

Pembuatan Generator Magnet Permanen 12 Kutup Menggunakan Motor Induksi

Asral¹ dan Yuli Handika²

^{1,2} Program Study Teknik Mesin, Universitas Riau
Kampus BinaWidya Km. 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293
e-mail: yuli.handika1765@grad.unri.ac.id

Abstrak- Generator magnet permanen merupakan salah satu generator populer untuk sistem energi terbarukan. Generator magnet permanen dipilih karena efisiensi dan keandalannya yang tinggi. Pada penelitian ini dibuatlah generator magnet permanen 12 kutup dari motor induksi pompa air *power jet* 125 Watt, dengan cara merubah lilitan stator dan menambahkan *Neodymium magnet* pada rotor. Setelah lilitan stator dirubah dan magnet telah dipasang pada rotor kemudian dilakukan pengujian dengan memutar rotor menggunakan bor *cordlees* dan dilakukan pengukuran tegangan pada keluaran generator. Dari hasil percobaan yang dilakukan dapat dilihat bahwa perhitungan secara teori sangat jauh berbeda dengan praktek. Hal ini disebabkan oleh kurang kuatnya medan magnet yang dihasilkan oleh rotor.

Kata Kunci : *Generator magnet permanen, lilitan stator, Rotor, Neodymium magnet*

Abstrack- *Permanent magnet generators are one of the popular generators for renewable energy systems. Permanent magnet generators were chosen for their high efficiency and reliability. In this study, a 12-pole permanent magnet generator was made from a 125 Watt induction motor water power jet pump, by changing the stator winding and additions Neodymium magnet to the rotor. After the stator winding is changed and the magnet has been installed on the rotor, then testing is carried out by rotating the rotor using a cordlees drill and measuring the voltage at the generator output. From the results of the experiments carried out, it can be seen that calculations in theory are very much different from practice. This is due to the lack of strength of the magnetic field generated by the rotor.*

Keyword: *Permanent magnet generator, stator winding, Rotor, Neodymium magnet*

I. PENDAHULUAN

Energi terbarukan telah menunjukkan hasil yang menjanjikan selama beberapa dekade terakhir dalam mengurangi emisi karbon di seluruh dunia. Sektor ini telah tumbuh secara dramatis selama beberapa dekade terakhir[2]. Indonesia adalah salah satu negara yang paling aktif mempromosikan listrik perdesaan berbasis PLTMH[3]. PLTMH memanfaatkan Tenaga air yang mengalir dan diubah menjadi bentuk mekanis sehingga menghasilkan listrik dengan menggunakan generator[4]. Di daerah terpencil yang belum tersedia jaringan listrik nasional, energi air dan angin dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik mandiri untuk memenuhi kebutuhan listrik sendiri sehingga penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik dapat dikurangi[5]. Generator magnet permanen adalah salah satu generator populer untuk sistem energi terbarukan[6]. Umumnya ada dua jenis generator magnet permanen yang digunakan dalam pembangkit listrik yaitu generator fluks radial dan aksial[7]. Generator fluks radial yang digunakan untuk pembangkit listrik adalah generator induksi sangkar, generator induksi dua kecepatan dan generator sinkron. Untuk pembangkitan kecepatan rendah, sebagian

besar sistem menggunakan generator sinkron magnet permanen karena efisiensi dan keandalannya yang tinggi[1]. Pada penelitian ini dibuatlah generator magnet permanen dari pompa air *power jet* 125 Watt.

II. STUDI PUSTAKA

a) Pengenalan Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling luas digunakan. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator[8].



Gambar 1 Motor Induksi[8]

b) Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi pada dasarnya mempunyai tiga bagian penting yang terdiri dari:

- Stator : Merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang dapat menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya.
- Celah : Merupakan celah udara: Tempat berpindahnya energi dari stator ke rotor.
- Rotor : Merupakan bagian yang bergerak akibat adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diinduksikan kepada kumparan rotor.

Konstruksi stator motor induksi pada dasarnya terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

1. Rumah stator (rangka stator) dari besi tuang.
2. Inti stator dari besi lunak atau baja silikon.
3. Alur, bahannya sama dengan inti, dimana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan stator).
4. Belitan (kumparan) stator dari tembaga.

