

STUDI PEMANFAATAN SALURAN IRIGASI DI DESA PORAME UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PICOHIDRO (PLTPH) MENGGUNAKAN GENERATOR SINKRON MAGNET PERMANEN SATU FASE

Ahmad Antares A¹, Nurhani A², Maryantho M³, Yulius S P⁴, Yusnaini A⁵, Melki Bunga⁶

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako^{1,2,3,4,5,6}
email : rfauzi86@gmail.com²

ABSTRACT

Hydropower plants (PLTA), micro-hydro plants (PLTMH), and pico-hydro plants (PLTPH) in Indonesia use generators with excitation systems to generate fields or magnetic field amplifiers. The use of excitation systems in generators has several drawbacks. In the era of technological development, various types of generators have been developed, one of which is the permanent magnet generator. The Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) has separate excitation from the synchronous generator and is carried out by permanent magnets to generate the magnetic field instead of coils. This research aims to explore the potential of irrigation channels being utilized as PLTPH using permanent magnet generators. The research method used is the experimental method. The experimental research method is a true experimental method where the equipment is tested and examined. Experimentation involves observation under artificial conditions, where these conditions are created and controlled by the researcher. This study shows that the irrigation channel in Porame Village has the potential to be used as a Pico-Hydro Power Plant (PLTPH) to provide electrical energy as an alternative lighting source, especially at night and during power outages from the national electricity grid (PLN). From the measurement and calculation results, the water flow rate at night is 0.3835 m³/s, with the water power being Pair = 1,901 watts. The type of turbine used is a crossflow turbine, utilizing a permanent magnet synchronous generator.

Keywords : Pico-Hydro Power Plant (PLTPH), Irrigation Channel, Turbine, Permanent Magnet Synchronous Generator

INTISARI

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), dan Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) di Indonesia menggunakan generator dengan sistem eksitasi untuk membangkitkan medan atau penguat medan magnet. Penggunaan sistem eksitasi pada generator memiliki beberapa kelemahan. Di era perkembangan teknologi, berbagai jenis generator telah dikembangkan, salah satunya adalah generator magnet permanen. Generator Sinkron Magnet Permanen (PMSG) memiliki eksitasi yang terpisah dari generator sinkron dan dilakukan oleh magnet permanen untuk membangkitkan medan magnet sebagai pengganti kumparan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi saluran irigasi yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTPH dengan menggunakan generator magnet permanen. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen. Metode penelitian eksperimen merupakan metode eksperimen sesungguhnya di mana peralatan diuji dan diperiksa. Eksperimen melibatkan pengamatan dalam kondisi buatan, di mana kondisi tersebut diciptakan dan dikendalikan oleh peneliti. Penelitian ini menunjukkan bahwa saluran irigasi di Desa Porame berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) untuk menyediakan energi listrik sebagai sumber penerangan alternatif, terutama pada malam hari dan saat terjadi pemadaman listrik dari jaringan listrik nasional (PLN). Dari hasil pengukuran dan perhitungan, didapatkan debit air pada malam hari sebesar 0,3835 m³/s, dengan daya air Pair = 1.901 watt. Jenis turbin yang digunakan adalah turbin crossflow, memanfaatkan generator sinkron magnet permanen.

Kata kunci: Pembangkit Piko Hydro, Irigasi, Turbin.

I. PENDAHULUAN

Air adalah salah satu sumber energi baru dan terbarukan (EBT) yang berlimpah di Indonesia. Indonesia memiliki sedikitnya 5.590 sungai utama dan 65.017 anak sungai yang terbesar di Nusantara. Maka dari itu, air mudah didapatkan sehingga bisa digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga air (PLTA) yang berskala besar maupun yang berskala kecil seperti *micro hidro* (5 kW – 1 MW), dan *pico hidro* (< 5 kW). Pembangkit listrik tenaga *pico hidro* (PLTPH) merupakan alternatif pembangkit listrik berskala kecil yang cocok untuk daerah pedesaan yang memiliki aliran air dengan beda ketinggian tertentu dan mempunyai debit air yang konstan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan energi gerak yang akan diubah oleh generator untuk menjadi energi listrik [1].

