

Desain Peraga Pendidikan Pembangkit Listrik Mikrohidro

Ignatius Agus Purbhadi¹, Yadi Yunus¹, Bangun Pribadi¹, Agung Nugroho¹

¹ Program Studi Elektro Mekanika – Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Yogyakarta, Indonesia

Korespondensi : agus_purbhadi@gmail.com

ABSTRAK

Desain modul peraga pendidikan sangat dibutuhkan dalam sistem energi termasuk disain PLTN maupun PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro). Pendekatan secara modular peraga pendidikan ini dapat meningkatkan fleksibilitas dalam penerapannya karena berbagai kondisi lingkungan yang beraneka ragam menuntut disain yang mudah diadaptasi. Pada penelitian ini, desain akan diterapkan dalam peraga pendidikan sistem energi baru/terbarukan khususnya PLTMH, mengingat sistem ini sekarang menjadi bagian strategi pemenuhan kebutuhan di banyak negara termasuk Indonesia terutama untuk mengatasi kebutuhan energi listrik dan pemberdayaan masyarakat di daerah pedesaan. Metoda yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menentukan jenis turbin, generator, merancang sistem pendukung (menara penyangga), merancang bak bagian atas sebagai bak penenang sebelum masuk ke turbin, menentukan jenis pompa sebagai pendorong air ke bak penenang dan merancang bak bawah sebagai penampung air yang dapat divariasikan pada ketinggian 0,5-1,5 meter. Hasil penelitian, turbin yang digunakan adalah turbin propeler open flume ϕ 125 sebagai penggerak generator induksi $\frac{3}{4}$ HP yang terhubung dengan kapasitor eksitasi secara C-2C untuk menghasilkan sistem tegangan 1 fasa, menara penyangga dengan ketinggian 4 meter didesain menggunakan besi siku 5 cm, bak penenang dan bak bawah terbuat dari plat besi ketebalan 2 mm, pompa pendorong menggunakan pompa sentrifugal dengan debit 2600 liter/menit yang terdiri dari dua buah pompa masing-masing memiliki debit 1300 liter/menit. Hasil pengujian didapatkan daya output rata-rata generator 392,16 Watt pada head 4 meter dengan tegangan rata-rata 228 Volt dan frekuensi 58 Hz

Kata kunci: peraga pendidikan, PLTMH, turbin *open flume*, generator induksi

ABSTRACT

The design of educational simulator modules is very much needed in energy systems, including the design of nuclear power plants and micro hydro power plants. The modular approach of this educational model can increase flexibility in its application because various environmental conditions require a design that is easy to adapt. In this study, the design will be applied in an educational demonstration of new/renewable energy systems, especially PLTMH, considering that this system is now part of the strategy to meet the needs of many countries, including Indonesia, especially to address the need for electrical energy and empower people in rural areas. The method used in this study is to determine the type of turbine, generator, design a support system (buffer tower), design the upper tub as a forebay before entering the turbine, determine the type of pump to drive water to the tranquilizer basin and design the lower tub as a water reservoir. which can be varied at a height of 0.5-1.5 meters. The results of the research, the turbine used is an open flume 125 propeller turbine as an induction generator HP which is connected to an excitation capacitor in C-2C to produce a 1-phase voltage system, a support tower with a height of 4 meters is designed using a 5 cm angle iron, a tranquilizer bath and the bottom tub is made of 2 mm thick iron plate, the booster pump uses a centrifugal pump with a flow rate of 2600 liters/minute consisting of two pumps each with a flow rate of 1300 liters/minute. The test results obtained an average generator output power of 392.16 Watts at 4 meters head with a voltage of 228 Volts and a frequency of 58 Hz.

Keyword : educational simulator, MHP, open flume turbine, induction generator.

1. PENDAHULUAN

Energi baru/terbarukan menjadi salah satu solusi untuk membantu mengatasi masalah kebutuhan energi terutama di daerah pedesaan. Dari berbagai jenis pembangkit, pembangkit listrik mikrohidro adalah salah satu jenis EBT yang memiliki potensi untuk dikembangkan mengingat potensi tersebut tersedia di banyak daerah di Indonesia. Potensi ini bervariasi tergantung keadaan lingkungan dan lokasinya sehingga perlu dikembangkan disain PLTMH yang fleksible untuk dipasang di daerah tertentu mengikuti struktur tempatnya.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pembangkit listrik model *Run Off River* memiliki Prinsip kerja memanfaatkan ketinggian dan debit air yang ada pada aliran sungai. Air yang mengalir melalui *intake*, diteruskan oleh saluran pembawa hingga penstock, akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan

2. Bak bawah sebagai bak penampung ketika air jatuh dari turbin dan air limbah dari bak atas.
3. Pompa air berfungsi untuk memompa air dari bak bawah menuju bak atas dengan tenaga listrik.
4. Generator sebagai pengubah energi mekanik putaran turbin menjadi energi listrik.
5. Turbin propeller open flume sebagai pengubah energi potensial air menjadi energi mekanis.
6. Panel listrik merupakan sistem kelistrikan alat peraga PLTMH yang terdiri dari dua macam yaitu panel kontrol motor pompa air, dan panel kontrol kendali generator.
7. Pipa pembuangan digunakan untuk mengembalikan air yang berlebih dari bak atas menuju bak bawah.
8. Rangka menara atau *support system* digunakan sebagai penopang bak atas beserta kelengkapannya.
9. Saluran pipa keluaran dari pompa air untuk mengisi bak atas.