Berdasarkan bentuk konstruksi rotornya, maka motor induksi dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Motor induksi dengan rotor sangkar (*squirrel cage*).
2. Motor induksi dengan rotor belitan (*wound rotor*)

Konstruksi rotor motor induksi terdiri dari bagian-bagian sebagai berikut:

1. Inti rotor, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator.
2. Alur, bahannya dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti. Alur merupakan tempat meletakkan belitan (kumparan) rotor.
3. Belitan rotor, bahannya dari tembaga.
4. Poros atau as.

c) Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul (ggl) atau tegangan induksi.

Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan

torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus dan sesuai dengan Hukum Lentz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar.

Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun. Pada rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya.

Makin besar jumlah kutub akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan medan putar di dalam motor induksi dinyatakan oleh persamaan[9]:

$$n_s = \frac{120 f}{p} \tag{1}$$

Dimana:

- n_s : Kecepatan medan putar, rpm
- f : Frekuensi sumber daya, Hz
- p : Jumlah kutub motor induksi

d) Motor Induksi Sebagai Generator

Motor Induksi dapat dijadikan sebagai Generator dengan cara memberikan suplai daya reaktif kedalam motor induksi dan dengan menambahkan magnet permanen sehingga tidak memerlukan eksitasi dari luar untuk membuat medan magnet[10]. Desain generator magnet permanen cukup sederhana sehingga memudahkan dalam menentukan jumlah kutub dan merupakan alternatif untuk suatu pembangkit listrik skala kecil dimana jumlah kutub yang bisa dibuat banyak sangat ideal untuk diaplikasikan pada putaran rendah, seperti alat pengangkat, mikrohidro, dan turbin angin.

Kelebihan Generator Magnet Permanen[11] :

1. Mampu bekerja di putaran rendah
2. Tidak memerlukan tegangan eksitasi dari luar.
3. Biaya perawatan relatif rendah.

e) Magnet Neodymium

Magnet neodymium adalah jenis magnet yang paling banyak digunakan. Magnet neodymium menghasilkan jumlah fluks tertinggi per unit volume atau massa, sehingga lebih ekonomis untuk sejumlah aplikasi dan memiliki umur panjang sehingga bisa menjaga rotor berputar terus menerus selama untuk waktu yang sangat lama[12].

f) Desain Lilitan Generator Induksi Satu Fasa

Untuk merubah lilitan stator motor induksi menjadi generator satu fasa, ada beberapa faktor yang perlu di pertimbangkan, antara lain:

Spesifikasi Generator

Spesifikasi generator sangat penting karena menjadi acuan dasar dalam perancangan suatu generator. Spesifikasi yang perlu ditetapkan diantaranya: Daya output, Jumlah Kutub, Tegangan, Frekwensi, Efisiensi, faktor daya, Arus, Kecepatan. Setelah spesifikasi ditentukan baru bisa dilakukan perancangan.

Menentukan Kern

Kern merupakan tempat dimana lilitan stator dipasang. Inti stator bertugas untuk menghasilkan fluks. Fluks ini dihasilkan oleh kumparan pada lilitan stator dan dialiri oleh arus. Dimensi kern yang di ambil antara lain adalah diameter dalam dan panjang kern.



Gambar 2 Kern Stator[13]

Ukuran core dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$D^3 = \frac{K}{(L/D)} \cdot \frac{P_{out}}{N_s} \quad (2)$$

Dimana:

- D : Diameter Dalam Core
- K : Konstanta
- P_{out} : Daya Generator
- N_s : Putaran Sinkron
- L/D : Perbandingan Proporsional (0.5-0.95)

2) Menentukan Diameter Kumparan

Sebelum mencari diameter koil, maka perlu ditentukan dulu Luas area koil dengan menggunakan persamaan[14]:

$$\phi = Arus : \left(\text{Kerapatan arus} \left(5 \frac{A}{mm^2} \right) \times \text{konduktifitas bahan} \right) \quad (3)$$

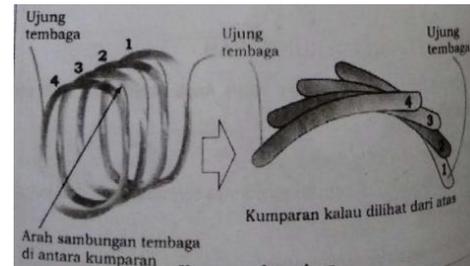
$$r^2 = \phi \times \pi$$

$$r = \sqrt{\phi \times \pi}$$

$$\text{Diameter} = 2 r$$

Menentukan tipe Kumparan

Kumparan terdiri dari dari beberapa tipe, yaitu kumparan jerat (*Lap Winding*) dan kumparan terpusat (*Concentric Winding*)[15].



