

## Studi Potensi dan Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Bendung Simbang Kecamatan Doro Kabupaten Pekalongan

M. Fanis Abdillah\*, Gunawan, Agus Suprajitno  
Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang  
\* email: mfanis@std.unissula.ac.id

### Abstract

*The impact of greenhouse gas emissions is getting higher due to the use of fossil energy to drive power plants. Efforts to replace it is to develop renewable energy that is popular in Indonesia is micro hydro technology. This study aims to determine the potential of water energy and plant planning at Simbang Weir in Pekalongan. The method used combines water flow measurements with floating techniques and uses geographic information provided by Google Earth. The result of this research is that the water discharge is measured at 3.67 m<sup>3</sup>/s with a height of 11 meters. The turbine design uses crossflow with a potential power of 280.11 kW. The detailed engineering design is described in full in this study.*

*Keywords — PLTMH, water discharge, power potential.*

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik yang terus meningkat menuntut ketersediaan listrik yang perlu disediakan seiring pertumbuhan jumlah konsumen. Total pembangkitan listrik di Indonesia diperkirakan akan meningkat dari 122 TWh pada tahun 2003 hingga mencapai 1318 TWh pada tahun 2030, dimana sekitar 75% dari pembangkitan listrik dipenuhi oleh PLTU batubara [1]. Penggunaan batu bara sebagai energi primer menghasilkan emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>) yang berpotensi menaikkan laju pemanasan global [2].

Jawa-Bali mengalami pertumbuhan yang terus meningkat akibat konsumsi energi listrik yang tumbuh 6,4% per tahunnya. Kebutuhan pembangkit tenaga listrik dari tahun 2017 hingga tahun 2036 juga akan meningkat sebesar 6,401% tiap tahun. Diperkirakan pada tahun 2036 total kebutuhan pembangkit tenaga listrik yang harus dipenuhi adalah sebesar 83,932 GW [3]. Jawa Tengah sebagai pusat beban perlu melakukan pemetaan potensi energi primernya dengan memanfaatkan sungai, bendung, air terjun yang tersebar di setiap kabupaten. Di wilayah kabupaten Pekalongan, terdapat Bendung Simbang yang berada pada Sungai Welo di perbatasan wilayah Desa Langkap dan Desa Kalimojosari, Kecamatan Doro yang perlu diidentifikasi potensinya.

Bendung Simbang terletak pada garis lintang 7°0'14.15"S dan garis bujur 109°40'29.18"E, serta berada pada ketinggian 70 meter di atas permukaan laut. Bendung simbang sendiri merupakan bendung tetap dengan pasangan konstruksi batu kali mempunyai bentang total ± 30 meter, yang terdiri dari mercu sebelah kanan dengan panjang 10 meter, 2 (dua) pilar dan 1 (satu) pintu penguras bendung. Bendung Simbang yang mendapat air dari Sungai Welo mengalir areal sawah seluas 602 ha dengan pola tanam padi – palawija. Kajian yang dilakukan oleh Insan Pangestu (2019) bahwa potensi daya listrik yang dihasilkan bendungan Gerak Bojonegoro dengan debit sebesar 247 m<sup>3</sup>/s tinggi *headnet* 2 meter sebesar 3693 MW [4].

Pengalaman Sogen, dkk (2018) dalam perencanaan pembangunan PLTMH di Kampung Sasnek Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan Provinsi Papua Barat dengan debit air sebesar 0,65 m<sup>3</sup>/d menghasilkan daya terbangkit 10kW [5]. Studi potensi dan perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro di Sungai Guci Kabupaten Tegal menghasilkan debit air sebesar 1,005m<sup>3</sup>/d ketinggian 9,6 m dan potensi daya terbangkit sebesar 56,7 kW [6]. Hal ini

menunjukkan berbagai variasi debit dan tinggi *head* memiliki potensi energi potensial yang dapat disesuaikan dengan kapasitas pembangkit listriknya.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Pengukuran Debit Air

Pengukuran debit air akan menggunakan metode apung yang akan dilakukan di beberapa titik sungai di sekitar Bendung Simbang yang kemudian akan diambil nilai rata-ratanya. Pengukuran debit diawali dengan pemilihan titik pengukuran, karena menggunakan metode apung maka pemilihan tempat lebih baik pada aliran yang lurus, tenang serta tidak terdapat batu di daerah pengukuran. Setelah menentukan titik pengukuran maka dimulai dari mengukur luas pengukuran dengan cara mengukur lebar sungai dan mengukur kedalaman sungai [4], digunakan Persamaan (1),

$$A = I \times h \quad (1)$$

Di mana,  $A$  = luas penampang ( $m^2$ )