Pada prinsipnya pembangkit listrik tenaga air adalah suatu bentuk perubahan energi potensial air yang mengalir diubah menjadi energi mekanik saat memutar turbin. Energi mekanik dari turbin yang berputar kemudian diubah menjadi energi listrik saat poros turbin memutar generator. Oleh karena itu, daya yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga air pada dasarnya adalah fungsi dari head dan debit [5]. Pembangkitan listrik dihitung dengan menggunakan persamaan (1) :

$$P = \eta \times \rho \times g \times Q \times H \quad (1)$$

Dengan,

P : daya dalam Watt

η : efisiensi (mikro = 50-60%, small > 80%)

ρ : densitas air (1000 kg/m³)

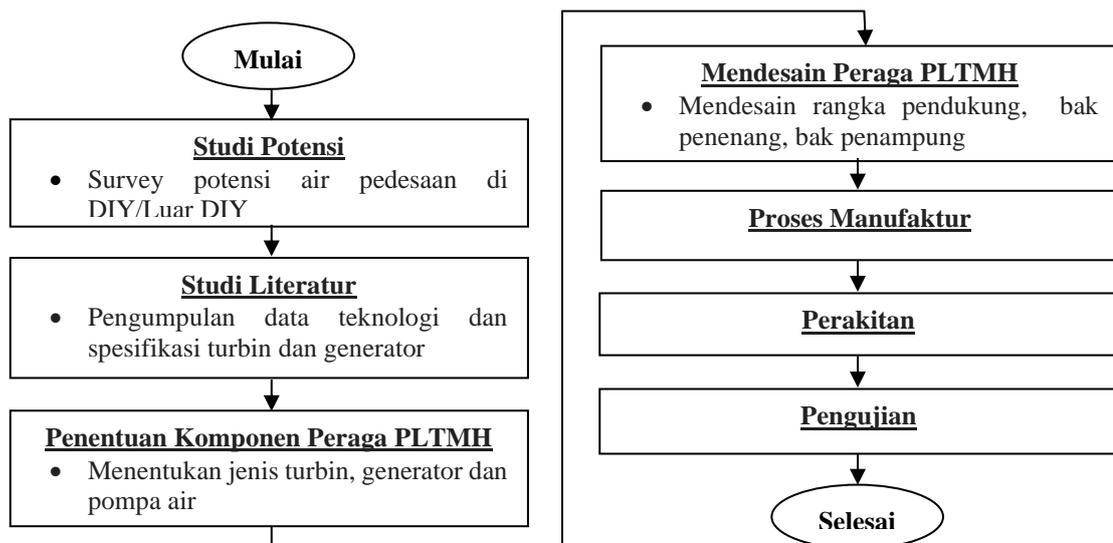
g : percepatan gravitasi (9.81 m/s²)

Q : debit air (m³/s)

H : tinggi jatuh air efektif (m)

2. METODE PENELITIAN

Dalam mendesain peraga PLTMH, diperlukan beberapa tahapan yang dilakukan yaitu studi potensi, studi literatur, penentuan komponen peraga, mendesain peraga PLTMH, manufaktur, perakitan dan pengujian. Proses penelitian dapat dilihat pada Gambar 3. Diagram alir penelitian.

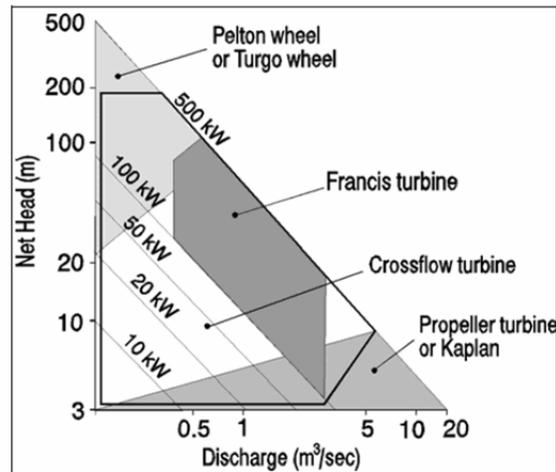


Gambar 3. Diagram alir Penelitian

Penentuan Jenis Turbin

Pemilihan jenis turbin dapat ditentukan berdasarkan kelebihan dan kekurangan dari jenis – jenis turbin untuk desain yang sangat spesifik. Tahap awal, pemilihan jenis turbin dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan parameter – parameter khusus yang mempengaruhi sistem operasi turbin, yaitu :

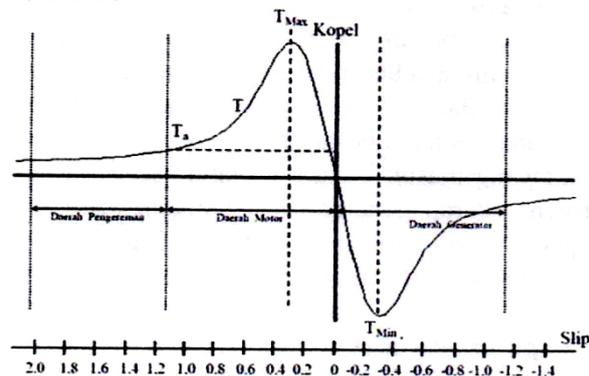
1. Faktor tinggi jatuhnya air efektif dan debit air yang akan dimanfaatkan untuk operasi turbin merupakan faktor utama yang mempengaruhi pemilihan jenis turbin. Sebagai salah satu contoh turbin Pelton yang beroperasi pada tinggi jatuh yang tinggi, sedangkan pada turbin propeller sangat efektif beroperasi pada tinggi jatuh yang rendah dengan jumlah debit air yang besar.
2. Faktor daya yang diinginkan berkaitan dengan debit air dan tinggi jatuh yang tersedia.
3. Faktor kecepatan putar turbin yang akan ditransmisikan ke generator. Sebagai contoh, untuk sistem transmisi *direct couple* antara generator dan turbin pada *head* rendah, turbin *propeller* dapat mencapai putaran yang diinginkan, sementara turbin *pelton* dan *crossflow* berputar sangat lambat (*low speed*) yang akan menyebabkan sistem tidak beroperasi. Pada Gambar.4 merupakan pemilihan jenis turbin berdasarkan tinggi jatuh air dan debit [5].



Gambar 4. Kisaran turbin mikrohidro berdasarkan head dan discharge .

Pemilihan Generator

Generator yang digunakan PLTMH bermacam-macam, salah satunya adalah dengan menggunakan motor induksi sebagai generator atau IMAG (Induction Motor as Asynchronous Generator). Motor induksi dapat digunakan sebagai generator induksi dengan cara memutar rotor diatas putaran medan stator atau bekerja pada slip negatif [6]. Kurva karakteristik Kopel – Kecepatan mesin induksi untuk berbagai macam mode operasi mesin induksi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva Karakteristik Kopel – Slip.

