

**EVALUASI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO
HIDRO BANTAL PADA PABRIK GULA ASSEMBAGOES
KABUPATEN SITUBONDO**

PUBLIKASI JURNAL SKRIPSI




Disusun Oleh :

Febriananda Mulya Pratama

NIM. 0910633048 - 63

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
MALANG
2014**

	<p>KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO</p> <p>Jalan MT Haryono 167 Telp & Fax. (0341) 554 166 Malang-65145</p>	<p>KODE PJ-01</p>
---	--	--------------------------------------

PENGESAHAN
PUBLIKASI HASIL PENELITIAN SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BRAWIJAYA

NAMA : Febriananda Mulya Pratama
NIM : 0910633048 – 63
PROGRAM STUDI : Teknik Energi Elektrik
JUDUL SKRIPSI : Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro
Hidro Bantal Pada Pabrik Gula Assembagoes
Kabupaten Situbondo.

TELAH DI-REVIEW DAN DISETUJUI ISINYA OLEH :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. Hari Santoso, MS.

Ir. Teguh Utomo, MT.

NIP. 19531205 198503 1 001

NIP. 19650913 199103 1 003

Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal pada Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo

Febriananda Mulya Pratama¹, Ir. Hari Santoso, MS.², Ir. Teguh Utomo, MT.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: Febrianandamulya@yahoo.com

Abstrak—Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal adalah pembangkit listrik yang dikelola oleh Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo untuk menambah pasokan energi listrik. PLTMH ini terletak di Desa Bantal Kelurahan Bantal Kecamatan Asembagus Kabupaten Situbondo dengan memanfaatkan saluran irigasi Parseh yang merupakan sumber dari Gunung Ijen kemudian bermuara di dam Lewung dan selanjutnya dialirkan menuju Desa Bantal. Namun sistem pembangkitan pada PLTMH Bantal kurang optimum dikarenakan ada banyak faktor yang menyebabkan terjadinya *losses*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa potensi daya yang dapat dibangkitkan pada PLTMH Bantal secara teori adalah sebesar 107,1862 kW dengan debit air yang digunakan sebesar 2,8934 m³/s dan ketinggian jatuh air bersih (*head nett*) 6,37977 meter. Sedangkan potensi daya yang dapat dibangkitkan secara keseluruhan pada saluran irigasi Parseh adalah sebesar 311,0305 kW dengan debit air yang digunakan adalah pada saluran KP 3 sebesar 8,3960 m³/s. Dalam melakukan pengujian pembangkit dengan media air garam dan plat aluminium sebagai elektroda, didapatkan kapasitas daya yang dapat dibangkitkan oleh generator sebesar 101,1123 kW. Hal ini terdapat perbedaan antara daya yang dihasilkan secara teori lebih besar dibandingkan dengan daya yang dihasilkan ketika melakukan pengujian pembangkit dikarenakan terjadi *losses* pada peralatan mekanik dan generator.

Kata Kunci—debit air, ketinggian jatuh air (*head*), PLTMH Bantal, potensi daya.

I. PENDAHULUAN

Gula merupakan komoditas yang penting karena selain menjadi bahan pokok yang dikonsumsi langsung, gula juga diperlukan oleh berbagai industri pangan dan minuman. Konsumsi gula di Indonesia terus meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk, meningkatnya taraf hidup dan pertumbuhan jumlah industri yang memerlukan gula sebagai bahan bakunya. Meningkatnya konsumsi gula harus diimbangi dengan meningkatkan produksi gula.

Untuk meningkatkan produksi gula pada pabrik gula membutuhkan pasokan energi listrik yang besar pula. Namun peningkatan pemanfaatan energi listrik