$I$  = lebar aliran Air (m)

$h$  = kedalaman air (m)

Pengukuran dilanjutkan dengan mengukur kecepatan aliran sungai dengan cara menentukan panjang daerah pengukuran dan waktu yang di tempuh benda apung untuk mengalir di sepanjang daerah ukur, digunakan Persamaan (2),

$$V = \frac{s}{t} \quad (2)$$

Di mana,  $V$  = kecepatan air (m/s)

$s$  = jarak botol dialirkan (m)

$t$  = waktu

Selanjutnya dari hasil luas pengukuran dan kecepatan aliran dapat dikalikan untuk mengukur debit ( $Q$ ) sungai.

$$Q = A \times V \quad (3)$$

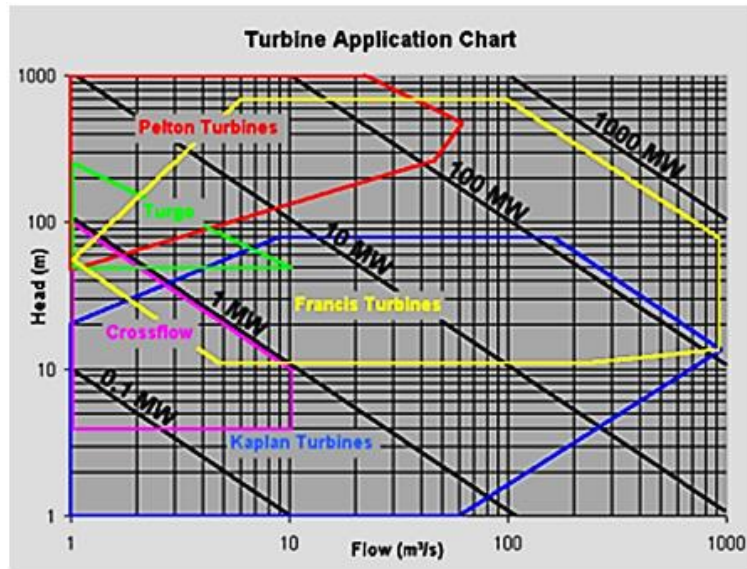
Data debit sungai yang didapatkan kemudian akan dibandingkan dengan data debit yang ada di Bendung Tapak Menjangan yang masih berada pada satu sungai yaitu Sungai Welo dan tidak terdapat percabangan sungai.

### 2.2 Pengukuran *Headnet*

Pengukuran *headnet* akan dilakukan dengan menggunakan *Google Earth* yaitu dengan cara menghitung selisih ketinggian titik awal dan titik akhir yang nantinya akan dijadikan jalur pipa pesat [4].

### 2.3 Penentuan Jenis Turbin

Penentuan jenis turbin yang digunakan ialah berdasarkan hasil debit air dan ketinggian atau *headnet* yang nantinya terukur dan dapat dijadikan acuan pemilihan jenis turbin seperti pada Gambar 2.



Gambar 1. Chart penentuan jenis turbin [7]

Pengukuran potensi daya terbangkit dapat dihitung dari data debit sungai dan data ketinggian *headnet* yang didapat kemudian digunakan untuk menghitung potensi daya air, daya turbin, daya mekanik hingga daya generator.

Daya potensi air: [5]

$$P_{air} = g \times Q \times Hn \tag{4}$$

Daya pada turbin:

$$P_{turbin} = g \times Q \times Hn \times Eff_{turbin} \tag{5}$$

$$P_{turbin} = P_{air} \times Eff_{turbin} \tag{6}$$

Daya transmisi mekanik:

$$P_{transmisi} = g \times Q \times Hn \times Eff_t \times Eff_{transmisi} \tag{7}$$

$$P_{transmisi} = P_{turbin} \times Eff_{transmisi} \tag{8}$$

Daya keluaran generator:

$$P_{generator} = g \times Q \times Hn \times Eff_t \times Eff_{tr} \times Eff_{generator} \tag{9}$$