Pada kurva karakteristik kopel – slip, jika pada lengkung kopel-putaran mempunyai tanda yang berlawanan sehingga perkalian kopel nominal T_n dan putaran n menjadi negatif, maka mesin induksi bekerja sebagai generator. Agar generator induksi dapat menghasilkan tegangan, syarat lain yang dibutuhkan adalah adanya arus eksitasi.

Arus eksitasi untuk generator induksi diperoleh dari pemasangan kapasitor, dimana kapasitor ini dapat terhubung secara bintang, segitiga maupun terhubung secara C-2C. Untuk hubungan kapasitor secara C-2C maka motor induksi tiga fasa akan bekerja seolah-olah menjadi generator fasa tunggal [7]. Untuk motor induksi

tiga fasa dengan tegangan antar fasa V_{L-L} terhubung delta, faktor daya pf dan arus beban penuh I_{FL} , maka daya semu (S) dinyatakan seperti persamaan (2).

$$S = \sqrt{3} V_{L-L} I_{FL} \quad (2)$$

Sehingga daya output generator P diperoleh seperti pada persamaan (3);

$$P = \frac{1}{2} S \times \cos \varphi = \frac{1}{2} S \times pf \quad (3)$$

Jika kapasitor terhubung secara C-2C, maka berlaku hubungan tegangan V_{L-L} sama dengan tegangan V_{fasa} . Sehingga arus fasa dan besarnya nilai kapasitor dapat ditentukan dengan persamaan (4) dan persamaan (5).

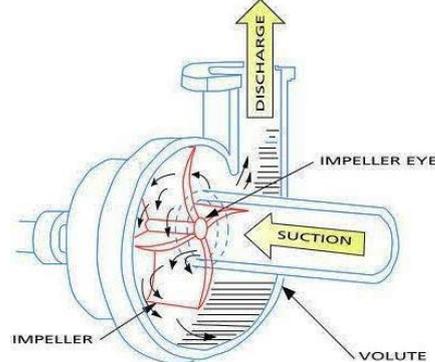
$$I_{fasa} = \frac{Q_{fasa}}{V_{fasa}} \quad (4)$$

$$C_1 = \frac{I_{fasa}}{2 \pi f V_{fasa}} \quad (5)$$

Pemilihan Pompa

Pompa air merupakan salah satu pendukung yang penting sebagai pemasok air pada alat peraga PLTMH ini. Pompa air di tentukan berdasarkan debit air yang dibutuhkan hasil perhitungan maupun berdasarkan spesifikasi turbin yang digunakan.

Pompa sentrifugal (*centrifugal pump*) merupakan pompa *non positive displacement* sangat sering digunakan di industri yang memanfaatkan gaya sentrifugal menjadi *head* untuk memindahkan zat cair. Contoh gambar pompa sentrifugal diperlihatkan pada Gambar 6. Akibat bentuk konstruksinya, pompa sentrifugal menjadikan aliran fluida yang keluar dari impellernya tegak lurus poros pompa secara kontinyu.

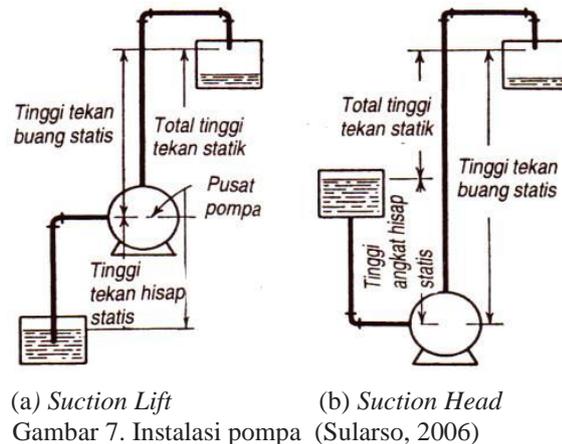


Gambar 6. Pompa Sentrifugal (Sularso, 2006)

Perlu di perhitungkan pula bahwa instalasi pompa akan berpengaruh pada *head* pompa. *Head* pompa adalah energi per satuan berat fluida yang diberikan oleh pompa, sehingga fluida mengalir dari *suction* ke *discharge*. *Head* pompa terdiri atas *head* statis dan *head* dinamis. *Head* statis meliputi *Pressure Head* dan *Elevation Head*. *Pressure Head* merupakan energi yang terdapat pada fluida akibat perbedaan tekanan antara *suction reservoir* dengan *discharge reservoir*. Sedangkan *Elevation Head* merupakan *head* yang terjadi akibat beda ketinggian dari permukaan fluida di *suction reservoir* dengan permukaan fluida di *discharge reservoir* dengan sumbu pompa sebagai acuannya [8]. Sehingga dengan demikian ada dua kondisi instalasi, yaitu: *Suction Head* dan *Suction Lift*. Peraga PLTMH bekerja pada sistem *Suction Lift*, yaitu kondisi instalasi pipa dimana permukaan fluida terletak dibawah sumbu pompa. Dengan H_a adalah *head* pompa, H_d adalah *head* discharge, dan H_s adalah *head suction*, maka besarnya *elevation head* diperlihatkan pada Persamaan (6).

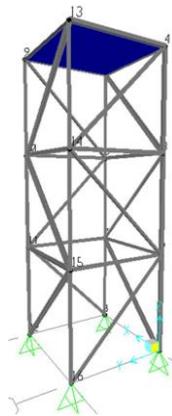
$$H_a = H_d + H_s \quad (6)$$

Gambar 4 memperlihatkan instalasi pipa *suction*, yaitu *suction lift* dan *suction head*.