tersebut tidak diimbangi dengan peningkatan penyediaan energi listrik oleh PLN. Penyediaan energi listrik oleh PLN cenderung tidak mencukupi permintaan akan energi listrik yang ada. Oleh karena itu, pabrik gula harus bisa memanfaatkan sumber energi alternatif yang ada seperti matahari, air, angin, geothermal, biomassa dan biogas agar tidak bergantung dengan PLN.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal adalah salah satu cara yang diterapkan oleh Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo untuk menambah pasokan energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro ini terletak di Desa Bantal Kelurahan Bantal Kecamatan Asembagus Kabupaten Situbondo dengan memanfaatkan saluran irigasi Parseh yang merupakan sumber dari Gunung Ijen kemudian bermuara di dam Lewung dan selanjutnya dialirkan menuju Desa Bantal. Namun sistem pembangkitan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal kurang optimum dikarenakan ada banyak faktor yang menyebabkan terjadinya *losses* yaitu adanya sebuah turbin bekas tinggalan jaman Belanda yang menancap pada dasar kolam penenang bangunan sipil, kemudian timbul panas pada bantalan (*bearing*) yang menghubungkan antara *gearbox* dengan generator. Hal ini diperkuat ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal melakukan *running test* pada tanggal 27 April 2013 pukul 08.00 menunjukkan bahwa nilai keluaran daya dari generator di *control panel* berkisar 60 kW. Padahal generator yang digunakan adalah generator sinkron 3 fasa type DIB 80 EF/4D dengan daya yang tertera pada papan nama (*name plate*) sebesar 290 kVA. Hal ini menunjukkan bahwa daya keluaran yang dibangkitkan oleh generator tidak mencapai daya keluaran maksimal yang mampu dibangkitkan oleh generator.

Oleh karena beberapa latar belakang di atas maka perlu diadakan evaluasi terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Bantal Kabupaten Situbondo sehingga potensi sumber daya air yang tersedia dapat dimanfaatkan secara optimal untuk memenuhi kebutuhan daya pada pabrik gula Assembagoes.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit per detik yang ada pada

aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik.

Bagian-bagian terpenting pada proses konversi energi air menjadi energi elektrik adalah [7]:

1. Waduk/Bendung, berfungsi untuk menyimpan air yang akan dialihkan ke turbin air.
2. Pintu air, berfungsi membatasi jumlah atau debit air yang akan dialirkan melalui saluran.
3. Saluran air, berfungsi untuk menyalurkan air yang akan melalui pipa pesat.
4. Bak penampung, berfungsi untuk mengendalikan volume dan debit air yang akan dialirkan ke turbin melalui pipa pesat, sekaligus sebagai penentu ketinggian jatuh air.
5. Pipa pesat, berfungsi sebagai media penyalur air dari bak penampung ke turbin. Efisiensi pipa pesat dipengaruhi oleh permukaan penampang aliran serta jumlah belokan.
6. Rumah pembangkit, merupakan bangunan tempat kedudukan seluruh perangkat konversi energi.
7. Saluran pelimpah, berfungsi sebagai penyalur air yang sudah digunakan, untuk dikembalikan ke sungai atau saluran irigasi.

B. Daya PLTMH

Untuk mendapatkan daya hidrolis (P_h) yang merupakan potensi sumber daya energi air pada suatu wilayah, didapatkan dengan persamaan [5]:

$$P_h = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (W) \dots\dots\dots (1)$$

Apabila nilai gravitasi bumi g dan massa jenis air ρ dimasukkan di persamaan (1), maka persamaannya menjadi

$$P_h = 9.8 \cdot Q \cdot h \quad (kW) \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- P_h = Daya hidrolis (kW)
- Q = Debit air (m^3/s)
- ρ = Massa jenis air ($= 1000 \text{ kg}/m^3$)
- g = Gravitasi bumi ($= 9.8 \text{ m}/s^2$)
- h = Tinggi jatuh air (m)

Jika efisiensi pipa pesat (η_{pp}) dan efisiensi turbin (η_{tb}) diketahui, maka besar daya mekanik turbin adalah

$$P_{tb} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot P_h \quad (kW) \dots\dots\dots (3)$$

Apabila antara turbin dan generator ada perangkat sistem tranmisi mekanik (η_{tm}) dan efisiensi generator (η_g) diketahui, maka besar daya keluaran elektrik dari generator adalah

$$P_{out} = \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot P_{tb} \quad (kW) \dots\dots\dots (4)$$

$$P_{out} = \eta_{total} \cdot P_h \quad (kW) \dots\dots\dots (5)$$

C. Debit air

Debit air merupakan jumlah air yang mengalir melalui suatu penampang sungai tertentu per satuan waktu. Debit air dipengaruhi oleh luasan daerah aliran sungai, curah hujan dan aliran sungai. Apabila curah hujan dan aliran sungai pada daerah tertentu sangat tinggi maka debit air pada daerah tersebut akan tinggi pula.

