)**

$$\alpha = 0,17 \times D_1 \text{ (inch)}$$

$$\alpha = 0,17 \times 11,81 = 2,0077 \text{ inch} = 50 \text{ mm}$$

**Menentukan jarak pancaran dari pusat poros (10)**

Dengan  $k = 0,087$  dan  $D_1 = 11,81 \text{ inch}$

$$y_1 = (0,1986 - 0,945 k) D_1$$

$$y_1 = (0,1986 - 0,945 \times 0,087) 11,81 = 1,374 \text{ inch} = 3,489 \text{ cm}$$

**Menentukan jarak pancaran dari tepi dalam runner (11)**

$$y_2 = (0,1314 - 0,945 k) D_1$$

$$y_2 = (0,1314 - 0,945 \times 0,087) 11,81 = 0,5809 \text{ inch} = 1,475 \text{ cm}$$

**Daya Hidrolis (12)**

$$P_h = Q \times g \times H \times \eta_r$$

$$P_h = 0,03 \times 9,81 \times 10 \times 0,8$$

$$P_h = 2,35 \text{ kW}$$

**Menentukan desain transmisi mekanik (kopling)**

Pada penelitian ini desain transmisi mekanik menggunakan sistem transmisi tidak langsung karena daya yang dihasilkan di bawah 20 kW, yaitu 1 kW dan putaran turbin lebih kecil atau berbeda dengan putaran generator, maka poros turbin dan generator menggunakan sistem transmisi sabuk dengan bantuan komponen pendukung seperti pulley.

Pada sistem transmisi pulley dan V-belt berlaku persamaan (13).

Dimana,

putaran Turbin air,  $n_1 = 412,63 \text{ (rpm)}$

Putaran Generator,  $n_2 = 1500 \text{ (rpm)}$

Jari-jari pulley Turbin air,  $r_1 = 0,2 \text{ (m)}$

Jari-jari pulley Generator,  $r_2 = ?$

$$\frac{412,63}{1500} = \frac{r_2}{0,2}, \text{ sehingga nilai } r_2 = 0,05 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

**Kecepatan Debit Air (3.14)**

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,03}{24 \times 200}$$

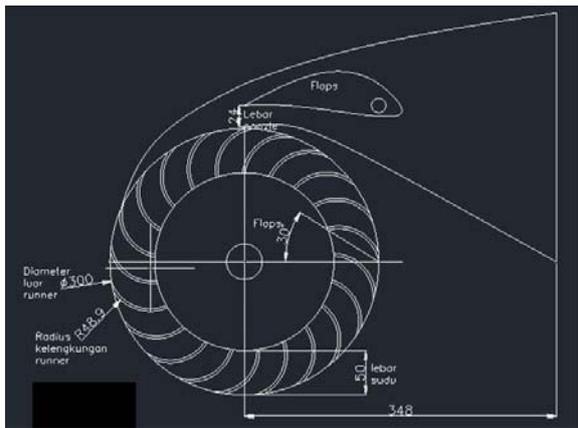
$$V = 6,25 \text{ m/s}$$

Dari perhitungan diatas, dapat kita masukan kedalam sebuah tabel untuk mempermudah dalam merangkum hasil perhitungan seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan

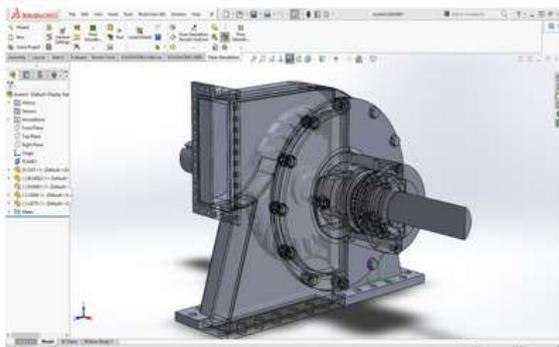
No	Parameter	Nilai
1	Diameter Penstock (cm)	4
2	Diameter luar turbin (cm)	30
3	Diameter turbin dalam runner turbin (cm)	20
4	Lebar sudu turbin (cm)	8
5	Kecepatan maksimal runner turbin (rpm)	419,63
6	Ketebalan sudu (cm)	2,174
7	Jarak antar sudu turbin (cm)	4,346
8	Ketebalan semburan/lebar nozzel (cm)	2,129
9	Jari-jari kelengkungan sudu (cm)	4,89
10	Jumlah sudu turbin	21
11	Lebar keliling radial (cm)	5,099
12	Jarak pancaran dari pusat poros (cm)	3,489
13	Jarak pancaran dari tepi runner (cm)	1,475
14	Jari-jari puli generator (cm)	3
15	Daya Hidrolis (kW)	2,35