Desain Peraga PLTMH

Desain peraga PLTMH meliputi perancangan menara pendukung yang dibuat terpisah dengan bak bawah dan bak atas sebagai *forebay*. Menara pendukung ditinggikan dan dibangun untuk menampung persediaan air yang akan masuk ke turbin. Struktur rangka ruang yang diterapkan pada menara pendukung peraga PLTMH mampu menahan gaya aksial yang terjadi pada elemen-elemen batang pada hingga masa 4000 kg pada kondisi beban statis [9].



Gambar 8. Model struktur menara rangka batang ruang (Agthen, Y.A., 2019)

Struktur rangka batang ruang menara ini menggunakan besi siku 50 mm dengan ketinggian 4 meter, dengan panjang 1 meter dan lebar 1 meter.

Bak bawah didesain memiliki ketinggian 1,5 meter dengan panjang 1 meter dan lebarnya 1 meter. Sehingga volume bak bawah sebesar 2,25 m³, atau sebesar 2250 liter. Bahan untuk pembuatan bak bawah ini adalah bahan plat besi SS400. Untuk menentukan ketebalan plat besi bak bawah, digunakan Persamaan (7).

$$t = \frac{P \cdot D \cdot x}{2 z \sigma_b} + 1 \quad (7)$$

dengan :

t : ukuran tebal pelat (mm)

P : tekanan (kg/cm²)

D : garis tengah bagian dalam (mm)

σ_b : kekuatan tarik bahan pelat (kg/mm²)

x : koefisien ketentuan pada kampuh las dua sisi (4,5 sampai 7)

z : prosen-kampuh besarnya 60%-90% dan bahan tidak pakai kampuh 100%

Apabila tekanan p (kg/cm²), ρ adalah berat jenis cairan dan H adalah tinggi zat cair, maka besarnya tekanan p bak air bawah dapat dihitung [10]. Untuk menghitung tekanan menggunakan persamaan (8)

$$p = \frac{H \rho}{10} \quad (8)$$

Bak atas dirancang sebagai tempat turbin dan juga sebagai bak penenang, memiliki diameter 57 cm dengan ketinggian 90 cm, dan dibagian depan dibuat bak penenang dengan ukuran 25 cm lebar 50 cm dan tinggi 90 cm. Dinding bak atas juga menggunakan plat baja SS400.

3. HASIL DAN ANALISIS

Hasil penelitian ini berupa rancangan model peraga PLTMH yang meliputi hasil perhitungan, gambar desain, manufaktur dan perakitan, serta pengujian.

3.1. Hasil Perancangan

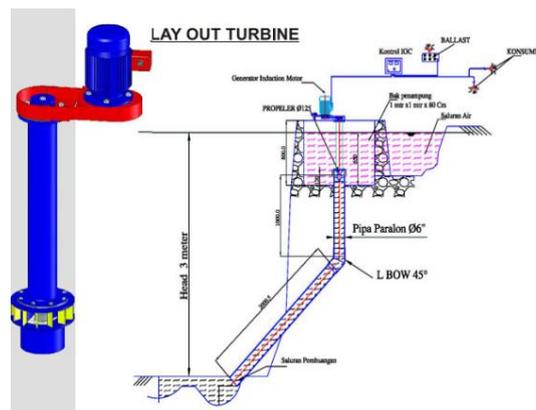
Berdasarkan perhitungan pemilihan dan penentuan komponen utama, maka desain peraga PLTMH didapatkan hasil sebagai berikut :

Turbin yang digunakan

Turbin peraga PLTMH ini ditentukan berdasarkan *head* perencanaan yaitu 4 m agar peraga dapat dilakukan variasi head mulai dari 3,2 meter sampai dengan 4 meter. Metoda yang digunakan dalam pemilihan turbin ini menggunakan Gambar 2, yaitu untuk turbin dengan *head* rendah dibawah 10 meter lebih tepat menggunakan turbin jenis *propeller*. Dari hasil studi literatur mengenai teknologi dan spesifikasi turbin, maka diperoleh tipe turbin yang memenuhi syarat yaitu turbin *propeller open flume* ϕ 125 mm. Spesifikasi turbin *propeller open flume* ϕ 125 mm seperti ditunjukkan pada Tabel 1, debit operasi turbin tersebut adalah 35 liter/detik untuk menghasilkan daya maksimal 550 Watt. Gambar turbin *propeller open flume* ϕ 125 serta kontruksi yang direkomendasikan oleh pabrik dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 1 Data spesifikasi turbin *propeller open flume* ϕ 125 mm

Data Turbin	Spesifikasi teknis
Merek	Hanjuang
Tipe	O.F.125
Daya	550 watt
Putaran	1500 rpm
Jumlah unit	1
Debit air	35 liter/detik
Head / tinggi jatuh	3 meter
Propeller tipe	<i>fix blade</i>
Propeller diameter	125 mm
Guide vane	<i>fix guidevane</i>



Gambar 9. Turbin *propeller open flume* ϕ 125 dan kontruksi yang direkomendasikan oleh pabrik

Generator

Generator pada peraga PLTMH ini diperoleh dengan menyesuaikan dengan daya yang dihasilkan oleh turbin *propeller open flume* ϕ 125 yaitu 550 watt, sehingga motor induksi yang akan digunakan sebagai generator (IMAG), berdasarkan turbin tersebut dipilihlah generator induksi merk TECO yang memiliki daya output $\frac{3}{4}$ HP. Spesifikasi teknis generator induksi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi teknis motor induksi yang dioperasikan sebagai generator (IMAG)

Data motor induksi	Spesifikasi teknis
merek	Teco Electric
Type:	AEVBKB04R750FU
Motor	0,75 HP
Output:	0,55 kW
Voltage :	220/380
Current :	2,6/1,5 A
Frequency:	50 Hz
Speed :	1405 rpm
Protection grade:	IP 55
Weight :	16,5 Kg
Connection :	Δ / Y BRG 6204ZZ 6204ZZ 2013
Poles	4
BSEN	60034
Ser. No	P2139016006