Metode pengukuran debit air salah satunya adalah dengan menggunakan metode kecepatan area. Metode

kecepatan area adalah suatu cara yang digunakan untuk mengetahui debit aliran dengan mengukur luas penampang basah aliran dan kecepatan aliran. Luas penampang basah aliran didapatkan dengan cara mengukur lebar permukaan air dan kedalaman air. Kecepatan aliran air dapat diperoleh dengan cara menggunakan *current meter*.

D. Tinggi Jatuh Air

Untuk memperoleh tinggi jatuh efektif adalah dengan mengurangi tinggi jatuh total (dari permukaan air pada pengambilan sampai permukaan air saluran bawah) dengan kehilangan tinggi pada saluran air. Tinggi jatuh penuh (*full head*) adalah tinggi air yang bekerja efektif pada turbin yang sedang berjalan. Faktor yang mempengaruhi kehilangan tinggi pada saluran air adalah besar penampang saluran air, besar kemiringan saluran air dan besar luas penampang pipa pesat [1].

Metode dalam menentukan tinggi jatuh air adalah peta topografi, sisi fotografi, altimeter, peralatan geodesi dan metode *water-filled tube*.

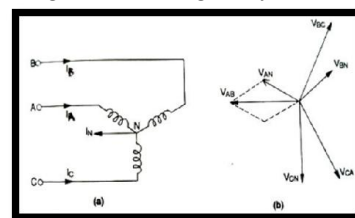
E. Generator

Generator adalah sebuah mesin yang berfungsi untuk mengubah energi mekanis dari turbin menjadi energi listrik. Komponen utama dari generator adalah rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang berputar, yang dikopel dengan poros turbin sebagai tenaga putarnya. Stator merupakan bagian generator yang tidak bergerak. Stator akan menghasilkan tegangan apabila rotor diberi penguatan atau magnetisasi.

F. Hubungan Generator AC Tiga Fasa

- Hubungan bintang

Gambar 1 memperlihatkan skema hubungan bintang dan fasor diagramnya.



Gambar 1. Skema dan Fasor Diagram Hubungan Bintang [8]

Dari gambar diatas diperoleh:

$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_f \dots\dots\dots (6)$$

$$I_L = I_f \dots\dots\dots (7)$$

$$P = 3 \cdot V_f \cdot I_f \cdot \cos\phi \dots\dots\dots (8)$$

$$P = 3 \cdot \frac{V_L}{\sqrt{3}} \cdot I_L \dots\dots\dots (9)$$

$$P = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \cos\phi \dots\dots\dots (10)$$

$$S = 3 \cdot V_f \cdot I_f \dots\dots\dots (11)$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

V_L = Tegangan line (Volt)

V_f = Tegangan fasa (Volt)

I_L = Arus line (Ampere)

I_f = Arus fasa (Ampere)

P = Daya nyata (Watt)

$S = \text{Daya semu (VA)}$
 $\text{Cos } \varphi = \text{Faktor daya}$

III. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah dalam melakukan evaluasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah sebagai berikut:

A. Studi Literatur

Studi literatur sebagai dasar dalam mempelajari dan memahami konsep yang terkait, yaitu teori dasar mengenai konversi energi pada PLTMH. Serta teori dasar mengenai komponen-komponen pada PLTMH yaitu saluran penyadap (*intake*), saluran pembawa (*headrace*), bak pengendap (*settling basin*), bak penenang (*forebay*), saluran pembuangan (*tailrace*), pipa pesat (*penstock*), turbin, sistem peralatan mekanik, sistem transmisi mekanik, generator.

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memudahkan proses pengerjaan penelitian. Data-data yang diambil merupakan data-data berupa:

1. Debit air
2. Tinggi jatuhnya air
3. Volume bak penenang
4. Tegangan pada generator
5. Arus pada generator
6. Laporan pembukuan PLTMH Bantal

C. Analisis Data dan Pembahasan

Data-data di atas digunakan sebagai perhitungan potensi daya pada saluran irigasi Parseh dan PLTMH Bantal.

Setelah menghitung potensi daya pada saluran irigasi Parseh dan PLTMH Bantal, kemudian mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator dengan melakukan pengujian pembangkit. Dalam pengujian pembangkit beban menggunakan larutan air garam yang diletakkan dalam drum dan plat aluminium sebagai elektroda.

