

DESAIN GENERATOR MAGNET PERMANEN UNTUK SEPEDA LISTRIK

Aris Budiman, Hasyim Asy'ari, Arief Rahman Hakim
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
asy_98ari@yahoo.com

ABSTRAKSI

Penelitian ini bertujuan merancang generator magnet permanen untuk sepeda listrik dengan kayuhan sepeda sebagai penggeraknya dan mengetahui besar tegangan dan arus yang dihasilkan generator magnet permanen dengan kecepatan putar rotor (RPM) tertentu yang kemudian disimpan dalam akumulator.

Generator magnet permanen untuk sepeda listrik ini, penggerak mulanya adalah dari kayuhan sepeda. Listrik yang dihasilkan disimpan dalam akumulator 12 Volt 5Ah yang digunakan sebagai sumber listrik pada saat mesin berfungsi sebagai motor. Generator magnet permanen ini memiliki dua bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator tersebut terdiri dari 12 buah stator core yang terbuat dari bahan baja dengan setiap stator core terdiri dari kawat email 600 lilitan berdiameter 0,45 mm. Untuk bagian rotornya terdiri dari 3 buah magnet permanen berukuran 6 cm x 2,4 cm x 1,2 cm dan 3 buah plat besi yang berfungsi sebagai balance. Perubahan fungsi generator menjadi motor atau sebaliknya dilakukan dengan menggunakan sebuah saklar togel switch.

Hasil pengujian pada kecepatan putar rotor 120-480 RPM saat sebelum dibebani akumulator, output tegangan AC yang dihasilkan adalah 4,2-11,5 Volt. Dan output tegangan DC yang dihasilkan adalah 4-9 Volt. Pada saat dibebani akumulator, output tegangan AC yang dihasilkan pada kecepatan putar rotor 120-480 RPM adalah 3,9-9,2 Volt. Dan output tegangan DC untuk semua kecepatan putar rotor adalah sama 12 Volt, karena merupakan tegangan dari akumulator. Pada saat dibebani arus yang mengalir pada kecepatan putar rotor 120-480 RPM adalah 0-37,5 mA. Terjadi drop tegangan yang meningkat seiring meningkatnya arus yang mengalir yaitu 0,3-2,3 Volt.

Kata kunci : Generator, Magnet Permanen, RPM, Akumulator.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi semakin inovatif guna mempermudah manusia dalam melakukan pekerjaan. Namun perkembangan teknologi tidak lepas dari sumber energi yang digunakan. Contohnya hampir semua kendaraan bermotor di dunia menggunakan energi bahan bakar minyak atau yang biasa disebut dengan BBM. Seperti dewasa ini, sumber energi semakin hari semakin menipis, maka dibutuhkan energi lain sebagai alternatif sumber energi baru untuk mengurangi krisis energi yang pada akhirnya akan meningkatkan kesejahteraan manusia.

Oxford Dictionary mendefinisikan energi alternatif sebagai energi yang digunakan bertujuan untuk menghentikan penggunaan sumber daya alam atau pengrusakan lingkungan. Ada banyak sekali sumber daya primer alam yang terbarukan dan bisa digunakan untuk menghasilkan energi salah satunya energi listrik (Djiteng Marsudi, 2005) baik sumber bersifat alamiah seperti cahaya, angin dan air maupun yang bersifat material fisika seperti magnet permanen, perbedaan tekanan dan efek grafitasi. Energi yang dihasilkan oleh magnet permanen dapat berlangsung selama 400 tahun hingga daya

magnetnya hilang selain itu juga tanpa efek pencemaran lingkungan.

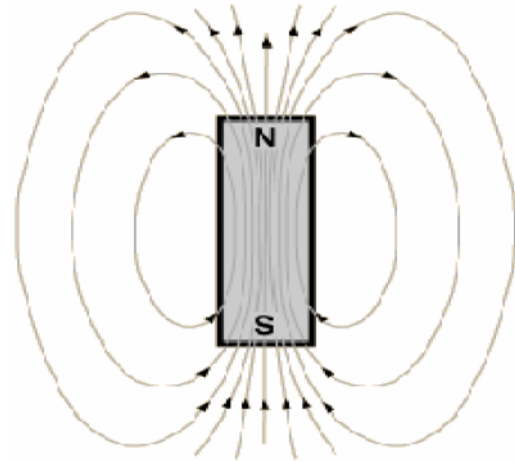
Integrasi antara teknologi yang menggunakan energi terbarukan sangat membantu kegiatan manusia disamping menyelamatkan bumi ini karena bersifat ramah lingkungan dan bisa mengurangi pemanasan global. Perkembangan ini salah satunya bisa diwujudkan dalam bidang transportasi yang pada akhirnya bertujuan untuk memberikan kemudahan kepada manusia.