$$P_{generator} = P_{transmisi} \times Eff_{generator} \tag{10}$$

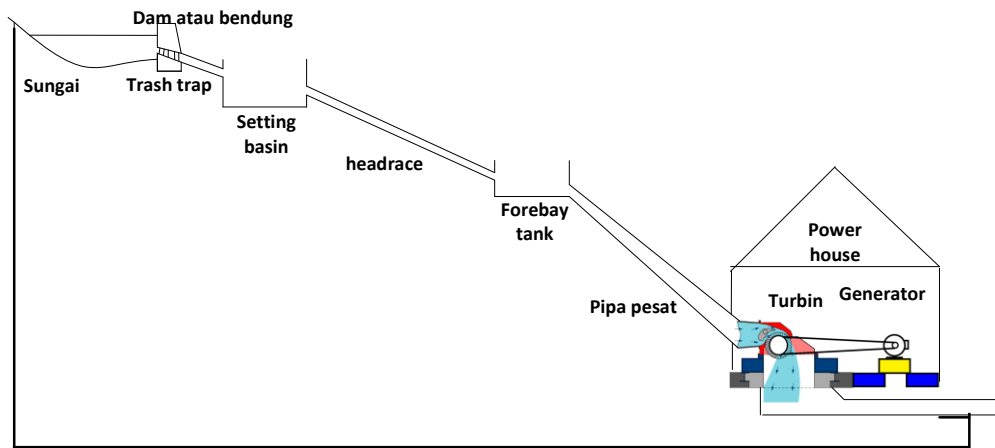
dengan,  $Eff_{turbin}$  = efisiensi turbin (0,8 - 0,95)

$Eff_{transmisi}$  = efisiensi transmisi (0,95 = v belt, 0,98 = flat belt)

$Eff_{generator}$  = efisiensi generator (0,8 - 0,95).

## 2.4 Perencanaan PLTMH

Studi awal perancangan mikro hidro dengan desain dasar komponen pembangkit seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Model PLTMH

Perencanaan dari PLTMH diantaranya ialah:

Ukuran pintu masuk air ialah harus sebesar 120 persen dari debit air yang terukur atau debit air desain PLTMH seperti pada Persamaan (11) dan (12) [8],

$$Q_{Intake} = Q \times 120\% \quad (11)$$

Dengan merencanakan tinggi pintu air maka lebar pintu air ialah:

$$Q = 0,8 \times b \times a \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,25} \quad (12)$$

Untuk ukuran dari bak pengendap atau setting basin sendiri harus berukuran 10-20 kali lipat dari debitnya, seperti pada persamaan 13 dan 14 [8],

$$V = 20 \times Q \quad (13)$$

Dari volume, kemudian bisa ditentukan ukuran panjang dan lebarnya yang kemudian dapat dicari berapa kedalaman yang perlu di buat.

$$V = p \times l \times h \quad (14)$$

Pada perencanaan PLTMH dapat direncanakan besar kecepatan pada saluran pembawa sehingga dapat di temukan luas saluran pembawa menggunakan persamaan (15) dan (16) [8],

$$A = \frac{Q}{v} \quad (15)$$

Dengan menentukan lebar saluran pembawa, maka dalam dari saluran pembawa ialah

$$A = h \times l \quad (16)$$

Untuk memastikan memenuhi kebutuhan air dalam pipa pesat maka ukuran bak penenang atau forebay dibuat lebih kecil dari bak pengendap seperti persamaan (17) dan (18) [8],

$$V = 15 \times Q \quad (17)$$

Dari volume, kemudian bisa ditentukan ukuran panjang dan lebarnya yang kemudian dapat dicari berapa kedalaman yang perlu di buat.

$$V = p \times l \times h \quad (18)$$

Untuk penentuan panjang serta ukuran penstok sendiri menggunakan persamaan (19) hingga (25) :

Panjang total penstok:

$$\text{Panjang penstok} = p \text{ penstok lurus} + p \text{ penstok miring} \quad (19)$$

$$\text{penstok miring} = \sqrt{\text{panjang lintasan}^2 + \text{tinggi penstok}^2} \quad (20)$$

Kecepatan air dalam penstok [9],

$$V_p = 0,125 \sqrt{2 \times g \times h^2} \quad (21)$$

Diameter penstok [10],

$$D = \sqrt{\frac{4Q_p}{V_p}} \quad (22)$$

Penampang penstok,

$$A_p = \frac{Q_p}{V_p} \quad (23)$$

Ketebalan minimal penstok [11],

$$t_{min} = \frac{508+D}{400} \quad (24)$$

Rugi Head dalam pipa pesat akibat gesekan air [10],

$$H_{Lfp} = 10,29 \frac{n^2 Q^2 L}{D^{5,3}} \quad (25)$$

Dengan,  $V_p$  = Kecepatan air dalam penstok (m/s)

$A_p$  = penampang penstok ( $m^2$ )

$t_{min}$  = tebal minimal penstok (mm)

$H_{Lfp}$  = Rugi head

$n$  = koefisien manning (0,009-0,014).