Setelah hasil perhitungan daya yang dibangkitkan generator di lapangan didapatkan kemudian dibandingkan dengan daya keluaran secara teoritis (P_{out}) setelah itu mencari faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya *losses* pada PLTMH Bantal dan mendapatkan solusinya terhadap *losses* tersebut

D. Penarikan Kesimpulan

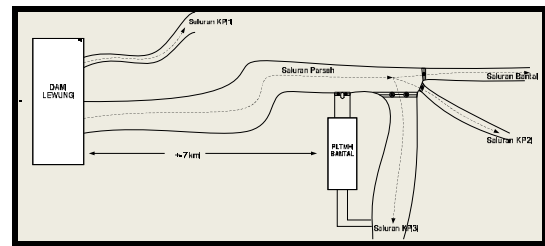
Dari hasil analisis dan pembahasan dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai hasil evaluasi.

IV. ANALISIS dan PEMBAHASAN

A. Potensi Energi Aliran Air PLTMH Bantal

1. Debit Air (Q)

Pengukuran debit air (Q) dilakukan pada saluran cabang dari saluran utama. Saluran cabang dari saluran utama yaitu saluran KP 2, saluran KP 3 dan saluran Bantal. Pengukuran debit air (Q) pada ketiga saluran cabang tersebut menggunakan metode kecepatan area dengan menggunakan *current meter* sebagai alat untuk mengukur kecepatan aliran air. Gambar 2 dibawah ini merupakan denah dari Saluran Irigasi Parseh beserta saluran cabangnya.



Gambar 2. Denah Saluran Irigasi Parseh

Pengukuran debit air pada saluran KP 2 dilakukan dengan membagi lebar saluran menjadi 3 *segment* dengan lebar setiap *segment* adalah 16 cm, 16 cm dan 15 cm. Kedalaman air pada saluran KP 2 adalah 0,48 m sehingga dilakukan satu kali pengukuran kecepatan air pada setiap *segment* dikarenakan kedalaman air kurang dari 0,5 meter. Untuk mempermudah pengukuran maka kecepatan air yang diukur pada semua *segment* yaitu pada kedalaman 0,3 meter dari dasar. Tabel 2 dibawah ini menunjukkan hasil pembacaan kecepatan air dan perhitungan debit air dengan menggunakan *current meter*.

Tabel 2. Kecepatan Aliran Air dan Debit Air Setiap Segment Pada Saluran KP 2

Segment	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan (m/s)	Debit (m^3/s)
1	0.16	0.48	1.982	0.15222
2	0.16	0.48	2.068	0.15882
3	0.15	0.48	2.088	0.15034

Sehingga didapatkan debit air total pada saluran KP 2 adalah $0,4614 m^3/s$.

Pengukuran debit air pada saluran Bantal dilakukan dengan membagi lebar saluran menjadi 5 *segment* dengan lebar setiap *segment* adalah 50 cm. Kedalaman air pada saluran KP 2 adalah 0,33 m sehingga dilakukan satu kali pengukuran kecepatan air pada setiap *segment* dikarenakan kedalaman air kurang dari 0,5 meter. Untuk mempermudah pengukuran maka kecepatan air yang diukur pada semua *segment* yaitu pada kedalaman 0,2 meter dari dasar. Tabel 3 dibawah ini menunjukkan hasil pembacaan kecepatan air dan perhitungan debit air dengan menggunakan *current meter*.

Tabel 3. Kecepatan Aliran Air dan Debit Air Setiap Segment Pada Saluran Bantal

Segment	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan (m/s)	Debit (m^3/s)
1	0.5	0.33	2.675	0.44138
2	0.5	0.33	2.648	0.43692
3	0.5	0.33	2.808	0.46332
4	0.5	0.33	3.048	0.50292
5	0.5	0.33	2.702	0.44583

Sehingga didapatkan debit air pada saluran Bantal adalah $2,2904 m^3/s$.

Pengukuran debit air pada saluran KP 3 dilakukan dengan membagi lebar saluran menjadi 6 *segment*

dengan lebar setiap *segment* adalah 50 cm. Setiap *segment* diambil data kecepatan air sebanyak 5 kali. Tabel 4 dibawah ini menunjukkan hasil pembacaan kecepatan air dan perhitungan debit air dengan menggunakan *current meter*.