Untuk menghitung daya motor induksi saat menjadi generator, dengan menggunakan Persamaan (3) dengan tegangan V_{L-L} seperti ditunjukkan pada Tabel 2 adalah 220 Volt (tegangan hubungan delta), dan I_{F-L} sebesar 2,6A maka daya generator yang dihasilkan adalah :

$$S = \sqrt{3} \times 220 V \times 2,6 A$$

$$S = 990,73 \text{ VA}$$

Sehingga dengan menggunakan Persamaan (3) dengan pf adalah 1, maka didapatkan daya generator P adalah $P = \frac{1}{2} \times 990,73 \times 1 = 495,36 \text{ Watt}$

Besarnya kapasitor eksitasi yang dibutuhkan diperoleh dengan menggunakan Persamaan (5) , maka diperoleh

$$C_1 = \frac{2,6 A}{2 \times \pi \times 50 \text{ Hz} \times 220 V}$$

$$C_1 = 37,6 \mu\text{F} \approx 38 \mu\text{F} . \text{ Sehingga } C_2 = 37,6 \mu\text{F} \times 2 = 75,2 \mu\text{F} \approx 76 \mu\text{F}.$$

Pompa

Pompa air yang digunakan ditentukan berdasarkan debit yang dibutuhkan oleh turbin *propeller open flume* ϕ 125 yaitu sebesar 35 liter/detik atau 2100 liter/menit. Berdasarkan debit itu, alat peraga PLTMH ini menggunakan 2 unit pompa air SHIMGE SHF 6A yang memiliki debit 1300 liter/menit sehingga debit total kedua pompa air itu sebesar 2600 liter/menit. Spesifikasi pompa air yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Spesifikasi teknis pompa air SHIMGE SHF 6A

SHIMGE	Spesifikasi
Merek	SHIMGE
Model	SHF 6A
Daya	2200 watt
HP	3 HP
Voltage	380
Debit	1300 liter/menit
Daya dorong	0-18 meter
Ukuran Pipa	3 inci

Menara pendukung

Struktur rangka menara ini menggunakan besi siku 50 mm dengan ketinggian 4 meter panjang 1 meter dan lebar 1 meter. Proses pembuatan menara dilakukan dengan teknik sambungan las. Struktur rangka ruang diterapkan pada menara pendukung peraga PLTMH sehingga mampu menahan gaya aksial yang terjadi pada elemen-elemen batang hingga masa 4000 kg. Hasil perancangan seperti pada Gambar 10a.

Bak bawah

Bak bawah didesain memiliki dimensi panjang 1,5 meter, lebar 1 meter dan tinggi 1,5 meter dengan sambungan las. Sehingga volume bak bawah sebesar $2,25 \text{ m}^3$, atau 2250 liter. Bahan yang digunakan untuk membuat dinding bak bawah ini adalah plat besi SS400 dengan tegangan tarik maksimum 2280 kg/cm^2 atau 22 kg/mm^2 . Untuk menentukan ketebalan plat besi dinding bak bawah, menggunakan Persamaan (8), dengan tinggi air H 1,5 meter dan densitas air 1000 kg/m^3 tekanan yang bekerja pada bak bawah sebesar:

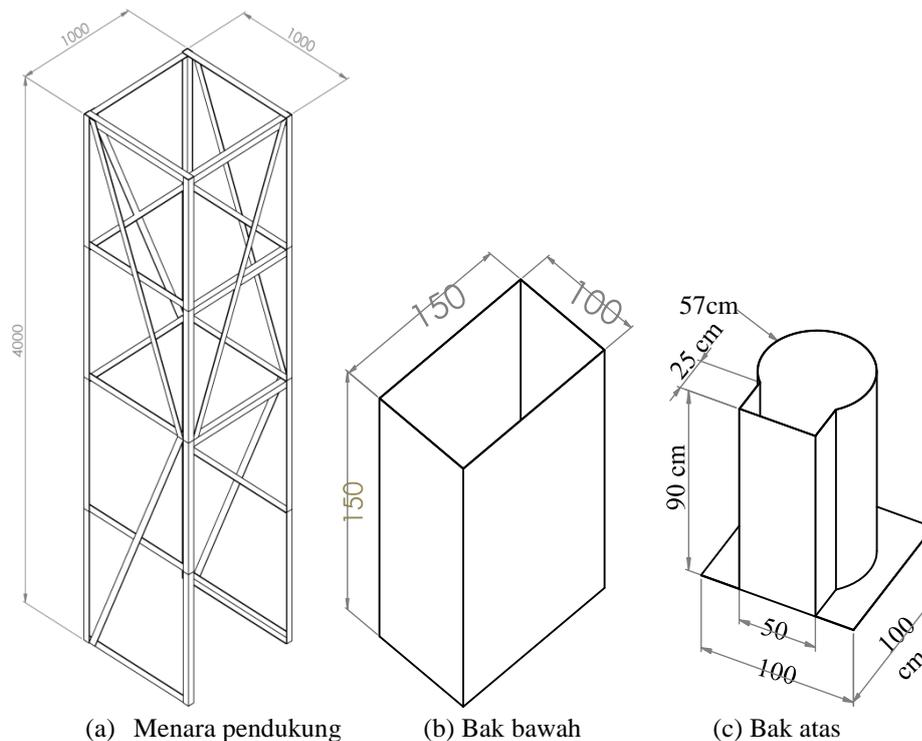
$$p = \frac{1,5 \text{ meter} \times 1000 \text{ kg/m}^3}{10} = 150 \text{ kg/m}^2 = 0,15 \text{ kg/cm}^2$$

Sehingga dengan Persamaan 7, didapatkan ketebalan plat baja untuk dinding bak bawah adalah:

$$t = \frac{P \cdot D \cdot x}{2 \cdot z \cdot \sigma_b} + 1 = \frac{0,15 \times 1500 \times 4,5}{2 \times 60 \times 22} + 1 = 1,38 \text{ mm}. \text{ Maka digunakan plat baja SS400 dengan tebal } 2 \text{ mm}. \text{ Desain bak bawah dapat dilihat pada Gambar 10 b.}$$

Bak atas (forebay)

Bak atas dirancang sebagai tempat turbin dan juga sebagai bak penenang, memiliki diameter 57 cm dengan ketinggian 90 cm, dan dibagian depan dibuat bak penenang dengan ukuran $25 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 90 \text{ cm}$ dengan sambungan las. Bahan yang digunakan untuk membuat bak atas juga memakai plat baja SS400. Dengan perhitungan yang sama dengan bak bawah, maka bak atas ini juga menggunakan bahan plat baja SS400 ketebalan 2 mm. Desain bak atas dapat dilihat pada Gambar 10c.