Pembangkit listrik tenaga air *micro hidro* (PLTMH), dan *pico hidro* (PLTPH) di Indonesia umumnya menggunakan generator dengan sistem eksitasi sebagai pembangkit medan atau penguat medan magnet. Namun, penggunaan sistem eksitasi pada generator memiliki beberapa kelemahan. Pada sistem eksitasi dengan sikat (*brush excitation*) harus dilakukan pemeriksaan sikat arang secara berkala dan timbulnya percikan bunga api saat putaran tinggi. Pada sistem eksitasi tanpa sikat (*brushless excitation*) harus memiliki sistem proteksi terhadap hubung singkat atau gangguan hubung tanah di rotor. Apabila terdapat gangguan pada rotor yang sedang berputar dapat menimbulkan distorsi medan magnet sehingga menimbulkan vibrasi (getaran) yang berlebih pada unit pembangkit [2].

Seiring dengan kemajuan teknologi telah dikembangkan generator magnet permanen. Magnet permanen adalah salah satu material dengan penggunaan yang luas pada berbagai macam industri dan merupakan material yang sangat strategis. Magnet permanen adalah suatu bahan yang dapat menghasilkan medan magnet yang besarnya tetap tanpa adanya pengaruh dari luar atau disebut magnet alam karena memiliki sifat kemagnetan yang tetap. Generator magnet

permanen memiliki keunggulan yaitu mudah dalam pemasangan magnet permanen ke inner-rotor dan minim biaya perawatan dibandingkan dengan generator sistem eksitasi [3].

Untuk membuat pembangkit listrik berskala piko hidro, tentunya harus memilih generator dan turbin secara tepat. Turbin digunakan sebagai penggerak awal dengan memanfaatkan energi potensial air dari saluran air yang tersedia. Dalam penelitian ini dipilih turbin *crossflow*, karena hanya memerlukan debit air dengan *head* rendah, dan memiliki teknologi yang sederhana yakni mudah dalam pembuatan, perawatan, konstruksi sederhana serta daya yang dihasilkan besar. Turbin *crossflow* menggunakan *nozzle* persegi panjang yang lebarnya sesuai dengan lebar *runner* (bagian turbin yang berputar). Sedangkan generator yang digunakan adalah tipe generator sinkron magnet permanen satu fase. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar potensi daya yang dapat dibangkitkan oleh generator magnet permanen sebagai pembangkit listrik tenaga *pico hidro* (PLTPH) dengan memanfaatkan saluran irigasi yang ada di Desa Porame.

II. LANDASAN TEORI

A. Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro

Pembangkit listrik tenaga *pico hidro* adalah salah satu pembangkit listrik alternatif untuk pembangkit skala kecil yang cocok dibuat di daerah pedesaan yang dimana terdapat sungai, air terjun maupun irigasi yang memiliki debit air yang konstan dan tinggi jatuh air relatif rendah untuk menggerakkan turbin. Turbin ini dikopel dengan generator untuk menghasilkan listrik. *Pico hidro* adalah istilah yang digunakan untuk pembangkitan listrik tenaga air dengan kapasitas di bawah 5 kVA bahkan lebih kecil yang berkisar antara 200- 300 VA. *Pico hidro* dapat dihasilkan dari turbin yang diputar oleh aliran air alam pada kemiringan setinggi minimal satu meter. Kapasitas daya yang dihasilkan tidak besar dan

beban yang sesuai adalah untuk penerangan lampu [4].