Data perhitungan pada tabel 3 dapat digunakan untuk mendesain turbin PLTMH agar mendapatkan hasil yang optimal. Pada gambar 2 menunjukkan hasil perancangan dari turbin PLTMH, dimana jenis turbin yang digunakan adalah jenis turbin pelton, yang biasa digunakan untuk PLTMH.



Gambar 2. Desain Turbin PLTMH

Dari gambar 2 dan tabel 3 dapat kita gunakan untuk merancang turbin PLTMH secara 3 dimensi dengan menggunakan aplikasi *Solid Works*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3 Tujuan dari menggunakan aplikasi ini adalah untuk membuat desain secara 3 dimensi agar mempermudah dalam pembuatan turbin PLTMH.



Gambar 3. Desain Turbin PLTMH dengan aplikasi *Solid Works*

Gambar 3 kita dapat melihat lebih detail rancangan dari turbin PLTMH serta lebih mempermudah sebagai acuan dalam pembuatan turbin PLTMH. Untuk lebih detail bagian-bagian PLTMH selain turbin juga terdapat beberapa aksesoris yang menunjang turbine PLTMH, dengan aplikasi ini juga dijabarkan lebih detail aksesoris atau bagian keseluruhan turbin PLTMH, seperti pada gambar 4.



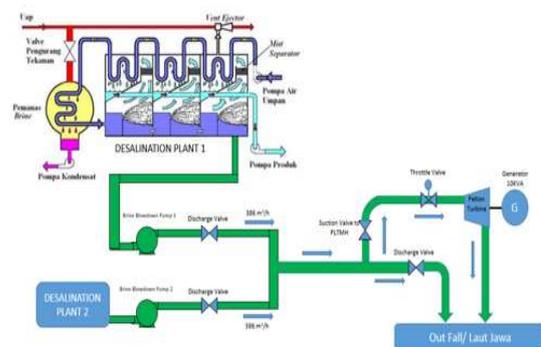
Gambar 4. Bagian dan aksesoris dari turbin PLTMH

Dari gambar 4. dapat dilihat untuk bagian-bagian turbin PLTMH yang akan dibuat lebih mendetail, sehingga meminimalisir kesalahan dalam pembuatan. Dari gambar tersebut terdapat beberapa bagian seperti turbin, *cover* turbin, poros, *housing* turbinn, *bearing*, *nok seal* dan beberapa baut.

### III. PEMBUATAN PLTMH

#### Pembuatan Skema/ *Layout* PLTMH

Pembuatan skema/*layout* PLTMH diperlukan untuk menentukan desain pemanfaatan *discharge* *Blowdown Pump* untuk energi PLTMH. Dengan adanya *layout* lebih mempermudah dalam perancangan dan pengoperasian PLTMH agar lebih optimal dan tidak mengganggu operasi dari *Desalination Plant*. Gambar 5 menunjukkan skema/*layout* dari PLTMH yang memanfaatkan *discharge* pompa *Brine Blowdown* dari *Desalination Plant*.



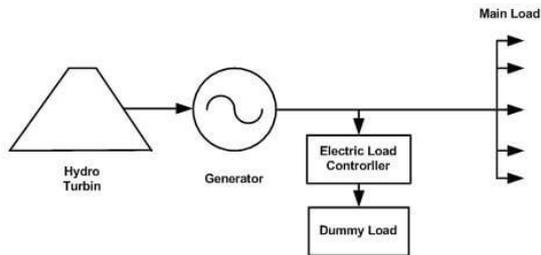
Gambar 5. Skema/*Layout* PLTMH

Gambar 5 dapat dilihat skema dari PLTMH. Dimana pada *Desalination Plant* terdapat 2 pompa *Brine Blowdown*, dimana masing-masing plant mempunyai 1 pompa *brine blowdown* yang memompakan air laut yang tidak terkondensasi langsung ke laut. *Discharge* pompa *brine blowdown* dimanfaatkan untuk memutar turbin PLTMH sebelum di buang ke laut. Namun untuk mengatur jumlah *flow* yang masuk ke turbin PLTMH dibuatkan jalur *by-pass* yang berfungsi mengatur *flow* PLTMH