Gambar 10. Hasil desain menara pendukung, bak bawah dan bak atas untuk peraga PLTMH

Perakitan

Setelah dilakukan perhitungan untuk penentuan komponen dan dilakukan proses manufaktur kerangka menara, bak atas dan bak bawah peraga PLTMH, proses selanjutnya adalah merakit dan menginstalasi peraga PLTMH. Langkah-langkah perakitan adalah sebagai berikut :

1. Menempatkan menara pada ruang terbuka dengan permukaan lantai yang datar dan diseting menggunakan *waterpass*.
2. Menempatkan bak atas dan bak bawah simetris dengan titik tengah menara, kemudian ketiganya dihubungkan dengan boud menjadi satu agar tidak terjadi *displacement*.
3. Memasang pipa *draft tube* dengan diameter 5 inci (rekomendasi pabrik) dari lubang bawah yang terdapat pada bak atas ke bak-bawah dan ujung pipa bagian bawah dipasang knie.

4. Menginstalasi sistem pemipaan pompa air, dan menginstalasi kelistrikannya.
5. Turbin dan generator dihubungkan kedua porosnya menggunakan transmisi puli dan belt dan dipasang pada bak atas, tegak lurus pada titik pusat lubang *draft tube* dan disambung dengan baud.
6. Menginstalasi generator, IGC (*Induction Generator Controller*), kapasitor eksitasi, beban listrik, dan *ballast load*.

Hasil perakitan komponen peraga PLTMH dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Peraga PLTMH setelah dirakit

3.2. Hasil Pengujian

Pengujian peraga PLTMH dilakukan dengan memvariasikan *head*, yaitu dengan cara mengatur ketinggian air yang terdapat pada bak bawah. Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu semua komponen peraga PLTMH dilakukan pengecekan akhir untuk memastikan sudah terinstalasi dan terpasang dengan baik.

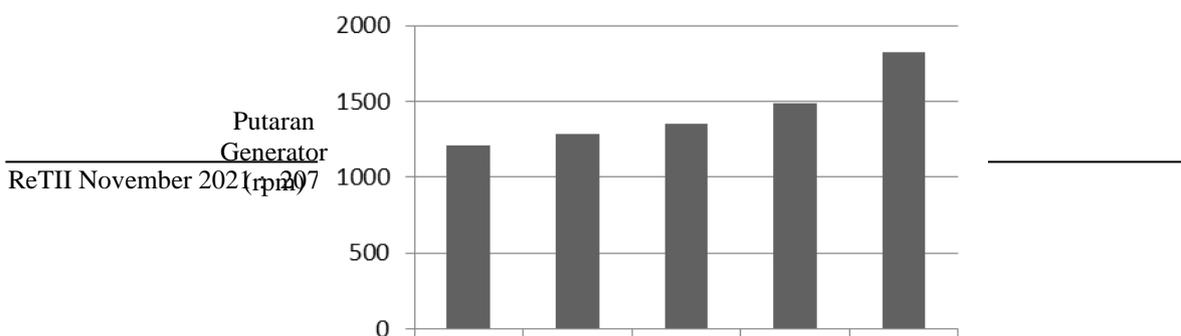
Pada pengujian ini, generator di hubungkan ke panel kontrol IGC (*Induction Generator Controller*) yang sudah tersedia dan generator terhubung delta. Kapasitor eksitasi dipasang sesuai hasil perhitungan yaitu $38 \mu\text{F}$ untuk C1 dan $76 \mu\text{F}$ untuk C2. Variasi *head* yang dilakukan dimulai dari 3,2 m; 3,4 m; 3,6 m; 3,8 m; hingga 4 m. Data hasil pengujian didapatkan seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian peraga PLTMH dengan 5 variasi *head*

Head (m)	RPM	Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Herz)	Daya (Watt)
3,2	1210	1,2	220	45	264
3,4	1285	1,3	220	46	286
3,6	1350	1,44	221	47	318,24
3,8	1490	1,58	224	48,8	353,92
4,0	1820	1,72	228	58	392,16

Hubungan *head* terhadap putaran generator

Hubungan antara ketinggian *head* dengan putaran generator dapat dilihat pada Gambar 12.