Perangkat yang terdapat dalam *power house* diantaranya ialah [12]:

- Turbin; penggunaan tipe atau jenis turbin bisa didasarkan pada tinggi *head* dan juga besarnya debit air.
- Generator; pemilihan besar kapasitas generator didasarkan pada perhitungan prakiraan potensi daya yang di bangkitkan.
- Peralatan kontrol; sistem kontrol pada PLTMH biasanya digunakan untuk menyeimbangkan beban dengan *output* generator yang dihasilkan, peralatan tersebut di antaranya ialah Pengaman (*Circuit Breaker*), Kontaktor Magnet (*Magnetic Contactor*), *Electronic Load Controller* (ELC), *Induction Generator Controller* (IGC), Beban ballast (*Ballast load*).

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Pengukuran Debit Air

Pengambilan data dilakukan di dua titik dan dilakukan pada akhir bulan Oktober, di mana menurut prakiraan musim BMKG wilayah Pekalongan selatan mulai memasuki awal musim hujan [11]. Kondisi air pada bulan Oktober sudah mulai mengalami kenaikan di bandingkan beberapa bulan sebelumnya tetapi tidak sebesar pada saat musim hujan sudah berjalan lama.

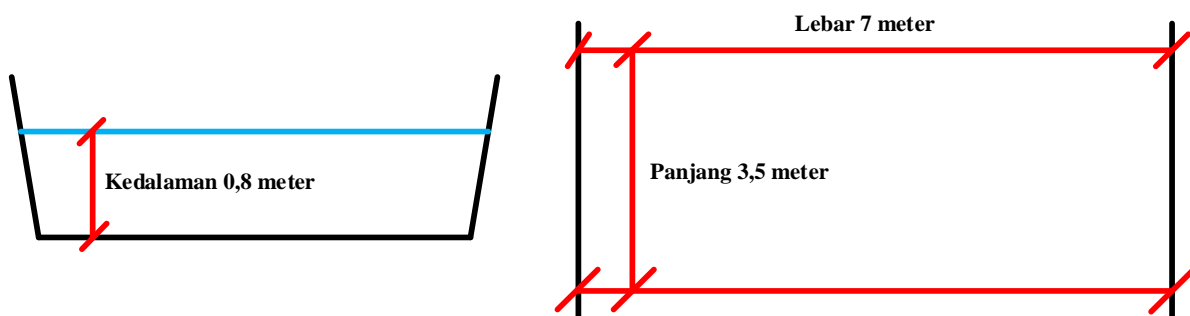
Kondisi Sungai Welo yang tidak mempunyai penampang melintang yang rata sehingga pada saat pengukuran diperlukan perlakuan yang sesuai di mana saat pengukuran kedalaman sungai dimulai dengan ujung sungai hingga ujung sungai yang lainnya yang kemudian dicari nilai rata-rata kedalaman sungainya.

##### a. Tempat Pertama

Hasil pengukuran ditunjukkan tempat pertama ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 3. Tempat pengukuran 1



Gambar 4. Ilustasi keadaan sungai 1

Tabel 1. Hasil pengukuran debit tempat pertama

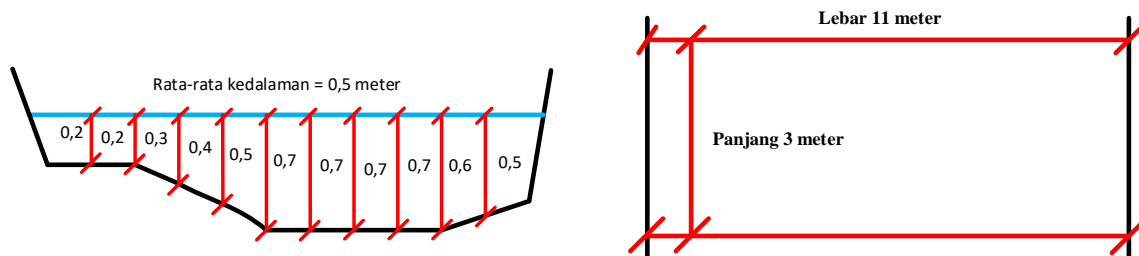
No.	Percobaan	Luas (m <sup>2</sup> )	Jarak (m)	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)	Debit Air (m <sup>3</sup> /s)
1	1	5,6	3,5	6,1	0,57	3,192
2	2	5,6	3,5	6,8	0,51	2,856
3	3	5,6	3,5	6,42	0,54	3,024
4	4	5,6	3,5	6,09	0,57	3,192
5	5	5,6	3,5	6,75	0,51	2,856
Rata Rata Debit						3,024

b. Tempat Kedua

Hasil pengukuran ditunjukkan tempat pertama ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 4. Tempat pengukuran debit 2