Tabel 4. Kecepatan Aliran Air dan Debit Air Setiap Segment Pada Saluran KP 3

Segment	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Kecepatan rata-rata (m/s)	Debit (m ³ /s)
1	0.5	0.77	0.9254	0.356279
2	0.5	0.96	3.1336	1.504128
3	0.5	0.96	3.5066	1.683168
4	0.5	1	3.4638	1.7319
5	0.5	0.96	3.5284	1.693632
6	0.5	0.85	3.3574	1.426895

Sehingga didapatkan debit air pada saluran KP 3 adalah 8,3960 m³/s.

Jadi debit air pada saluran irigasi Parseh adalah perjumlahan debit air dari ketiga cabang yaitu saluran KP 2, saluran Bantal dan saluran KP 3.

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = 0,4614 + 2,2904 + 8,3960$$

$$Q = 11,1477 \text{ m}^3/\text{s}$$

Sedangkan untuk mendapatkan debit air yang mengalir pada PLTMH Bantal yaitu dengan cara melakukan pengurangan antara debit air pada saluran irigasi Parseh sebelum PLTMH beroperasi dengan debit air pada saluran irigasi Parseh ketika Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro beroperasi. Debit air pada saluran KP 3 ketika PLTMH beroperasi adalah 5,5026 m³/s. Sehingga debit air yang mengalir ke PLTMH Bantal sebesar 2,8934 m³/s.

2. Tinggi Jatuh Air (*h*)

Untuk mendapatkan tinggi jatuh air (*h*) dilakukan pengukuran dengan menggunakan metode *water-filled tube* dimana diukur dari permukaan air atas pada kolam penenang hingga air menyentuh sudu pada *runner* turbin. Sehingga tinggi jatuh air pada PLTMH Bantal didapatkan sebesar 6,4 meter sedangkan tinggi jatuh bersih (*head net*) sebesar 6,37977 meter.

Maka besarnya daya hidrolis (P_h) adalah

$$P_h = 9,8 \cdot Q \cdot h$$

$$P_h = 9,8 \cdot 8,3960 \cdot 6,37977$$

$$P_h = 524,9326 \text{ kW}$$

Pada umumnya efisiensi turbin *crossflow* 60 % sampai 80 % [4]. Namun pada perhitungan, efisiensi turbin yang dipakai adalah 70 %. Sedangkan efisiensi dari pipa pesat pada umumnya berkisar 95 % [2]. Maka besarnya daya mekanik turbin adalah

$$P_{tb} = \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot P_h$$

$$P_{tb} = 0,95 \cdot 0,7 \cdot 524,9326$$

$$P_{tb} = 349,0802 \text{ kW}$$

Pada umumnya efisiensi sistem transmisi mekanik dengan menggunakan gearbox berkisar 96 % sampai 99 % [3]. Sedangkan efisiensi generator umumnya berkisar 85 % sampai 90 % [4]. Pada perhitungan, efisiensi

generator yang dipakai adalah 90 % karena generator memiliki kapasitas diatas 100 kW dan efisiensi sistem transmisi mekanik yang dipakai adalah 99 % karena kondisi dilapangan sistem transmisi mekanik langsung menggunakan gearbox yang langsung dikopel dengan generator. Maka besarnya daya keluaran elektrik dari generator adalah

$$P_{out} = \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot P_{tb}$$

$$P_{out} = 0,99 \cdot 0,9 \cdot 349,0802$$

$$P_{out} = 311,0305 \text{ kW}$$

Debit air yang digunakan untuk perhitungan daya elektrik pada saluran irigasi Parseh adalah debit air pada saluran KP 3 sebesar 8,3960 m³/s. Karena debit air pada saluran Bantal dan saluran KP 2 digunakan untuk mengairi lahan pertanian sehingga debit air pada kedua saluran tersebut tidak bisa digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal. Sehingga besar potensi daya yang dapat dibangkitkan secara keseluruhan adalah sebesar 311,0305 kW.