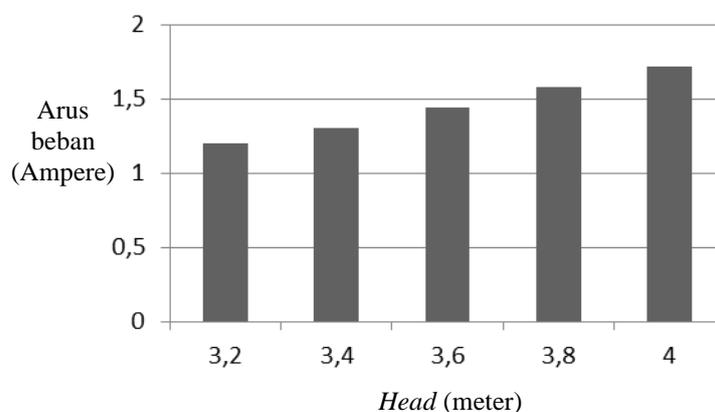


Gambar 12. Grafik Hubungan *Head* Terhadap Putaran Generator

Dari Gambar 12 terlihat bahwa pada tinggi jatuh air 3,2 meter menghasilkan putaran generator 1210 rpm. Dan pada tinggi jatuh air 4 meter, putaran generator naik hingga 1820 rpm. Keadaan ini menunjukkan bahwa ketinggian air (*head*) akan berpengaruh terhadap putaran generator. Semakin tinggi *head* air, putaran generator semakin meningkat. Dalam kasus umum dilapangan pada pembangkit mikrohidro hal ini terjadi saat musim hujan, curah hujan yang meningkat menyebabkan ketinggian permukaan air meningkat yang menyebabkan putaran generator menjadi tinggi mengakibatkan daya generator juga akan meningkat. Sedangkan pada musim kemarau, ketinggian air akan berkurang sehingga putaran generator juga akan mengalami penurunan yang menyebabkan generator mengalami penurunan daya. Pada kasus putaran generator meningkat akan menyebabkan *over speed*, hal ini akan berpengaruh terhadap kualitas daya yang dihasilkan baik tegangan maupun frekuensi menjadi naik. Kenaikan putaran turbin yang sangat signifikan akan berpengaruh buruk terhadap sistem mekanik pada generator maupun turbin, yang akan berakibat cepat ausnya *bearing* atau bantalan poros, sehingga menyebabkan berkurangnya umur pakai suku cadang generator dan turbin. Hal ini dapat ditanggulangi dengan menambah peralatan kontrol *vane guide* atau kontrol katub pada *intake* sehingga putaran turbin dan generator dapat dijaga konstan

Hubungan *head* terhadap arus beban

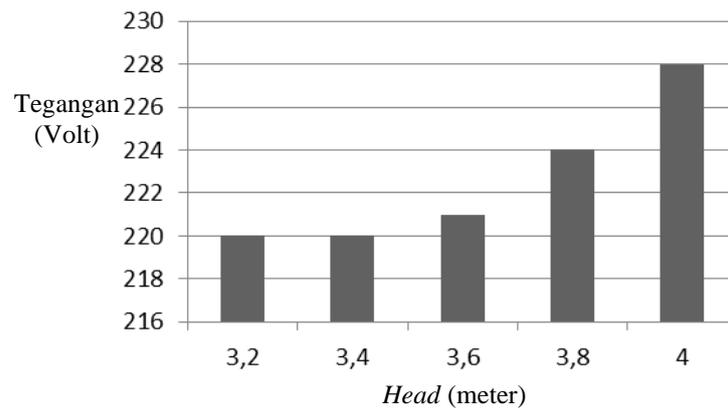
Hubungan antara ketinggian head dengan arus beban dapat dilihat pada Gambar 13.

Gambar 13. Grafik Hubungan *Head* Terhadap Arus Beban

Dari Gambar 13 terlihat bahwa pada head 3,2 arus beban listrik menunjukkan 1,2 Ampere dan pada tinggi jatuh air 4 meter, arus listrik yang dihasilkan adalah 1,72 Ampere. Arus listrik yang diukur adalah penjumlahan dari arus beban dan arus *ballast load*. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian air (*head*) akan berpengaruh terhadap arus beban. Semakin tinggi *head* air, mempengaruhi kualitas output generator sehingga tegangan generator meningkat menyebabkan arus beban akan naik. Apabila kenaikan arus ini sangat signifikan, akan mempengaruhi kinerja peralatan yang tersambung pada listrik mikrohidro ini. Arus yang berlebihan dapat menyebabkan peralatan listrik menjadi panas atau *over heat*. Di sisi konsumen, hal ini dapat diatasi dengan menambah peralatan berupa *stabilizer* tegangan yang dipasang secara seri dengan beban listrik, sehingga tegangan yang dicatu oleh beban listrik akan stabil dan arus pada beban akan normal.

Hubungan *head* terhadap tegangan generator

Hubungan antara ketinggian head dengan tegangan generator dapat dilihat pada Gambar 14.

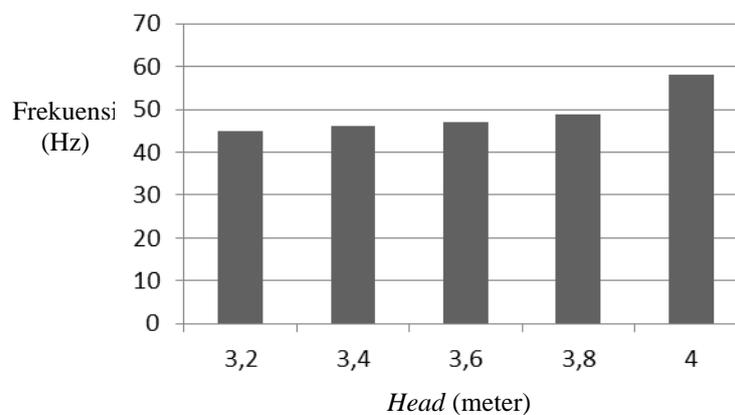


Gambar 14. Grafik Hubungan *Head* Terhadap Tegangan Generator

Dari Gambar 14 tegangan generator terukur sebesar 220 pada tinggi jatuh air 3,2 meter. Dan pada tinggi jatuh air 4 meter, tegangan generator naik menjadi 228 Volt. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian air (*head*) akan berpengaruh terhadap tegangan generator. Semakin tinggi *head* air, mempengaruhi kualitas output generator sehingga tegangan generator meningkat. Peningkatan tegangan yang sangat signifikan akan menyebabkan kerugian terutama pada beban listrik yang dicatunya karena arus beban menjadi meningkat. Pada kasus ini, tegangan kerja yang dihasilkan oleh peraga PLTMH masih memenuhi syarat. Menurut peraturan Standar Perusahaan Listrik Negara [11] tentang ketentuan variasi tegangan pelayanan, bahwa variasi tegangan pelayanan ditetapkan maksimum +5%, sedangkan minimum -10%. Sehingga untuk tegangan kerja 220V, batas tegangan yang diizinkan berkisar antara 198 volt s/d 231 volt.

Hubungan *head* terhadap frekuensi generator

Hubungan antara ketinggian head dengan frekuensi generator dapat dilihat pada Gambar 15.