Gambar 6. Ilustrasi keadaan sungai 2

Tabel 2. Hasil pengukuran debit tempat kedua

No.	Percobaan	Luas (m <sup>2</sup> )	Jarak (m)	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)	Debit Air (m <sup>3</sup> /s)
1	1	5,5	3	3,56	0,84	4,62
2	2	5,5	3	3,49	0,85	4,675
3	3	5,5	3	4,14	0,72	3,96
4	4	5,5	3	4,15	0,72	3,96
5	5	5,5	3	3,75	0,8	4,4
Rata Rata Debit						4,323





Berdasarkan data di atas pengukuran yang dilakukan pada dua titik Sungai Welo tidak berbeda jauh dari data di atas dimana pada akhir bulan Oktober 2020 debit mempunyai nilai rata rata pada angka  $3,75 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### 3.2 Pengukuran *Headnet*

Hasil Pengukuran dengan menggunakan *google earth* ialah sebagai berikut, titik awal berada pada ketinggian 63 m, sedangkan untuk titik akhir berada pada ketinggian 52 meter. Jadi untuk ketinggian *headnet* yang didapat dari pengukuran menggunakan *google earth* adalah 11 meter.

### 3.3 Penentuan Jenis Turbin

Berdasarkan hasil pengukuran debit yaitu  $3,67 \text{ m}^3/\text{s}$  dan hasil pengukuran *headnet* 11 meter maka dapat disimpulkan berdasarkan data tersebut dapat menggunakan jenis turbin *crossflow*.

### 3.4 Perhitungan Potensi Daya

Berdasarkan data yang dihasilkan dalam pengukuran dan persamaan dalam landasan teori berikut ialah perhitungan potensi daya yang bisa dihasilkan pada perencanaan PLTMH di Bendung Simbang.

$$\text{Daya potensi air: } P_{air} = g \times Q \times Hn = 9,8 \times 3,67 \times 11 = 395,626 \text{ kW}$$

$$\text{Daya pada turbin: } P_{turbin} = P_{air} \times Eff_{turbin} = 395,626 \times 0,85 = 336,28 \text{ kW}$$

$$\text{Daya transmisi mekanik: } P_{transmisi} = P_{turbin} \times Eff_{transmisi} = 336,28 \text{ kW} \times 0,98 = 329,55 \text{ kW}$$

$$\text{Daya output generator: } P_{generator} = P_{transmisi} \times Eff_{generator} = 329,55 \times 0,85 = 280,11 \text{ kW}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama ketinggian yang sama hingga efisiensi turbin, transmisi hingga generator yang sama maka dapat dihitung keluaran generator berdasarkan data rata-rata debit perbulan seperti pada Tabel 4.

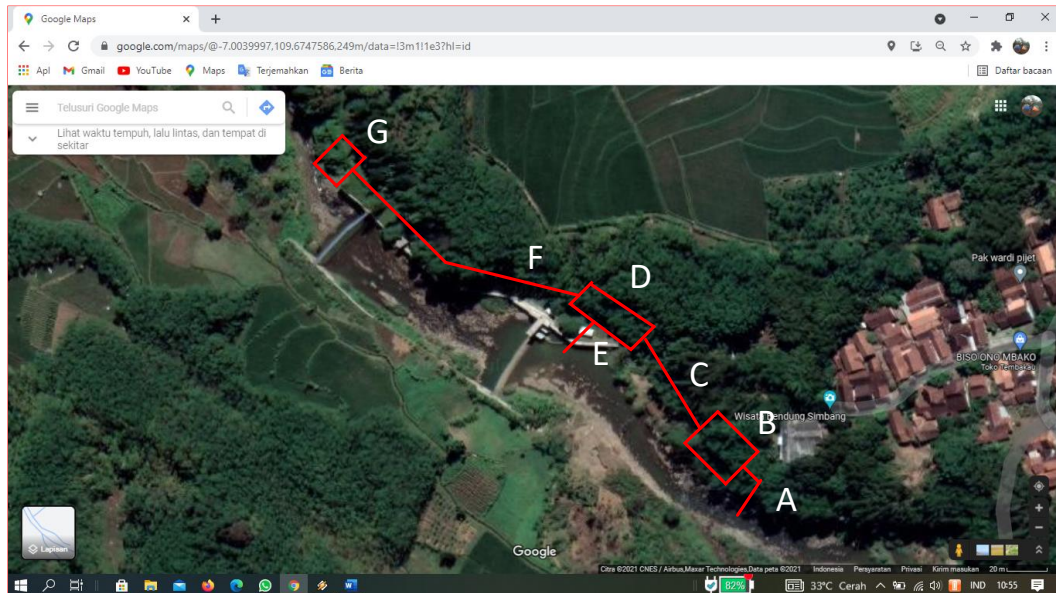
Tabel 4. Keluaran generator berdasarkan debit selama setahun