B. Debit Air

Debit air merupakan hal yang sangat menentukan dalam perencanaan turbin arus ini, karena daya yang dihasilkan oleh turbin sangat tergantung pada debit air yang tersedia. Menurut persamaan kontinuitas debit air yang mengalir dapat ditentukan dengan persamaan [4] :

$$Q = V \times A \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

Q = debit air (m³/det)

V = kecepatan aliran air (m/det)

A = luas penampang aliran (m)

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

$$A = l \times d \dots \dots \dots (3)$$

S = Jarak pelampung dialirkan (m)

t = Waktu yang ditempuh pelampung (s)

l = Lebar basah saluran air (m)

d = Kedalaman air (m)

C. Daya Hidraulik Tenaga Air

Besarnya potensi hidrolis ditentukan oleh besarnya debit air Q dan ketinggian kemiringan sungai atau head (h). Secara matematis, besarnya potensi hidrolis dari suatu potensi energi pikrohidro dapat dijelaskan dengan persamaan berikut [4] :

$$P_{air} = \rho \times g \times Q \times H \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

P_{air} = daya hidraulik (Watt)

ρ = kerapatan massa air = 1000 kg/m³

g = percepatan gravitasi = 9,81 m/s

Q = debit (m³/s)

H = tinggi air jatuh (m)

III. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimen. Dalam penelitian ini alat atau sistem yang diuji dibuat untuk diteliti. Eksperimen merupakan observasi di bawah kondisi buatan, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti.

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Desa Porame, Kecamatan Kinovaro, Kabupaten Sigi, Sulawesi Tengah. Penentuan lokasi ini bertujuan untuk memanfaatkan sumber daya alam yaitu saluran irigasi sebagai pembangkit listrik alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik pada pondok pesantren yang ada di desa tersebut

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat

1. Current meter, digunakan untuk mengukur kecepatan aliran debit air.
2. Turbin, digunakan untuk menguji daya yang akan di hasilkan oleh aliran debit air.
3. Generator sinkron magnet permanen, digunakan untuk menguji coba besar tegangan keluaran dari debit air dan turbin.
4. Multimeter, untuk mengukur tegangan keluaran dari generator.
5. Tachometer, untuk mengukur kecepatan rotasi atau RPM.

3.2.2. Bahan penelitian

1. Pipa paralon 3 inch, digunakan sebagai sudu turbin/ bilah turbin.
2. Stopwatch, untuk menghitung satuan waktu berdasarkan jarak yang ditempuh dengan kecepatan tertentu.
3. Tali pembatas, berfungsi sebagai pembatas atau poros pada benda apung

4. Tiang pembatas, berfungsi sebagai batas pada garis *start* dan *finish* pada benda apung
5. Benda apung (bola pancing), berfungsi sebagai alat untuk mengukur laju kecepatan air.
6. Pipa besi ¾ inch, berfungsi sebagai poros pada *pulley*
7. Velg mobil, berfungsi sebagai *runner*/ roda turbin

6. Menghitung debit aliran air sesuai dengan persamaan 1.
7. Mencatat data hasil pengukuran.

3.4. Data Generator Sinkron Magnet Permanen

Generator yang digunakan adalah generator sinkron magnet permanen 1 (satu) fase, dimana generator tersebut adalah hasil modifikasi dari motor induksi 1 (satu) fase (mesin pompa air).



Gambar 1. Bentuk fisik generator sinkron magnet permanen satu fase

Berikut adalah data spesifikasi generator sinkron magnet permanen digunakan

Tabel 1. Spesifikasi Generator

Parameter	Besaran	Satuan
Tegangan induksi	112,4	Volt
Arus	0,062	Ampere
Frekuensi	50	Herz
Kecepatan putar	500	RPM
Jumlah fase	1	fase
Jumlah lilitan	7284	Lilitan
Diameter kumparan	0,20	mm
Impedansi kumparan	879,8 Ω	Ohm