#### Pembuatan *Dummy Load*

PLTMH tidak memanfaatkan *governor* untuk mengendalikan keluaran dayanya. Hal ini disebabkan oleh alasan ekonomis dimana harga *governor* yang sangat mahal bahkan lebih mahal dari harga turbin untuk keperluan mikrohidro (Hearn dkk, 1992). Untuk menjaga agar tegangan dan frekuensi keluaran PLTMh tetap baik dan tidak membahayakan generator dan beban/peralatan yang terhubung kepadanya, diperlukan sebuah sistem *dummy load* CETC (2004), Hearn dkk. (1992). Dengan kata lain, peran pengatur beban dalam PLTMh sangat penting mengingat peranti inilah yang bertugas menjamin operasi pembangkit

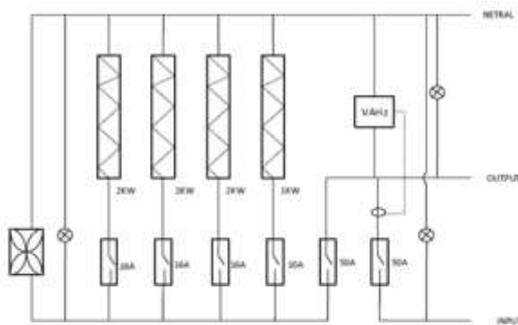
listrik dan beban yang terhubung kepadanya berada dalam kondisi aman. Dengan *dummy load* ini, generator seolah-olah melihat beban yang terhubung kepadanya berada pada tingkatan konstan meskipun sesungguhnya berubah-ubah. Interkoneksi antara PLTMH, beban, dan peranti pengatur beban (*dummy load*) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema *Dummy Load* pada PLTMH

Pada Gambar 6 dapat dilihat skema sederhana dari *dummy load* pada PLTMH dimana *Dummy load* di paralel dengan beban utama. Dengan bantuan *electric load controller* untuk mengatur pembebanan, menjaga kualitas tegangan dan frekuensi pada beban. Prinsip kerja *dummy load* adalah menjaga beban tetap stabil dan menjaga kualitas tegangan dan frekuensi. Ketika beban minim, maka *dummy load* akan menambah beban untuk menghindari generator *over speed* dan kelebihan tegangan, begitu juga sebaliknya ketika beban tinggi, *dummy load* akan mengurangi beban *dummy* untuk menghindari generator *under speed* dan *under voltage*.

Pembuatan skema dan *single line diagram dummy load* pada PLTMH *brine blowdown* dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. *Single Line Diagram Dummy Load*

Dari gambar 7 dapat dilihat *single line diagram dummy load*. Pada gambar tersebut adalah *dummy load* dengan kapasitas 7 kW. Kapasitas *dummy load* harus menyamakan dengan beban atau *output* dari generator PLTMH. Sehingga ketika PLTMH tidak mendapatkan beban sama sekali, daya *output* dari PLTMH dialihkan ke *dummy load*. Gambar 7 menunjukkan untuk proses pembebanan *dummy load* masih manual dengan MCB (*Mini Circuit Breaker*). Dengan acuan *Volt meter* dan *Frequensi meter* yang terpasang.

Hasil perancangan pada gambar 7. selanjutnya di gunakan sebagai acuan dalam membuat *dummy load* yang akan digunakan sebagai beban pengganti PLTMH. Pemasangan *dummy load* digabungkan dengan PHB (Panel Hubung Bagi) seperti pada gambar 8.



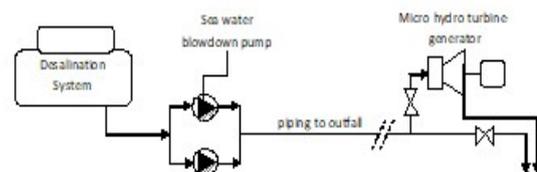
Gambar 8. Panel *Dummy Load*

Gambar 8 menunjukkan bagian-bagian pada panel *dummy load*. Dimana pada terdapat beberapa komponen, diantaranya:

1. *Element* pemanas 2 kW.
2. *Element* pemanas 2 kW.
3. *Element* pemanas 2 kW.
4. *Element* pemanas 1 kW.
5. MCB (*Mini Circuit Breaker*), yang berfungsi untuk memasukan dan melepas *dummy load/ element* pemanas, sekaligus sebagai proteksi arus lebih.
6. Kipas pendingin, tujuan pemasangan kipas pendingin adalah untuk mendinginkan panel *dummy load* saat beroperasi.
7. CT (*Current Transformer*), digunakan untuk mengukur arus *dummy load*.
8. Terminal Terminasi.