No.	Rerata debit perbulan ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	g	h (m)	Output generator (kW)
1	9,19	9,8	11	701,45
2	8,15	9,8	11	622,07
3	12,09	9,8	11	922,80
4	3,59	9,8	11	274,01
5	4,4	9,8	11	335,84
6	1,96	9,8	11	149,60
7	2,18	9,8	11	166,39
8	1,11	9,8	11	84,72
9	0,92	9,8	11	70,22
10	2,34	9,8	11	178,60
11	6,01	9,8	11	458,73
12	6,09	9,8	11	464,83

### 3.5 Perencanaan PLTMH

#### a. Penentuan Lokasi

Berdasarkan dari survei lokasi yang telah dilakukan pada sekitar Bendung Simbang berikut ialah tempat yang memungkinkan untuk direncanakan PLTMH seperti Gambar 7.



Gambar 7. Lokasi PLTMH

Keterangan:

- |  |   |
|--|---|
| A = Dam atau <i>Intake</i>               | E = Saluran pembuang atau <i>spillway</i> |
| B = Bak pengendap atau setting basin     | F = Pipa pesat atau <i>Penstock</i>       |
| C = Saluran pembawa atau <i>headrace</i> | G = <i>Power House</i>                    |
| D = Bak penenang atau <i>forebay</i>     |   |

#### b. Dam dan Bak Pengendap

Ukuran pintu masuk air ialah sebagai berikut.

$$Q_{Intake} = Q \times 120\% = 3,67 \times 120\% = 4,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan merencanakan tinggi pintu air setinggi 1,5 m maka lebar pintu air ialah:

$$\begin{aligned} Q &= 0,8 \times b \times a \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,25} & 4.4 &= 2,66 \times a \\ 4.4 &= 0,8 \times 1,5 \times a \sqrt{2 \times 9,8 \times 0,25} & a &= 1,65 \text{ m} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk ukuran dari bak pengendap sendiri harus berukuran 10 - 20 kali lipat dari debitnya, sehingga dapat ditentukan,

$$V = 20 \times 4,4 = 88 \text{ m}^3$$

Pada perencanaan PLTMH, panjang bak pengendap ialah 10 m dan lebar ialah 3 m sehingga dapat di hitung kedalaman dari bak pengendap ialah,

$$\begin{aligned} V &= A \times h = p \times l \times h & 88 &= 30 \times h \\ 88 &= 10 \times 3 \times h & h &= 2,93 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Saluran Pembawa

Pada perencanaan PLTMH, kecepatan pada saluran pembawa yaitu 1,5 m/s dengan debit yang sama dengan perencanaan bak pengendap yaitu 4,4 m<sup>3</sup>/s maka dapat ditentukan luas saluran pembawa ialah,

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{4,4}{1,5} = 2,93 \text{ m}^2$$

Dengan menentukan lebar saluran pembawa 1,5 m, maka dalam dari saluran pembawa ialah,

$$A = h \times l \qquad h = 1,95 \text{ m}$$

$$2,93 = h \times 1,5$$

d. Bak Penenang

Untuk memastikan memenuhi kebutuhan air dalam pipa pesat maka ukuran bak penenang dibuat lebih kecil dari bak pengendap, di mana ukuran bak penenang di buat hanya 15 kali saja dari debit *intake* sehingga volume dari bak penenang ialah,