3.3. Metode Pengukuran Debit Air

Besar debit aliran Sungai atau saluran Irigasi dapat diukur dengan *current meter* ataupun menggunakan metode apung (*floating method*). Pengukuran menggunakan metode apung (*floating method*) merupakan cara yang paling sederhana serta cepat untuk mencari besarnya kecepatan dan debit aliran. Kecepatan aliran dapat ditentukan dengan cara menghanyutkan pelampung pada permukaan air dengan jarak tertentu. Metode apung (*floating method*) dapat dipergunakan dengan memperhatikan beberapa syarat diantaranya bentuk penampang saluran irigasi memiliki batasan yang jelas, harus memiliki alur yang lurus, distribusi aliran irigasi harus merata dan tidak memutar. Berikut adalah langkah-langkah pengukuran debit air menggunakan metode apung :

1. Menentukan jarak (*s*) yang akan dilakukan pengukuran
2. Mengukur lebar basah (*l*) dan kedalaman saluran irigasi
3. Menghitung luas penampang basah saluran irigasi menggunakan rumus trapesium dikarenakan bentuk saluran irigasi berbentuk trapesium, berikut rumus yang digunakan: $A = \left(\frac{a+b}{2}\right) \times d$
4. Melepaskan pelampung dari titik awal hingga pada titik akhir pengukuran untuk mengetahui waktu tempuh pelampung.
5. Menghitung kecepatan aliran sesuai dengan persamaan 2.

Jumlah slot	24	
Jumlah kutub magnet	12	
Jumlah magnet	24	btg

3.5. Bentuk Fisik PLTPH di Desa Porame



Gambar 2. Bentuk Fisik PLTPH

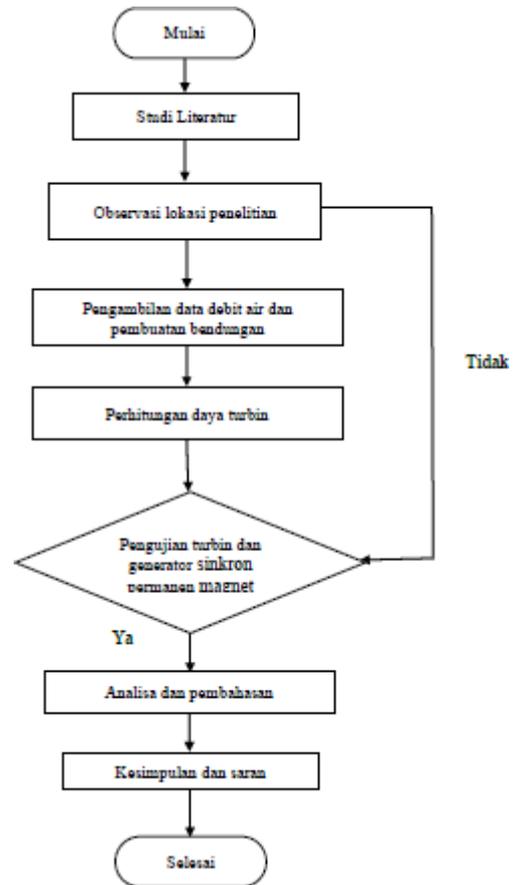
Berdasarkan gambar di atas saluran irigasi dimodifikasi dengan cara membuat bendungan dengan tinggi jatuh air dari dasar yaitu sebesar 60 cm. Air kemudian menggerakkan turbin dengan penak putaran (*pulley*) sebagai penggerak dari generator sehingga dapat menghasilkan tegangan. Saluran irigasi Desa Porame diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Bentuk fisik saluran irigasi

Pengukuran luas penampang basah dan kecepatan aliran air dilakukan sebanyak 6 kali

dengan selisih waktu 2 jam menggunakan 2 benda apung berupa botol air mineral dengan jarak 10 m. Alur penelitian ditunjukkan pada diagram alir (*flowchart*) Gambar 4.



IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengukuran Debit dan Daya Air

Tabel 2. Pengukuran Luas Penampang Saluran

Waktu pengukuran	Lebar Saluran Basah (m)				Kedalaman Air (m)		Jarak (m)	Waktu Tempuh Benda Apung (s)	
	hulu		hilir		d1 hulu	d2 hilir		p1	p2
	a1	b1	a2	b2					
09.00	1,9	1,6	2	1,6	0,25	0,33	10	14	16
11.00	1,9	1,6	2	1,6	0,25	0,34	10	15	16
13.00	1,8	1,6	1,9	1,6	0,2	0,3	10	15	18
15.00	1,8	1,6	1,9	1,6	0,2	0,3	10	16	17
17.00	1,95	1,6	2,05	1,6	0,25	0,35	10	14	15
19.00	1,95	1,6	2,05	1,6	0,26	0,35	10	13	16

Tabel 2. Hasil Perhitungan Debit Air

No	Percobaan	Luas (m ²)	Kecepatan (m/s)	Debit Air (m ³ /s)
1.	09.00	0,5157	0,6695	0,3453
2.	11.00	0,5248	0,646	0,3389
3.	13.00	0,4325	0,6115	0,2645
4.	15.00	0,4325	0,6065	0,2623
5.	17.00	0,5413	0,6905	0,3738
6.	19.00	0,5502	0,697	0,3835
Rata-rata Debit Air				0,3881

Perhitungan daya air :

$$P_{air} = Q \times \rho \times g \times h$$

$$P_{air} = 0,3881 \frac{m^3}{s} \times 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9,8 \frac{m}{s^2} \times 0,5 m$$

$$P_{air} = 1.901,69 \text{ watt}$$

Dari hasil pengukuran dan perhitungan besar debit air pada saluran irigasi di Desa Porame tidak konstan atau tidak tetap. Ketidakstabilan debit air tersebut dipengaruhi oleh besarnya bukaan pada bendungan pengelolaan saluran irigasi tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh debit air terendah pada sore hari sebesar $Q = 0,2623 \text{ m}^3/s$ dan debit air terbesar pada malam hari jam 19.00 sebesar $Q = 0,3835 \text{ m}^3/s$ serta rata-rata debit air sebesar $Q = 0,3881 \text{ m}^3/s$ dengan daya air yaitu sebesar $P_{air} = 1.901 \text{ watt}$.

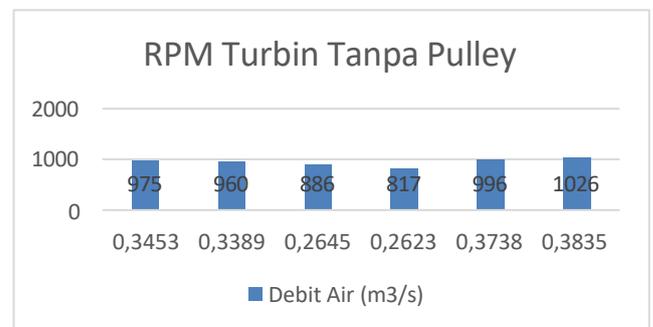
4.2. Pengujian Kinerja Sistem Turbin

Tabel 4. Pengukuran Kecepatan Turbin

No	Jumlah Sudu (Buah)	Debit Air (m ³ /s)	Kecepatan Turbin (rpm)		
			Tanpa Pulley	Terhubung ke Generator	Terhubung ke Beban
1.	13	0,3453	975	670	376
2.	13	0,3389	960	625	371
3.	13	0,2645	886	529	361
4.	13	0,2623	817	513	351
5.	13	0,3738	996	683	402
6.	13	0,3835	1026	712	416

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa kecepatan turbin mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya debit air, tetapi pada saat terhubung kegenerator dan beban lampu mengalami penurunan hal ini dikarenakan adanya rugi gesek antara rante dan gear yang berfungsi sebagai penghubung antar puli. Berikut adalah grafik hubungan antara debit air dan kecepatan turbin.