### PLTMH Brine Blowdown

Setelah perhitungan dan mendesain dilanjutkan dengan mendesain skema PLTMH yang memanfaatkan *discharge pompa brine blowdown* dari *desalination plant*, agar memaksimalkan kinerja PLTMH tanpa mengganggu kinerja atau operasi dari *Desalination Plant*. Desain PLTMH dapat dilihat pada gambar 9.

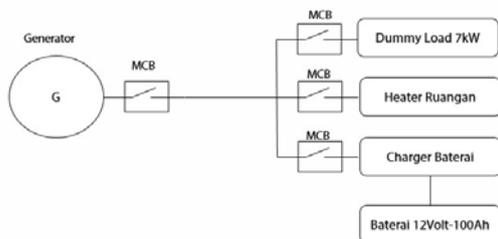


Gambar 9. Skema PLTMH

Pada gambar 9 dapat dilihat skema dari PLTMH *brine blowdown*. Dimana PLTMH ini mempunyai sumber energi dari 2 pompa *brine blowdown* yang dapat beroperasi 1 ataupun 2 sekaligus. Dimana *discharge* dari pompa *brine blowdown* ini akan dimanfaatkan untuk memutar turbin PLTMH yang terkopel dengan generator untuk menghasilkan energi listrik. Namun untuk menjaga debit air tidak terlalu besar ke turbin PLTMH maka dibuatkan katup *by-pass* yang membagi *pressure* dan debit air yang nantinya akan langsung dibuang ke laut, ketika PLTMH sedang dalam *maintenance*, dapat di isolasi dengan menutup *stop valve* ke arah PLTMH dan membuka *by-pass* sehingga tidak mengganggu kinerja atau operasi dari *desalination plant*.

**Single Line Diagram beban PLTMH**

*Single line* diagram beban dirancang untuk mengetahui beban yang akan dipikul oleh PLTMH serta mengetahui kebutuhan beban sesuai dengan *output* dari PLTMH. *Single line* diagram beban PLTMH dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. *Single Line* diagram beban PLTMH

Pada gambar 10 dapat dilihat untuk output generator digunakan membebani *Dummy load*, *heater* ruangan dan untuk *charger* baterai 12 volt-100Ah. Dimana beban-beban ini mempunyai peranan masing-masing, diantaranya *dummy load* yang berfungsi untuk memberikan beban awal serta menjaga nilai tegangan dan frekuensi saat berbeban. Sedangkan *heater* ruangan berfungsi untuk menjaga kelembapan pada ruangan PLTMH untuk menghindari kondensasi dan korosif, dan baterai 12 VDC-100Ah yang digunakan untuk lampu penerangan jalan.

**Pemilihan Generator PLTMH**

Setelah melakukan perhitungan, desain dan pemesanan part PLTMH, dilakukan pemasangan/instal PLTMH pada PLTGU Tanjung Priok Blok 1 & 2. Dari persamaan (1) dan mendapatka hasil perhitungan daya yang bisa dibangkitkan PLTMH adalah 10 kW. Sehingga acuan tersebut, digunakan untuk pemilihan dan pemesanan generator 10 kW. Seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Generator PLTMH kapasitas 10kW

Gambar 11 menunjukkan bentuk fisik generator PLTMH dengan kapasitas 10kW. Dimana generator ini adalah jenis generator 1 fasa, dengan spesifikasi seperti pada tabel 4.