$$V = 15 \times 4,4 = 66 \text{ m}^3$$

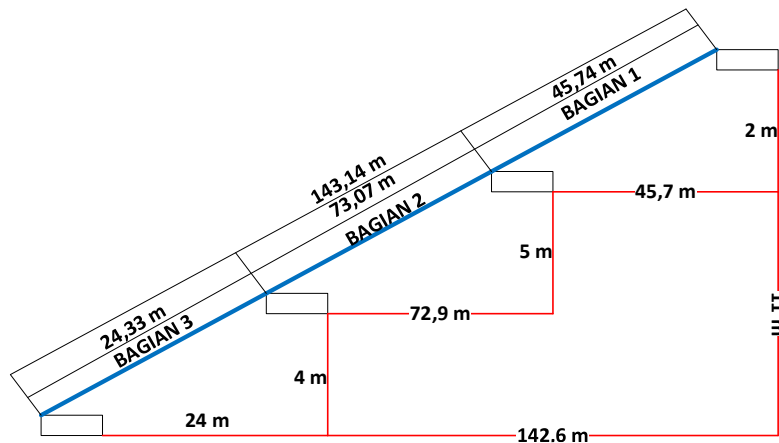
Pada perencanaan PLTMH, panjang bak penenang ialah 10 m dan lebar 3 m sehingga dapat dihitung kedalaman dari bak penenang ialah,

$$V = A \times h = p \times l \times h \qquad 66 = 30 \times h$$

$$66 = 10 \times 3 \times h \qquad h = 2,2 \text{ m}$$

e. Pipa Pesat

Berdasarkan pengukuran menggunakan *Google Earth* pipa pesat memiliki panjang 143,14 meter. Gambar 8 menunjukkan desain dari pipa pesat.



Gambar 8. Desain dari pipa pesat

Kecepatan air dalam penstok,

$$V_p = 0,125\sqrt{2 \times g h} = 0,125\sqrt{2 \times 9,8 \times 11} = 0,125\sqrt{215,6} = 1,84 \text{ m/s}$$

Diameter penstok,

$$D = \sqrt{\frac{4Q_p}{V_p}} = \sqrt{\frac{4 \times 3,67}{3,14 \times 1,84}} = \sqrt{2,54} = 1,59 \text{ m}$$

Penampang penstok,

$$A_p = \frac{Q_p}{V_p} = \frac{3,67}{1,84} = 1,99 \text{ m}^2$$

Ketebalan minimal penstok,

$$t_{min} = \frac{508+D}{400} = \frac{508+1,59}{400} = 1,2 \text{ mm}$$

Rugi Head dalam pipa pesat akibat gesekan air,

$$H_{Lfp} = 10,29 \frac{n^2 Q^2 L}{D^{5,3}} = 10,29 \frac{0,009^2 3,67^2 143,14}{1,59^{5,3}} = 0,13 \text{ m}$$

f. Generator

Generator yang akan dipakai ialah generator 3 fasa di mana berdasarkan hasil prakiraan daya ialah 280.11 kW dengan mengasumsikan  $\cos \phi$  ialah 0,8 maka kapasitas semu generator ialah:

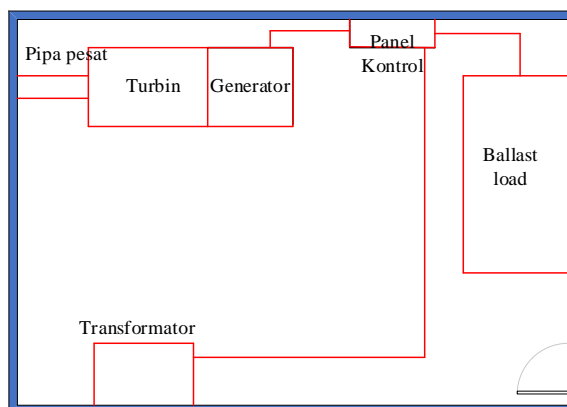
$$S = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{280110}{0,8} = 350,13 \text{ kVA} \cong 350 \text{ kVA}$$

Pada perencanaan PLTMH, akan digunakan generator 3 fasa maka arus maksimal generator ialah:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} V} = \frac{350000}{\sqrt{3} 400} \cong 505 \text{ A}$$

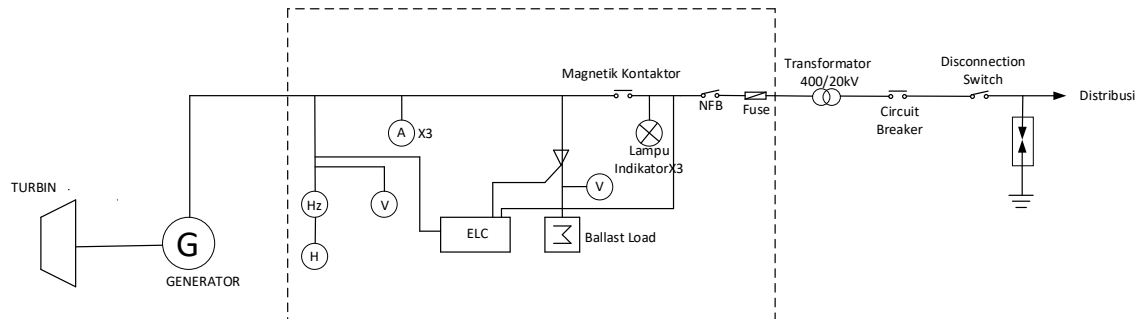
g. Power House

Untuk pengaturan tata letak dari komponen *power house* sendiri, ditempatkan seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Power House