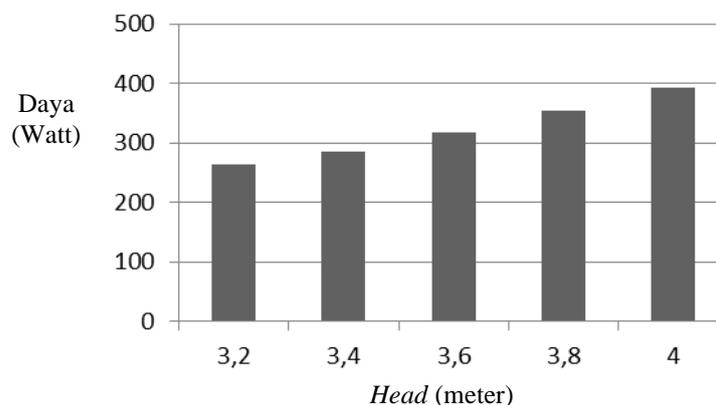


Gambar 15. Grafik Hubungan *Head* Terhadap Frekuensi Generator

Dari Gambar 15 didapatkan pada ketinggian jatuh air 3,2 meter frekuensi generator sebesar 45 Hz. Dan pada tinggi jatuh air 4 meter, frekuensi naik menjadi 58 Hz. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian air (*head*) akan berpengaruh terhadap frekuensi generator. Semakin tinggi *head* air, akan menyebabkan putaran turbin semakin cepat sehingga frekuensi generator naik. Fluktuasi frekuensi ini akan mempengaruhi beban listrik yang dicatunya seperti panas yang berlebihan dan menurunnya umur pakai peralatan listrik. Perubahan frekuensi ini akan sangat terasa pengaruhnya pada beban motor listrik. Semakin tinggi frekuensi, putaran motor listrik yang mencatu listrik mikrohidro akan mengalami penambahan kecepatan, demikian juga sebaliknya penurunan frekuensi akan menyebabkan menurunnya putaran motor listrik. Kenaikan frekuensi ini bisa ditanggulangi dengan peralatan kontrol *guide vane* atau kontrol katub pada pembangkit mikrohidro agar frekuensi selalu terjaga kestabilannya.

Hubungan *head* terhadap daya generator

Hubungan antara ketinggian *head* dengan tegangan generator dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Hubungan *Head* Terhadap Daya Generator

Dari Gambar 16 menunjukkan bahwa ketinggian air (*head*) 3,2 meter menghasilkan daya sebesar 264 watt dan pada ketinggian air 4 meter daya listrik yang dihasilkan sebesar 391,6 watt. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketinggian jatuh air berbanding lurus terhadap daya turbin. Semakin tinggi *head* atau jatuhnya air, maka gaya potensial air yang diterima turbin akan semakin besar sehingga generator menghasilkan daya listrik yang semakin besar.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian Desain Peraga Pendidikan Pembangkit Listrik Mikrohidro, dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah didesain alat Peraga Pendidikan Pembangkit Listrik Mikrohidro menggunakan turbin *propeller open flume* diameter 125 mm dengan ketinggian jatuh air yang dapat diatur dari 3,2 – 4 meter.
2. Pengujian peraga PLTMH didapatkan daya terendah yaitu 264 watt pada tinggi jatuh air 3,2 meter. Sedangkan daya tertinggi yaitu 391,6 watt pada tinggi jatuh air 4 meter. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi jatuhnya air semakin besar daya listrik yang dihasilkan.
3. Tegangan generator sebesar 220 volt pada tinggi jatuh air 3,2 meter. Dan 228 Volt pada tinggi jatuh air 4 meter. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan *head* akan berpengaruh terhadap kenaikan tegangan generator.
4. Frekuensi generator sebesar 45 Hz pada ketinggian jatuh air 3,2 meter. Dan 48 Hz pada tinggi jatuh air 4 meter. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi jatuhnya air akan mempercepat putaran turbin dan menyebabkan frekuensi generator meningkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Pak Haerul, pak Ismail dan Bu Ardina. Dan seluruh Civitas akademika Politeknik Teknologi Nuklir Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hanggara I. Potensi PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) Di Kecamatan Ngantang Kabupaten Malang Jawa Timur. *Jurnal Reka Buana*. 2017; 2 : 149-155
- [2] Ridwan KA. Simulasi Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Crossflow Ditinjau dari Ketinggian Debit dan Arah Aliran. *Jurnal Kinetika*. 2021; 12(01): 40-44
- [3] Kusumawati P. Potensi Selokan Mataram: ulasan keadaan fisik dan kualitas airnya. *Jurnal Pendidikan Geografi: Kajian, Teori, dan Praktik dalam Bidang Pendidikan dan Ilmu Geografi*. 2019 ;24(2) : 108-118
- [4] Purnama A. Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Tinjauan Teknis. *Jurnal Riset Kajian Teknologi dan Lingkungan (JRKTL)*. 2018; I (2) : 124 - 130
- [5] Basnyat D. Fundamentals of Small Hydro Power Technologies. Training Background Material. Nepal : Afrepren/FWD. 2006 : pages 9-12
- [6] Daud A. Rancang Bangun IGC Sebagai Regulator Frekuensi pada Generator Induksi. *Jurnal Teknik Energi*. 2016; 6 (2) : 556-564
- [7] Berlianti R. Analisis Motor Induksi Fasa Tiga Tipe Rotor Sangkar Sebagai Generator Induksi Dengan Variasi Hubungan Kapasitor Untuk Eksitasi. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*. 2015; 4 (1) : 110-119

-
- [8] Permana D S. Analisa Jenis Dan Spesifikasi Pompa Air Bersih Gedung Pabrik Perakitan PT ADM. *Sinergi*. 2017; 21(2) : 91-100
- [9] Agthen Y A. Analisa Rangka Batang Struktur Menara Tangki Air Akibat Gempa. *Jurnal Sipil Statik*. 2019 ; 7 (8) : 1027-1038
- [10] Atmojo S. Perancangan Tangki Penyedia Air Kapasitas 1000 Liter. *Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir*. 2012 ; II : 472-478
- [11] Standar Perusahaan Listrik Negara, SPLN 1, *Tegangan Tegangan Standar*, Indonesia, PT Perusahaan Listrik Negara (PERSERO), 1995