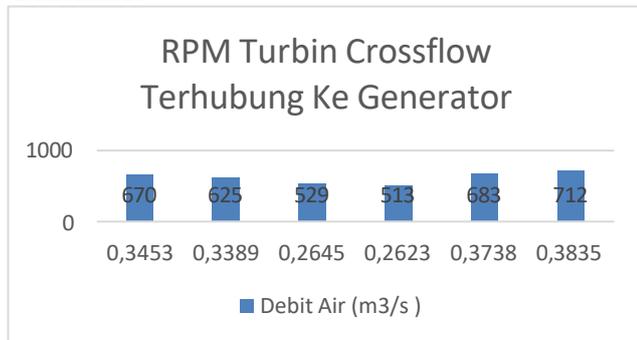
a. Kecepatan Turbin *Crossflow* Tanpa *Pulley*



Gambar 1. Kecepatan turbin tanpa pulley

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa kecepatan turbin *crossflow* tanpa *pulley* mengalami kenaikan seiring bertambahnya debit air pada saluran irigasi. Pada keadaan ini, kecepatan tertinggi yang dialami turbin *crossflow* pada saat malam hari dengan debit air sebesar $Q = 0,3835 \text{ m}^3/s$ dengan nilai kecepatan sebesar 1026 rpm, sedangkan nilai terendah terjadi pada saat sore hari dengan nilai besar kecepatan turbin 817 rpm. Besar kecepatan turbin sangat dipengaruhi oleh besarnya debit air yang menabrak sudu turbin.

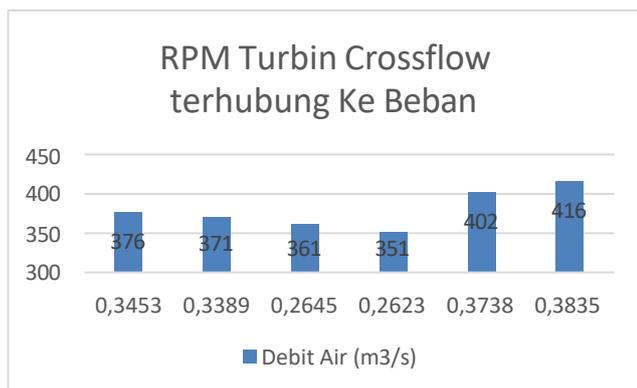
b. Kecepatan Turbin *Crossflow* Terhubung ke Generator.



Gambar 2. Kecepatan turbin terhubung ke generator

Dari grafik dapat dilihat bahwa saat dihubungkan ke *pulley* hingga tersambung ke generator, kecepatan putaran turbin mengalami penurunan. Pada saat debit air tertinggi di malam hari kecepatan turbin sebelum terhubung ke generator mencapai 1026 rpm, dan setelah terhubung ke generator kecepatan turbin mengalami penurunan dengan nilai 712 rpm.

c. Kecepatan Turbin *Crossflow* Terhubung ke Beban.

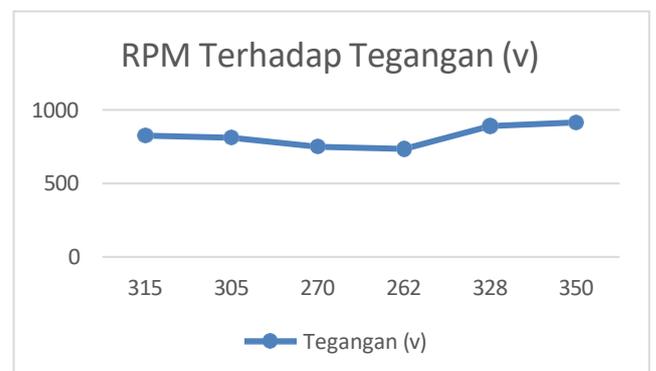


Gambar 3. Kecepatan turbin terhubung ke beban

4.3 Pengujian Kinerja Generator Sinkron Magnet Permanen Satu Fase.

Tabel 5. Pengukuran generator tanpa beban

Waktu Percobaan	Debit Air (m ³ /s)	Kecepatan Putaran (rpm)	Tegangan (V)
09.00	0,3453	824	287
11.00	0,3389	810	284
13.00	0,2645	750	235
15.00	0,2623	735	228
17.00	0,3738	890	291
19.00	0,3835	915	296