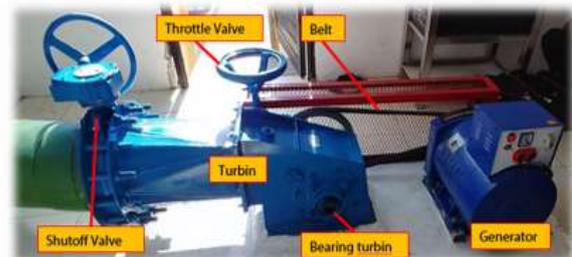
Tabel 4. Spesifikasi Generator PLTMH

AC SYNCHRONOUS GENERATOR			
Merk	Matari	No	18062078
Type	ST-10	Pf	1
Daya	10 kW	Insulation	B
Tegangan	230 VAC	IP	21
Arus	43,5 A	Rate	S1
Frekuensi	50 Hz	Date	2018
rpm	1500 rpm		
Phase	1		
Excitation			
Voltage	80 V	Ampere	4,1 A

Tabel 4 menunjukkan spesifikasi lengkap dari generator PLTMH yang akan digunakan. Dimana beberapa kriteria sudah dapat diterima sesuai dengan perancangan mulai dari daya *output* yang sesuai dengan perhitungan dari persamaan (1) serta putaran nominal generator yang dapat dipenuhi dengan perhitungan *ratio puley* dari persamaan (13).

**Pemasangan PLTMH**

Dari perancangan dilakukan pemasangan peralatan-peralatan utama dari PLTMH, seperti Generator dan Katup-katup. Dengan hasil perancangan dari gambar 9 menghasilkan bentuk fisik seperti gambar 12.



Gambar 12. PLTMH *Brine Blowdown*

Gambar 12 menunjukkan foto fisik dari PLTMH *brine blowdown*. Dimana terdapat beberapa bagian pada PLTMH. Diantaranya:

1. *Shutoff valve* yang berfungsi untuk membuka atau menutup aliran air ke turbin PLTMH.
2. *Throttle Valve* berfungsi mengatur dan mengarahkan fluida ke turbin PLTMH.
3. Turbin berfungsi untuk mengkonversi energi kinetik menjadi energi putar.
4. *Belt* berfungsi untuk menghubungkan poros turbin dengan poros generator.
5. *Bearing* Turbin berfungsi untuk menjaga posisi turbin tetap pada posisi dan mengurangi gesekan saat poros turbin berputar.
6. Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

**IV. PENGUJIAN DAN ANALISA PLTMH**

Dari perancangan dan pemasangan PLTMH dilanjutkan dengan *commisioning* dan performa test, untuk mengetahui kinerja PLTMH yang nantinya dapat memberikan informasi dan evaluasi yang nantinya data tersebut dapat dimanfaatkan untuk menyempurnakan PLTMH ini kedepan. Adapun beberapa poin saat *commisioning* dan *performa test* yang diperhatikan, diantaranya:

1. Daya *output* generator (Watt)
2. Putaran generator (Rpm)
3. Tegangan (volt)
4. Frekuensi (Hz)

Ke empat poin tersebut dapat menjadi data awal yang dapat digunakan untuk mengetahui PLTMH ini layak untuk digunakan. Adapun beberapa *tools* yang digunakan untuk membantu memperoleh data tersebut adalah:

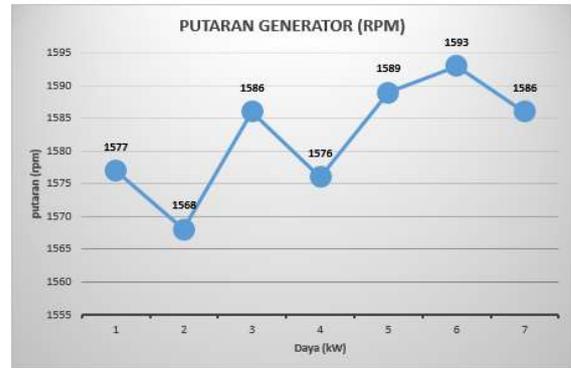
1. *Watt meter* untuk mengetahui daya dari PLTMH.
2. *Taco meter* untuk mengetahui putaran (rpm) dari generator.
3. *Volt meter* untuk mengetahui nilai tegangan dari PLTMH.
4. Frekuensi meter untuk mengetahui nilai frekuensi *output* PLTMH.

Tabel 5 menunjukkan nilai pengukuran putaran (rpm) terhadap daya (kW) *output* dari PLTMH. Dimana untuk daya maksimal yang dapat di ukur adalah 7 kW.