Gambar 3 Kumparan Jerat[15]



Gambar 4 Kumparan Terpusat

Menentukan Jumlah Lilitan

Untuk menentukan jumlah lilitan maka dibutuhkan[16]:

Luas Area fluks

Luas area fluks didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$A = \frac{1}{P} \times 3.14 \times D \times L \quad (4)$$

Dimana:

- A : Luas Area Fluks
- P : Jumlah Kutub
- D : Diameter Dalam
- L : Panjang Alur

Winding faktor

Winding faktor sangat diperlukan dalam perancangan gulungan. Pada motor induksi satu fasa terdapat dua jenis gulungan yaitu Gulungan Utama dan Gulungan Bantu. Winding faktornya pun berbeda. Sebelum dicari winding faktor, maka harus dicari dulu sudut elektrik masing masing gulungan dengan menggunakan persamaan:

$$\phi_{elektrik} = \frac{P}{2} \times \phi_{mekanik} \quad (5)$$

Setelah didapatkan sudut elektrik masing masing alur, maka dicari nilai sinus sudut elektrik tersebut kemudian di jumlahkan sehingga didapat *winding faktor*.

Jumlah Lilitan

Jumlah lilitan didapatkan dengan menggunakan persamaan[17]:

$$T_m = \frac{V_{ph}}{(\pi \times \sqrt{2} \times A \times \beta \times \delta_m \times f \times p)} \quad (6)$$

Dimana :

- V_{ph} : Tegangan
- A : Luas Area Fluks
- β : Kerapatan Fluks (0.5 Tesla)
- δ_m : Winding Faktor
- f : Frekwensi (50 Hz)
- p : Jumlah kutup

III. METODE

Pada penelitian ini dibuat generator 12 kutup dari motor induksi 1 fasa (Pompa Air Jet pump). Kemudian dilakukan pengujian keluaran generator dengan menggunakan bor *cordless* agar didapat data tegangan pada putaran tertentu. Data hasil pengukuran ini kemudian dianalisis sehingga didapat suatu kesimpulan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Spesifikaasi

Perancangan generator dalam perancangan ini dibuat berdasarkan kondisi motor induksi yang akan dijadikan generator. Penentuan jumlah kutup dan diameter kawat yang digunakan diambil berdasarkan dimensi dari Kern motor Induksi yang digunakan. Pada penelitian ini Motor Induksi yang digunakan adalah Pompa Air Jet pump dengan Spesifikasi :

- Daya : 125 Watt
- Putaran : 3000 Rpm



Gambar 5 Pompa Air yang dijadikan Generator

Dimensi Kern Stator

- Diameter Dalam (D) : 55 mm
- Panjang Kern (L) : 75 mm
- Diameter Alur (B1) : 4.5 mm
- Diameter Alur (B2) : 4 mm
- Tinggi Alur (H) : 8 mm
- Jumlah Alur : 24 Lobang



Gambar 6 Kern dan lilitan pompa Air/ Stator pompa air

Dimensi Rotor

- Panjang Stator : 75 mm
- Diameter Stator : 54 mm



Gambar 7 Rotor Pompa Air



Gambar 8 Diameter Rotor Pompa Air

Dari Spesifikasi motor Induksi yang digunakan, dibuat menjadi generator dengan Spesifikasi:

- Daya : 200 Watt
- Jumlah Kutup : 12 Kutup
- Tegangan : 162 Volt
- Frekwensi : 50 Hz
- Efisiensi : 90%
- Factor Daya : 0.8
- Arus : Daya Output x Efisiensi x factor Daya
(200 Watt x 0.9 x 0.8) = 2 Ampere
- Putaran : 120 x frekwensi/Jumlah Kutup
(120 x 50 /12) = 500 Rpm

2) Menentukan Diameter Koil

Yang dibutuhkan dalam menentukan Diameter koil adalah, Arus dan Kerapatan Arus. Sebelum mencari diameter koil, maka perlu ditentukan dulu luas area koil terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan:

$$\Phi = I : (\text{Kerapatan arus} \times \text{konduktifitas bahan})$$

Dimana:

- Φ : Luas Area Koil
- I : Arus
- Kerapatan Arus : 4-5 Amper/mm²
- Konduktifitas bahan : Tembaga = 100%
- $\Phi = 2:5 \times 100\%$
- $\Phi = 0.34 \text{ mm}^2$

Karena koil nya berbentuk lingkaran, maka Areanya adalah:

$$\Phi = \pi \times r^2$$

Sehingga

$$r^2 = \Phi \times \pi$$

$$r^2 = 0.34 \times 3.14$$

$$r^2 = 0.11$$

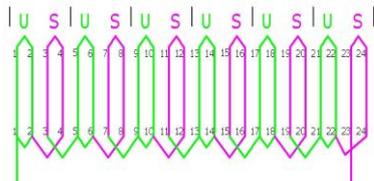
$$r = \sqrt{0.11}$$

$$r = 0.33$$

Diameter = 0.66 mm

3) Menentukan Tipe Kumputaran

Pada penelitian ini kumputaran yang direncanakan adalah kumputaran dengan tipe kumputaran terpusat (*Concentrate Winding*). Hal ini disebabkan karena penelitian ini terfokus pada menurunkan putaran dari generator atau memperbanyak jumlah kutup. Kern yang digunakan ada 24 lobang sehingga bisa dibuat menjadi 12 kutup, satu kumputaran dua lobang. Desain lilitan yang dibuat adalah sebagai berikut:



Gambar 9 Desain Lilitan

4) Menentukan Jumlah Gulungan

Untuk menentukan jumlah gulungan maka dibutuhkan:

- Tegangan : 162 volt
- Phi : 3.14
- Luas area fluks :
- Kerapatan Fluks : 0.5 Tesla
- Faktor Lilitan :
- Frekwensi : 50 Hz
- Jumlah Kutup : 12

a) Luas Area fluks

Luas area fluks didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$A = \frac{1}{P} \times 3.14 \times D \times L$$

Dimana:

- A : Luas Area Fluks
- P : 12
- D : 55 mm
- L : 75 mm

Sehingga:

$$A = \frac{1}{12} \times 3.14 \times 55 \times 75$$

$$A = 343.75 \text{ mm}^2$$

$$A = 0.0034 \text{ m}^2$$

b) Winding faktor

Untuk menentukan winding faktor harus dicari dulu sudut elektrik gulungan. Penentuan winding faktor sangat dipengaruhi oleh desain gulungan yang akan dibuat. Pada penelitian ini gulungan yang dibuat adalah 12 gulungan. Sudut elektriknya didapat dengan menggunakan persamaan:

$$\Phi_{\text{elektrik}} = \frac{P}{2} \times \Phi_{\text{mekanik}}$$

$$\Phi_{\text{elektrik}} = \frac{12}{2} \times 7.5^\circ$$

$$\Phi_{\text{elektrik}} = 45^\circ$$

$$\text{Winding faktor} = \sin \Phi_{\text{elektrik}}$$

$$\sin 45^\circ = 0.71$$

c) Jumlah Lilitan

Jumlah lilitan didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$T_m = \frac{V_{ph}}{(\pi \times \sqrt{2} \times A \times \beta \times \delta_m \times f \times p)}$$

Dimana :

- V_{ph} : Tegangan
- A : Luas Area Fluks
- β : Kerapatan Fluks (0.5 Tesla)
- δ_m : Winding Faktor
- f : Frekwensi (50 Hz)
- p : Jumlah kutup

$$T_m = \frac{162}{(3.14 \times \sqrt{2} \times 0.0034 \times 0.5 \times 0.71 \times 50 \times 12)}$$

$$T_m = 50 \text{ Lilitan}$$

Table 1 Hasil Perhitungan Generator

	Uraian	Volume	Satuan
1.	Spesifikasi Generator		
a.	Daya Output	200	Watt
b.	Jumlah Kutup	12	Kutup
c.	Tegangan	162	Volt
d.	Frekwensi	50	Hz
e.	Efisiensi	90	%

f.	Faktor Daya	0.8	
g.	Arus	2	Amper
h.	Putaran	500	Rpm
i.	Diameter Kawat	0,66	m ²
j.	Jumlah Lilitan satu alur	50	Lilitan

2. **Data Kern**

a.	Diameter Dalam	55	mm
b.	Panjang Kern (L)	750	mm
c.	Diameter Alur (B1)	4.5	mm
d.	Diameter Alur (B2)	4	mm
e.	Tinggi Alur (H)	8	mm
f.	Jumlah Alur	24	Alur



Gambar 12 Kertas Prespan yang digunakan

B. Pembuatan Stator Generator

Setelah dilakukan perancangan generator, pekerjaan dilanjutkan dengan membuat lilitan stator. Adapun langkah-langkah dalam membuat stator adalah pembuatan lilitan dan pemasangan lilitan.