Sedangkan potensi daya yang dibangkitkan pada PLTMH Bantal adalah

$$P_{out} = 9,8 \cdot \eta_{pp} \cdot \eta_{tb} \cdot \eta_{tm} \cdot \eta_g \cdot Q \cdot h$$

$$P_{out} = 9,8 \cdot 0,95 \cdot 0,7 \cdot 0,99 \cdot 0,9 \cdot 2,8934 \cdot 6,37977$$

$$P_{out} = 107,1862 \text{ kW}$$

Maka besar potensi daya yang dapat dibangkitkan pada PLTMH Bantal adalah sebesar 107,1862 kW.

B. Pengujian PLTMH

Pengujian PLTMH Bantal dalam keadaan berbeban bertujuan untuk mengetahui kapasitas daya yang mampu dibangkitkan oleh generator.

Beban yang digunakan dalam pengujian PLTMH ini adalah tiga plat elektroda yang terbuat dari plat aluminium dengan ketebalan 2 mm yang memiliki panjang 50 cm dan lebar 40 cm. Ketiga plat ini kemudian dihubungkan dengan isolator yang panjangnya 10,8 cm. Ketiga elektroda ini dibuat sedemikian rupa agar menghasilkan beban yang setimbang. Masing-masing elektroda dihubungkan ke control panel dengan menggunakan kabel TC 3x35 mm² + 1x25 mm².



Gambar 3. Elektroda Yang Digunakan Dalam Pengujian

Setelah air pada kolam penenang terisi penuh dan pembangkit mulai beroperasi, beban dimasukkan bertahap dengan cara memasukkan elektroda kedalam air garam secara perlahan-lahan. Setiap kenaikan beban dilakukan pengukuran arus dan tegangan pada generator dengan menggunakan *clamp meter*. Hasil pengukuran tegangan pada generator dapat dilihat pada Tabel 5 dibawah ini:

Tabel 5. Hasil Pengukuran Tegangan Pada Generator

Keterangan	Tegangan (volt)
V _{R-S}	405
V _{R-T}	396
V _{S-T}	396

Dalam melakukan perhitungan kapasitas daya yang dihasilkan oleh generator, tegangan antar fasa yang didapatkan melalui pengukuran harus diubah terlebih dahulu dalam tegangan fasa dengan menggunakan Persamaan (6).

$$V_{R-S} = \sqrt{3} \cdot V_{fR}$$

$$405 = \sqrt{3} \cdot V_{fR}$$

$$V_{fR} = \frac{405}{\sqrt{3}}$$

$$V_{fR} = 233,83 \text{ volt}$$

Dengan cara yang sama, diperoleh tegangan fasa pada generator seperti disusun dalam Tabel 6 dibawah ini:

Tabel 6. Tegangan Fasa Pada Generator

Keterangan	Tegangan (volt)
V _{R-N}	233,83
V _{S-N}	228,63
V _{T-N}	228,63

Hasil pengukuran arus pada generator dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini:

Tabel 7. Hasil Pengukuran Arus Pada Generator

Arus (ampere)		
I _R	I _S	I _T
28	30.1	32.3
61	84	36
66	133	81
70	101.9	68
60	93	138
88	146	105
85	177	134
98	168	117
143	216	80
117	133	87
96	31	76
86	107	112
115	152	157
75	113	118
90	115	116

Dalam menghitung kapasitas daya yang dihasilkan oleh generator, arus yang digunakan adalah $I_R = 143 A$, $I_S = 216 A$, $I_T = 80 A$ karena memiliki arus rata-rata yang paling tinggi. Sehingga kapasitas daya yang dihasilkan oleh generator dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (8) dengan ansumsi $\cos \phi = 1$ karena beban yang digunakan saat pengujian bersifat resistif yaitu berupa plat elektroda dengan media air garam.

$$P = (V_{R-N} \cdot I_R \cdot \cos \phi) + (V_{S-N} \cdot I_S \cdot \cos \phi) + (V_{T-N} \cdot I_T \cdot \cos \phi)$$

$$P = (233,83 \cdot 143 \cdot 1) + (228,63 \cdot 216 \cdot 1) + (228,63 \cdot 80 \cdot 1)$$

$$P = 101112,3 \text{ watt}$$

$$P = 101,1123 \text{ kW}$$

Jadi kapasitas daya yang mampu dihasilkan oleh PLTMH Bantal yaitu sebesar 101,1123 kW. Pengujian ini sebetulnya masih bisa dilanjutkan karena pasokan air untuk pembangkit masih bisa mencukupi namun melihat berbagai fakta yang muncul pada peralatan transmisi mekanik yaitu pada salah satu bantalan (*bearing*) terjadi gesekan sehingga menimbulkan bunyi yang keras. Oleh karena itu, untuk menghindari kerusakan yang semakin parah, pengujian tidak dilanjutkan kembali.