Tabel 5. Pengukuran putaran dan daya PLTMH

NO	PUTARAN GENERATOR (RPM)	DAYA (kW)	KETERANGAN
1	1577	1	
2	1568	2	
3	1586	3	
4	1576	4	Vibrasi
5	1589	5	Vibrasi
6	1593	6	Vibrasi
7	1586	7	vibrasi

Dari tabel 5, dapat diperoleh data saat beban berada pada daya 4 kW, mulai terjadi getaran/vibrasi pada PLTMH serta pondasi PLTMH. Tabel 5 diubah menjadi grafik seperti gambar 13 untuk mempermudah melihat hasil pengujian putaran terhadap daya *output* dari PLTMH.

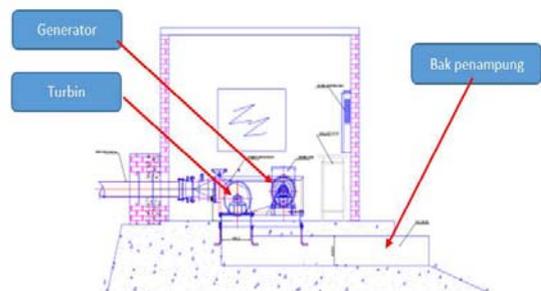


Gambar 13. Grafik test putaran (rpm) PLTMH

Pada saat daya mendekati 4 kW dan dengan putaran generator 1576 rpm, terjadi vibrasi yang tinggi pada bagian pondasi generator dan bangunan PLTMH. Adapun beberapa kemungkinan penyebab terjadinya vibrasi tinggi adalah:

1. Putaran kritis dari generator.
2. Desain *line output* air PLTMH yang menggunakan bak sebelum dibuang ke laut, sehingga ketika air dengan jumlah banyak membentur bak penampung yang mengakibatkan vibrasi tinggi tersebut.

Dari kedua kemungkinan diatas, indikasi terbesar terjadinya vibrasi saat menyentuh daya 4 kW adalah poin no. 2 yaitu dari desain *line output* air PLTMH. Gambar 14 menunjukkan desain dari bak PLTMH yang tepat berada dibawah PLTMH. Tujuan awal dibuatkan bak penampungan sebelum dibuang kelaut adalah untuk meredam kapitasi dan pressure output dari PLTMH sehingga aman saat dibuang ke laut dan tidak merusak area bawah PLTMH serta tidak menghambat putaran turbin.



Gambar 14. Desain PLTMH tampak samping

Dari gambar 14 tersebut dapat dilihat aliran air setelah memutar turbin, langsung membentur bak

penampungan. Ketika menaikkan daya, secara bersamaan dengan memperbesar bukaan katup ke arah PLTMH. Benturan antara air dengan pondasi PLTMH kemungkinan mengakibatkan terjadi vibrasi atau getaran pada gedung PLTMH. Sehingga untuk kedepannya desain ini perlu dikaji kembali sehingga tidak menimbulkan vibrasi saat daya generator di atas 4 kW.

Setelah melakukan pengukuran putaran terhadap daya *output* dilanjutkan dengan performa test untuk mengetahui beberapa *variable* umum dalam tenaga listrik seperti:

1. Tegangan
2. Arus
3. Frekuensi
4. Beban *dummy load*

Adapun beberapa tujuan dari dilakukanya performa test adalah:

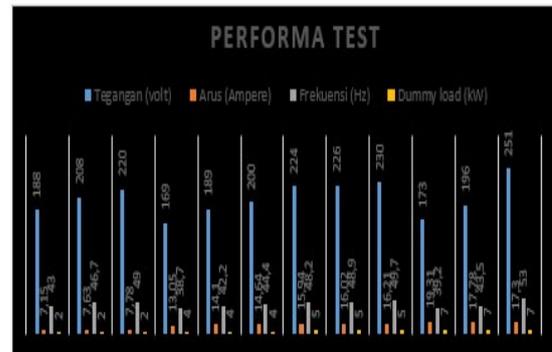
1. Mengetahui beban optimal operasi PLTMH.
2. Mengetahui beban maksimal dari PLTMH.
3. Mengetahui efisiensi maksimal dari PLTMH.

Hasil *performa test* dapat dilihat pada tabel 6 dimana tegangan, arus, frekuensi dan beban (*dummy load*). Dimana nantinya dari hasil tersebut akan digunakan untuk analisa untuk ditarik beberapa kesimpulan PLTMH *brine blowdown*.