Sepeda listrik adalah sebuah alat transportasi yang ramah lingkungan, didesain untuk mengurangi emisi dari kendaraan bahan bakar minyak serta dapat digunakan untuk sarana rekreasi, *fitness* dan olahraga lainnya. Penelitian ini akan dikembangkan untuk sepeda listrik dengan menggunakan generator magnet permanen yang sekaligus memiliki fungsi sebagai motor. Generator sebagai pembangkit listrik dengan penggerak kayuhan sepeda yang kemudian mengisi akumulator dan motor akan menggerakkan roda sepeda dengan menggunakan sumber listrik dari akumulator tersebut.

1.1 Magnet Permanen

Magnet permanen atau magnet tetap adalah objek terbuat dari bahan yang magnet dan menciptakan medan magnet sendiri. Magnet permanen atau magnet tetap tidak memerlukan tenaga atau bantuan dari luar untuk menghasilkan daya magnet. Jenis-jeni magnet permanen.

1. Magnet Neodymium, merupakan magnet tetap yang paling kuat. Magnet Neodymium (juga dikenal sebagai NdFeB, NIB, atau magnet Neo), merupakan sejenis magnet tanah jarang, terbuat dari campuran logam Neodymium,
2. Magnet Samarium-Cobalt, salah satu dari dua jenis magnet bumi yang langka, merupakan magnet permanen yang kuat yang terbuat dari paduan samarium dan kobalt.
3. Ceramic Magnet.
4. Plastic Magnet.
5. Alnico Magnet.



Gambar 1. Medan Magnet di Sekitar Magnet

2.1 Medan Magnet

Medan magnet adalah suatu daerah atau ruang di mana mengalami gaya magnet. Garis gaya magnet atau fluks menggambarkan adanya medan magnetik dan garis gaya magnet digambarkan dengan garis lengkung.

Sifat garis-garis gaya magnetik :

1. Garis-garis gaya magnet tidak pernah saling berpotongan.
2. Garis-garis gaya magnet selalu keluar dari kutub utara dan masuk ke kutub selatan magnet.
3. Garis-garis gaya magnet rapat = medan magnetnya kuat.
4. Garis-garis gaya magnet renggang = medan magnetnya lemah.

2.2 Fluks Magnetik

Fluks magnetik adalah banyaknya garis medan magnetik yang dilingkupi oleh suatu luas daerah tertentu (A) dalam arah tegak lurus. Secara matematik dapat dituliskan bahwa:

$$\Phi = A \cdot B \cos \alpha \dots\dots\dots(1)$$

dengan :

- = fluks Magnetik (Weber)
- A = luas penampang (m²)
- B = kuat medan magnetik (Webber/m²)
- α = sudut antara arah garis normal bidang A dan arah B

2.3 Generator

Generator adalah suatu perangkat mesin yang menghasilkan energi listrik dari sumber energi mekanik atau gerak melalui proses induksi elektromagnetik. Generator

memperoleh energi mekanis dari *prime mover* atau penggerak mula. Energi mekanis dapat berasal dari tenaga panas, tenaga potensial air, motor diesel, motor bensin bahkan ada yang berasal dari motor listrik.

Prinsip kerja generator berdasarkan hukum *Faraday* yang mengandung pengertian bahwa apabila sepotong kawat penghantar listrik berada dalam medan magnet berubah-ubah, maka di dalam kawat tersebut akan terbentuk GGL induksi. Demikian pula sebaliknya bila sepotong kawat penghantar listrik digerakkan dalam medan magnet, maka kawat penghantar tersebut juga terbentuk GGL induksi.