Ketika melakukan pengujian, jarak antar elektroda dibuat sama agar bisa menghasilkan beban setimbang, namun pada hasil pengukuran arus fasa generator terjadi ketidaksetimbangan antara fasa R, fasa S dan fasa T. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 7 menunjukkan bahwa arus fasa pada generator memiliki perbedaan yang sangat jauh dengan fasa yang lainnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengujian isolasi pada generator untuk mengetahui tingkat kebocoran arus pada generator.

Perbandingan antara daya yang dihasilkan generator dengan daya yang dibangkitkan secara teoritis adalah

$$\frac{\text{daya yang dihasilkan generator (kW)}}{\text{daya yang dibangkitkan pembangkit secara teori}} \times 100 \%$$

$$\frac{101,1123}{107,1862} \times 100 \% = 94,33 \%$$

Berdasarkan perbandingan daya diatas, PLTMH Bantal bekerja cukup optimum.

C. Pembahasan

Pada saluran penyadap (*intake*) tidak tersedianya saringan yang berfungsi untuk menyaring sedimen apung. Hal ini menyebabkan sedimen apung bisa memasuki ke saluran pembawa.

Mekanisme pembuangan endapan pada saluran pengendap harus ada dengan cara menambahkan pintu air. Hal ini bertujuan agar endapan pada dasar saluran pengendap bisa dibersihkan untuk menghindari pendangkalan pada saluran pengendap. Sedangkan saringan pada saluran pengendap perlu dilakukan perbaikan agar sedimen apung bisa tersaring dengan baik sehingga tidak mengganggu kinerja dari turbin.

Pada evaluasi kali ini, turbin bekas pada dasar kolam penenang sebaiknya dilakukan pembongkaran karena menyebabkan volume air pada kolam penenang kurang maksimum. Pada kolam penenang terjadi aliran turbulensi karena desain dari pipa pesat dan kolam penenang yang kurang tepat. Apabila aliran turbulensi ini dibiarkan akan menyebabkan korosi erosi pada dinding pipa pesat dan sedimen yang seharusnya mengendap pada kolam penenang, ikut terbawa masuk ke dalam pipa pesat sehingga mengganggu kinerja dari turbin.

Sedangkan pada bangunan saluran pembuangan terjadi pengendapan sedimen yang cukup banyak sehingga pada saluran pembuangan terjadi pendangkalan dan penyempitan.

Pada peralatan elektro mekanik pada PLTMH Bantal terutama pada komponen regulator dan gearbox terjadi rembesan oli pada celah-celah mesin. Hal ini sangat mempengaruhi kinerja dari mesin tersebut.

Berdasarkan pengujian pembangkit dengan menggunakan beban berupa elektroda dan air garam menunjukkan bahwa arus yang dihasilkan oleh generator terhadap fasa R, fasa S dan fasa T sangat berbeda jauh. Padahal beban dirancang sedemikian rupa agar menghasilkan beban yang seimbang.

Ketika PLTMH Bantal beroperasi, salah satu alat ukur amperemeter pada *control panel* tidak berfungsi sehingga mempengaruhi operator untuk mengontrol kinerja dari pembangkit. Selain itu, *range* pada alat ukur amperemeter dan wattmeter terlalu besar sehingga dalam melakukan pembacaan alat ukur, ada kemungkinan terjadi kesalahan dalam pembacaan oleh operator. Pada alat ukur amperemeter di *control panel*, *range*-nya mencapai 1600 ampere padahal arus nominal yang mampu dibangkitkan oleh generator adalah 418 ampere, sedangkan pada alat ukur wattmeter *range*-nya mencapai 800 kW padahal generator hanya mampu menghasilkan 232 kW (berdasarkan *name plate* generator).