Tabel 6. Performa Test PLTMH

NO	Tegangan (volt)	Arus (Ampere)	Frekuensi (Hz)	Dummy load (kW)
1	188	7,15	43	2
2	208	7,63	46,7	2
3	220	7,78	49	2
4	169	13,05	38,7	4
5	189	14,1	42,2	4
6	200	14,64	44,4	4
7	224	15,94	48,2	5
8	226	16,02	48,9	5
9	230	16,21	49,7	5
10	173	19,31	39,2	7
11	196	17,78	43,5	7
12	251	17,3	53	7

Dari tabel 6 dapat dilihat hasil dari performa test PLTMH dengan beberapa indikator yang di ukur, diantaranya tegangan, arus, frekuensi dan besaran *dummy load* yang digunakan. Dari hasil tersebut dapat diambil nilai ideal untuk pengoperasian PLTMH adalah pada no. 9 (biru). Dimana nilai tegangan dan frekuensi masih dalam range aman untuk disalurkan dan memenuhi kebutuhan energi listrik ke beban. Tabel 6 juga dapat digunakan untuk membuat grafik performa test untuk mempermudah melihat hasil performa test PLTMH *brine Blowdown* yang dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 15. Grafik Performa Test PLTMH

Dari tabel 6 dan gambar 15 dapat kita lihat untuk tegangan dan frekuensi dari PLTMH begitu fluktuatif, untuk dapat digunakan beban konvensional dimana regulasi dari PLN untuk sumber energi listrik memiliki syarat:

1. Tegangan 220 Volt AC (toleransi 5%)
2. Frekuensi 50Hz (toleransi 1%)
3. Sudut phase sama

Untuk beban optimal dan mendekati regulasi tegangan dan frekuensi dari PLN adalah berada pada beban 5 kW. Sehingga direkomendasikan untuk pengoperasian optimal pada beban 5kW.

*Output* tegangan dan frekuensi PLTMH yang fluktuatif dapat merusak peralatan beban AC dan generator PLTMH, karena hal tersebut untuk dapat memanfaatkan energi listrik dari PLTMH maka daya *output* dari generator digunakan untuk *recharge* baterai 12 Volt dan *heater*. Dimana *output* dari baterai adalah DC murni, sehingga lebih mudah digunakan dan dimanfaatkan untuk *supply* ke beban DC.

## V. SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan, dapat ditarik beberapa kesimpulan dari tulisan ini:

1. *Discharge Brine Blowdown Pump* mempunyai potensi daya hidrolis sebesar 10 kW.
2. PLTMH dapat dibebani dengan beban sebesar 7 kW.
3. Output PLTMH sebesar 230 VAC/49,7 Hz pada beban 5 kW.
4. Tegangan dan Frekuensi PLTMH fluktuatif saat bebban 1 kW s/d 7 kW dari 188 VAC /43 Hz s/d 251 VAC/53 Hz.
5. Vibrasi mulai terjadi saat PLTMH berbeban 4 kW dengan putaran generator 1576 rpm.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Linsey, Trevor. 2004. *Instalasi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga
- [2] Muslimin, Ir. 1979. *Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: ARMICO
- [3] Zuhail. 1980. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [4] Zuhail. 1980. *Dasar Tenaga Listrik*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- [5] Sintong, Amir Hamzah. 2017. *Desain Pembangkit Listrik Tenaga Air Kapasitas 5kW di Desa Sianbu-Riau*. Riau: Universitas Riau
- [6] Dandekar, M.M. 1991. *Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Jakarta: Universitas Indonesia
- [7] Bustamil, Abdul Multi. 2017. *Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro 1000 VA Dengan Memanfaatkan Pembuangan Air Limbah Pada Gedung Pakarti Center*. Jakarta: Institut Sains Teknologi Nasional
- [8] Tendi Rahayu, Abdul Multi. *Pengaruh Missaligment Terhadap Arus dan Getaran Motor Induksi*. Jakarta: Institut Sains Teknologi Nasional
- [9] Multi, Abdul. 2011. *Kajian Penjadwalan PLTA Pompa Dengan Metode Gradient Pada Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Institut Sains Teknologi Nasional
- [10] Hunggul Y.S.H Nugroho, M Kudeng Sallata. 1995. *Pembangkit Listrik Tenaga Micro Hydro (PLTMH)*. Yogyakarta : ANDI OFFSET
- [11] Linsey, Trevor. 2004. *Instalasi Daya Listrik*. Jakarta: Erlangga
- [12] Muslimin, Ir. 1979. *Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: ARMICO