Gambar 8. Grafik pengukuran generator tanpa beban

Tabel 6. Pengukuran Generator Terhubung ke Beban

Waktu Percobaan	Debit Air (m ³ /s)	Beban 5 Watt			Beban 20 Watt		
		Kecepatan Putaran (rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan Putaran (rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)
09.00	0,3453	630	195	0,062	545	154	0,07
11.00	0,3389	615	187	0,062	532	148	0,07
13.00	0,2645	530	172	0,062	460	135	0,07
15.00	0,2623	510	170	0,062	425	132	0,07
17.00	0,3738	660	196	0,062	584	158	0,07
19.00	0,3835	680	198	0,062	592	159	0,07



Gambar 9. Grafik pengukuran generator terhubung ke beban 5 Watt



Gambar 10. Grafik pengukuran generator terhubung ke beban 20 Watt

Pada tabel dan grafik di atas dapat dilihat bahwa tegangan generator pada saat beban 5 watt yaitu sebesar 198 volt dengan arus 0,062 A dan Ketika dihubungkan ke beban 20 watt tegangan generator sebesar 159 volt dengan arus 0,07 A. Penurunan tegangan pada generator ketika dihubungkan ke beban adalah fenomena yang umum terjadi dalam sistem kelistrikan. Hal ini disebabkan oleh penurunan kecepatan turbin yang menggerakkan generator. Saat beban listrik meningkat, tuntutan tenaga dari generator juga bertambah, menyebabkan peningkatan gaya hambat terhadap turbin. Akibatnya, kecepatan putaran turbin menurun, mengurangi efisiensi konversi energi mekanik menjadi energi Listrik.

Tabel 4.4 hasil pengujian beberapa sampel tanah dengan tingkat kelembaban yang berbeda menunjukkan bahwa alat ukur dan sensor

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pengukuran tegangan keluaran generator sinkron magnet permanen satu fase pada debit air tertinggi 0,3835 m³/s adalah sebesar 198 volt beban 5 watt dengan arus 0,062 A dan ketika beban 20 watt sebesar 159 volt dengan arus sebesar 0,07 A. Terjadinya penurunan tegangan sangat drastis disebabkan kapasitas daya yang dibangkitkan oleh generator t yang cenderung konstan pada kondisi debit air tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fiki. (2023). Analisis Daya Output Alternator Bekas Dimanfaatkan Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Phikohidro (PLTPH) dengan Menggunakan Turbin Impuls. *skripsi*, 1-72.
- [2] Prasetyo, H., & S. Walujo. (2014). Protipe Generator Magnet Permanen Axial AC 1 Fasa Putaran Rendah Sebagai Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Piko hidro. *Techno, ISSN 1410 - 8607*, 30-36.
- [3] Nasrulloh, M. (2019). Rancang Bangun Generator Magnet Permanen Fluks Aksial Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro Dengan Menggunakan Turbin Ulir Putaran Rendah. *Skripsi SI ITN Malang*.
- [4] Bustami, & Multi, A. (2017). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Phikohidro 1000 VA Dengan Memanfaatkan Pembuangan Air Limbah Pada Gedung Pakarti Centre, *jurna.lumj.ac.id*, TE-010, p-ISSN:2407-1846.
- [5] Heru Purwanto, M. R. (2019). Komparasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 Dan JSN-SR04T Untuk Apikasi Sistem Deteksi Ketinggian Air. *Jurnal SIMETRIS*.
- [6] Imran, A., & Rasul, M. (2020). Pengembangan tempat sampah pintar menggunakan esp32. *J. Media Elektr*, 17(2), 2721-9100.