*Power house* listrik yang dihasilkan akan di kontrol dan diamankan di panel kontrol kemudian dilengkapi dengan *ballast load* yang berguna untuk menstabilkan tegangan dan frekuensi karena dampak pemanfaatan energi listrik dari konsumen. Desain dari panel listriknya sendiri akan dibuat seperti Gambar 10.



Gambar 10. Panel Kontrol

Untuk memudahkan distribusi, maka tegangan dinaikkan ke 20 kV agar arusnya menjadi turun :

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} V} = \frac{350130}{\sqrt{3} 20000} = 10,12 \text{ A}$$

#### 4. Kesimpulan

Dari kajian potensi energi pada Bendung Timbang Pekalongan ini, didapatkan debit air sebesar 3,67 m<sup>3</sup>/s dan ketinggian 11 meter serta penggunaan jenis turbin *crossflow* dengan potensi daya terbangkit generator sebesar 280 kW. Perencanaan teknis konstruksi bendungan memiliki ukuran pintu masuk air dengan tinggi 1,5 meter dan lebar 1,65 meter. Bak pengendap mempunyai volume 88 m<sup>3</sup> dengan panjang 10 meter lebar 3 meter dan kedalaman 2,93 meter. Saluran pembawa memiliki lebar 1,5 meter dan kedalaman 1,95 meter. Bak penenang memiliki volume 66 m<sup>3</sup> dengan panjang 10 meter lebar 3 meter dan kedalaman 2,2 meter. Pipa pesat sepanjang 143,14 meter dengan diameter 1,59 meter. Kostruksi ini mampu menjalankan generator sebesar 350 kVA.

#### Daftar Pustaka

- [1] Boedoyo, M. S. (2008). Penerapan Teknologi untuk Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 9(1).
- [2] Sugiyono, A. (2006). Penanggulangan Pemanasan Global Di Sektor Pengguna Energi. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 7(2), 15-19..
- [3] S. Soewono, J. Pantouw, and S. Azzahra. (2017). Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Wilayah Jawa-Bali Tahun 2017-2036 dengan Gabungan Metode Analitis, Ekonometri, dan Kecenderungan. *Energi & Kelistrikan*, 9(2), 101-110.
- [4] Pangestu, M. (2019). *Studi Potensi Daya Listrik Bendungan Gerak Bojonegoro untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [5] Tobi, M. D., & Van Harling, V. N. (2017). Studi Perencanaan Pembangunan PLTMH di Kampung Sasnek Distrik Sawiat Kabupaten Sorong Selatan Provinsi Papua Barat. *Electro Luceat*, 3(1), 32-43.
- [6] Farid, A. (2012). Studi Potensi Dan Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga

- Mikrohidro Di Sungai Guci Kabupaten Tegal. *Engineering: Jurnal Bidang Teknik*, 3(2).
- [7] Chen, J., Yang, H. X., Liu, C. P., Lau, C. H., & Lo, M. (2013). A Novel Vertical Axis Water Turbine For Power Generation from Water Pipelines. *Energy*, 54, 184-193.
- [8] Laia, I. (2018). Analisa Perencanaan PLTMH Pada Sungai Batang Palangai Gadang Kabupaten Pesisir Selatan Provinsi Sumatera Barat. *Menara Ilmu*, 12(10).
- [9] Rompas, P. T. (2011). Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Pada Daerah Aliran Sungai Ongkak Mongondow di Desa Muntoi Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal Penelitian Saintek*, 16(2), 160-171.
- [10] Nugroho, D., Suprajitno, A., & Gunawan, G. (2017). Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Air Terjun Kedung Kayang. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 13(3), 161-171.
- [11] Nasir, B. A. (2014). Suitable Selection of Components for The Micro-Hydro-Electric Power Plant. *Advances in energy and power*, 2(1), 7-12.
- [12] Sugiharto, A. (2018). PLTMH sebagai alternatif pembangkit listrik ramah lingkungan. *Swara Patra*, 8(1), 107-118.