1) **Membuat Lilitan**

Sebelum membuat lilitan, harus dibuat dulu. Mal lilitan bertujuan agar lilitan yang dihasilkan nanti sesuai dengan dimensi kern dari motor induksi. Setelah mal dibuat, maka dibuatlah lilitan sesuai dengan jumlah lilitan sesuai dengan hasil perancangan.



Gambar 13 Proses Pemasangan Lilitan



Gambar 10 Lilitan yang Dibuat



Gambar 14 Lilitan Stator yang telah Selesai Dipasang

2) **Pemasangan Lilitan**

Pekerjaan pemasangan lilitan pada stator dilakukan dengan langkah-langkah:

- Pemasangan kertas prespan sebagai isolator dengan kern
- Pemasangan lilitan harus memperhatikan arah dari lilitan sesuai dengan kutub rancangan
- Mengikat lilitan agar lilitan lebih rapi dan tidak menyentuh stator



Gambar 11 Mal Lilitan Dan Kawat

C. Pemasangan Magnet Permanen Pada Rotor

Agar generator bisa mengeluarkan tegangan, maka dipasanglah Neodymium Magnet Grade 52 pada Rotor. Jumlah kutub pada Rotor harus sama dengan jumlah kutub yang ada pada Stator. Pada Penelitian ini magnet yang digunakan adalah magnet dengan ukuran 40x10x5 mm sebanyak 12 Buah dan 35 x 10 x 5 Sebanyak 12 Buah.



Gambar 15 Magnet Persegi Yang Digunakan



Gambar 16 Rotor setelah dibubut



Gambar 17 Proses Pemasangan magnet pada rotor



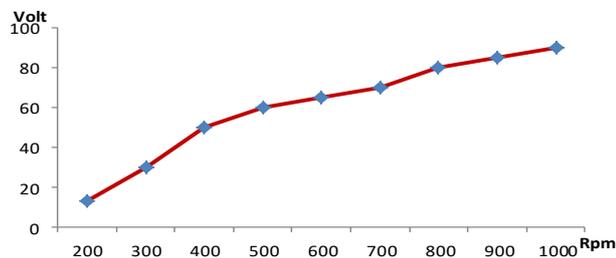
Gambar 18 Rotor

D. Pengujian generator buatan

Pengujian generator yang dilakukan dengan menggunakan bor Cordless merk Nanwei 42 VF yang digunakan untuk memutar generator. Pengujian generator yang dibuat dilakukan dengan memutar generator kemudian mengukur tegangan yang dikeluarkan generator. Dari pengujian yang dilakukan didapat:

Table 2 Hasil Pengujian Generator sebelum dipasang

No	Putaran(Rpm)	Tegangan(Volt)
1.	200	13
2.	300	30
3.	400	50
4.	500	60
5.	600	65
6.	700	70
7.	800	80
8.	900	85
9.	1000	90



Gambar 21 Grafik hubungan putaran generator dan tegangan

Berdasarkan percobaan generator dapat dilihat bahwa generator yang dibuat (12 kutup) keluarannya jauh berbeda dari perancangannya. Dalam perancangannya pada putaran 500 rpm tegangan yang dikeluarkan generator adalah 162 Volt. Hasil pengukuran pada 500 rpm tegangan yang dikeluarkan generator hanya 60 volt. Hal ini disebabkan karena magnet yang digunakan terlalu kecil. Penambahan kutup pada generator

dipengaruhi oleh dimensi rotor sehingga magnet yang dipasang pada rotor kecil.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa secara teoritis penambahan jumlah kutup pada generator akan menurunkan putaran generator, namun pada prakteknya selain jumlah kutup, kekuatan medan magnet pada stator juga sangat mempengaruhi tegangan yang dihasilkan generator. Pembuatan generator dari motor induksi sangat dipengaruhi oleh dimensi Kern, jumlah dan dimensi lobang kern. Jadi Agar daya keluaran generator bisa lebih besar maka motor induksi yang dipilih harus mempunyai dimensi yang besar.