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa PLTMH Bantal, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis yang dilakukan, didapatkan besar potensi daya yang dapat dibangkitkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal adalah sebesar 107,1862 kW. Sedangkan besar potensi daya yang dapat dibangkitkan secara keseluruhan pada saluran irigasi Parseh adalah sebesar 311,0305 kW.
2. Perbandingan daya antara daya yang dihasilkan oleh pembangkit di lapangan dengan daya yang dihasilkan oleh pembangkit secara teoritis didapatkan sebesar 94,33 %. Hal ini diperoleh adanya perbedaan dimana daya yang dihasilkan pada perhitungan teoritis lebih besar dibandingkan daya yang dihasilkan karena ketika melakukan pengujian pembangkit, pada salah satu bantalan (*bearing*) terjadi gesekan sehingga menimbulkan bunyi yang keras. Namun secara keseluruhan, Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal bekerja cukup optimum.
3. Faktor-faktor yang menimbulkan *losses* pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal adalah peralatan mekanik dan generator.

B. Saran

1. Dimensi pada saluran pembawa dan bak penenang (*forebay*) serta dimensi pada turbin perlu diperbesar agar debit air yang masuk ke dalam turbin bisa lebih banyak dari kondisi *eksisting* sehingga besar daya elektrik yang dihasilkan oleh generator bisa maksimum.
2. Daya mekanik yang dibangkitkan oleh turbin juga perlu diukur untuk mengetahui *losses* yang dihasilkan oleh turbin. Dan juga perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut pada peralatan mekanikal elektrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Bantal agar *losses* yang terjadi pada setiap komponen peralatan mekanikal elektrik dapat diketahui.

3. Perlu dilakukan :

- A. Penggantian pada bantalan (*bearing*) pada penyangga poros antara kopel dengan kopel setelah poros dari *gearbox* karena pada saat melakukan pengujian pembangkit, *bearing* terjadi gesekan yang berlebih sehingga menghasilkan suara yang keras.
- B. Pengujian isolasi untuk mengetahui arus bocor pada generator.
- C. Pemasangan saringan pada *intake* yang dikhususkan untuk menyaring sedimen-sedimen apung yang berukuran besar agar sedimen apung tidak masuk ke dalam saluran pembawa.
- D. Penambahan pintu air pada saluran pengendap yang berfungsi untuk membuang endapan sedimen pada saluran pengendap.
- E. Perbaikan pada saringan yang terletak pada saluran pengendap dengan cara mempersempit jarak antara batang saringan agar sedimen apung dapat tersaring secara maksimum dan tidak masuk ke dalam turbin.
- F. Pembongkaran turbin bekas yang menancap pada kolam penenang sehingga volume air pada kolam penenang bisa menampung secara maksimum. Serta perlu dilakukan pengkajian ulang terhadap dimensi kolam penenang agar aliran turbulensi bisa diatasi.
- G. Pengerukan sedimen secara rutin pada saluran pembuangan agar tidak terjadi pendangkalan dan penyempitan pada saluran tersebut.
- H. Perbaikan pada regulator dan *gearbox* dengan cara mengganti *packing* yang lama dengan yang baru agar oli tidak merembes keluar.
- I. Perawatan secara berkala pada bangunan sipil dan komponen mekanikal elektrik agar Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dapat bekerja secara maksimum.
- J. Pergantian pada alat ukur pada *control panel* dengan *range* yang sesuai dengan kapasitas maksimum generator untuk mempermudah dalam pembacaan.
- K. Training kepada operator mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dalam melakukan pengoperasiannya karena operator tidak melakukan yang sesuai dengan SOP (*Standard Operasional Prosedure*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, A. dan Susumu Kuwahara. 2004. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik I*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- [2] Linsley, Ray.K. 1991. *Teknik Sumber Daya air*. Jakarta: Erlangga
- [3] Maitra, Gitin M, 2001. *Handbook Of Gear Design Second Edition*. New Delhi: Tata Mcgraw-hill Publishing Company Limited
- [4] Mismail Budiono. 1991/1992. *Pelistrikan Desa di Indonesia*. Depok: Kampus Baru UI.
- [5] Patty, O. 1995. *Tenaga Air*. Jakarta: Erlangga.
- [6] Thomas, H. 2005. *Evaluasi Konversi Energi pada PLTM Check Dam V Kali Jari Kabupaten Blitar*. Malang: Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [7] Wibawa Unggul. 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif. Malang*: Universitas Brawijaya.
- [8] Zuhail. 1991. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Bandung: ITB.