REFERENSI

- [1] M. K. Döşoğlu, O. Özkaraca, and U. Güvenç, "Novel active – passive compensator – supercapacitor modeling for low - voltage ride - through capability in DFIG - based wind turbines," *Electr. Eng.*, vol. 101, no. 4, pp. 1119–1132, 2019, doi: 10.1007/s00202-019-00857-y.
- [2] T. Yee, T. Jian, C. Choe, W. Chang, and T. Jian, "ScienceDirect Permanent Magnet Synchronous Generator design optimization for wind energy conversion system : A review," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 277–282, 2022, doi: 10.1016/j.egypr.2022.10.239.
- [3] J. Ide, "ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect ScienceDirect A Challenge for Sustainable Electrification , Respecting the Local A Challenge for in Sustainable Electrification , Respecting the Local Tradition Ciptagelar Village , West Heating Java , Indonesia : The for 15th Sustainable Respecting the Local Tradition in Ciptagelar Village , West Java , Company Indonesia : Complementary Approach with a Private Tradition in Ciptagelar Village , West Java , Indonesia : Complementary Approach with a Private Company Assessing the feasibility of using the heat Approach with a Isa Private Tatsuro Complementary , Faisal Company temperature heat Rahadian demand a function for a long-term district Alhaqurahman Alhaqurahman Rahadian Fujimoto for Ferrão," *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 368–372, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.044.
- [4] C. P. Jawahar and P. A. Michael, "A review on turbines for micro hydro power plant," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 72, no. October 2015, pp. 882–887, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.133.
- [5] K. Wirtayasa and C. Hsiao, "Performances comparison of axial-flux permanent- magnet generators for small-scale vertical-axis wind turbine," *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 2, pp. 1201–1215, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2021.06.074.
- [6] V. B. M. Krishna, S. Sarathbabu, K. Yadlapati, and T. Pidikiti, "Measurement : Sensors Deployment and performance measurement of renewable energy based permanent magnet synchronous generator system," *Meas. Sensors*, vol. 24, no. September, p. 100478, 2022, doi: 10.1016/j.measen.2022.100478.
- [7] F. B. E. N. Ammar, "Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences Performance analysis of radial and axial flux PMSM based on 3D FEM modeling," vol. 26, no. 3, 2018, doi: 10.3906/elk-1708-68.
- [8] I. begia I. Parsa, *Motor motor listrik*. 2016.

- [9] S. K. Sahdev, *Electical Machines*, vol. 53, no. 9. 2019. 10.31851/ampere.v2i2.1771.
- [10] A. Sakura, A. Supriyanto, and A. Surtoto, "Rancang Bangun Generator Sebagai Sumber Energi Listrik Nanohidro," *Univ. Lampung*, vol. 05, no. 02, pp. 129–134, 2017.
- [11] T. Tohir and S. Yahya, "Perancangan dan Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa Menjadi Generator Magnet Permanen Satu Fasa Kecepatan Rendah," *Semin. Nas. Tek. Ind. BKSTI 2014*, vol. 10, pp. 32–38, 2014.
- [12] A. U. Adoghe, I. O. Oyinlola, S. I. Popoola, and A. A. Atayero, "Free energy generation using neodymium magnets: An off-grid sustainable energy solution for sub-Saharan Africa," *Lect. Notes Eng. Comput. Sci.*, vol. 2229, pp. 277–282, 2017.
- [13] E. Emidiana, "Pengaruh Kapasitas Kapasitor Pada Kumparan Bantu Terhadap Pemanasan Motor Induksi Satu Fasa," *J. Ampere*, vol. 2, no. 2, p. 81, 2017, doi: 10.31851/ampere.v2i2.1771.
- [14] A. H. Santoso, "Kajian pengaruh modifikasi jumlah kutub terhadap perubahan daya dan torsi motor induksi satu fasa," pp. 2–7, 2016.
- [15] A. Fakhruddin, "Lilit Ulang Motor ac Satu fasa (pompa air)," 2019.
- [16] Z. Anthony and E. Erhaneli, "Desain Lilitan Motor Induksi 1-Fasa dengan 4 Kumparan yang Tidak Identik Sama (Studi Kasus: Daya Keluaran dan Efisiensi Motor)," *Eeccis*, vol. 12, no. 2, pp. 89–92, 2018.
- [17] K. Cherl-jin, L. Kwan-yong, and K. Young-tae, "Design and Performance Analysis of Single-phase Self-excited Induction Generators," pp. 2–5.