Hukum *Faraday* dapat dinyatakan dengan :

$$e = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

- e = GGL induksi yang dibangkitkan (Volt)
- N = banyaknya jumlah lilitan
- = perubahan fluks magnetik (Webber)
- t = perubahan waktu (detik)

Atau dengan persamaan lain nilai dari GGL iduksi dapat ditentukan dengan :

$$e = B \times l \times v \dots\dots\dots (3)$$

dengan :

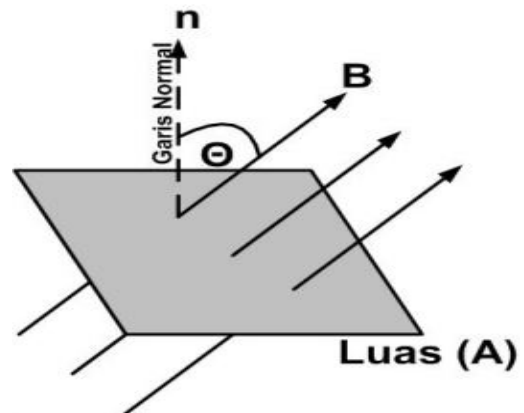
- e = GGL induksi yang dibangkitkan (Volt)
- B = kerapatan medan magnet (Tesla)
- l = panjang kawat penghantar (m)
- v = kecepatan konduktor memotong medan (m/s)

Tegangan GGL induksi yang dibangkitkan bergantung pada :

1. Jumlah dari lilitan dalam kumparan
2. Kuat medan magnetik, makin kuat medan makin besar tegangan yang diinduksikan
3. Kecepatan dari generator itu sendiri

2.4 Generator AC

Generator AC adalah generator yang menghasilkan listrik arus bolak balik. Generator arus bolak balik sering disebut generator sinkron atau *altenator*.



Gambar 2. Fluks magnetik

Pada generator AC, kumparan jangkar disebut juga kumparan stator karena berbeda pada tempat yang tetap, sedangkan kumparan rotor bersama-sama dengan kutub magnet diputar oleh tenaga mekanik. Sesuai dengan hukum *Faraday*, tegangan akan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut berada dalam medan magnet berubah-ubah sehingga memotong garis-garis gaya, maka di dalam konduktor tersebut akan terbentuk GGL induksi.

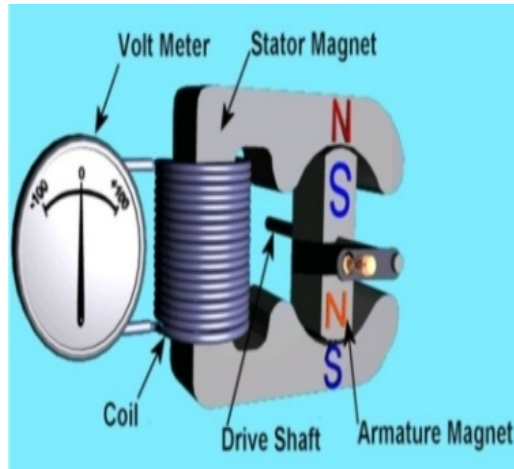
GGL induksi pada generator AC dapat diperbesar dengan cara memperbanyak lilitan kumparan, menggunakan magnet permanen yang lebih kuat, mempercepat putaran rotor, dan menyisipkan inti besi lunak ke dalam kumparan.

Frekuensi dari GGL yang dibangkitkan generator AC tergantung dari kecepatan rotor dan jumlah kutub. Hubungan tersebut dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini:

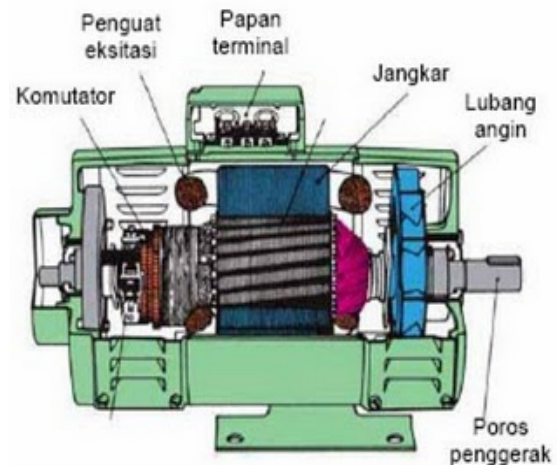
$$ns = \frac{120 \cdot f}{p} \dots\dots\dots (4)$$

dengan:

- ns = kecepatan medan stator (RPM)
- f = frekuensi tegangan (Hertz)
- p = jumlah kutub pada rotor



Gambar 3. Struktur Generator AC



Gambar 4. Konstruksi Generator DC

Secara umum generator AC terdiri dari stator, rotor, dan celah udara (ruang antara stator dan rotor).

1. Stator

Stator adalah bagian yang tak berputar (diam) yang mempunyai bagian terdiri dari rangka stator yang merupakan salah satu bagian utama dari generator yang terbuat dari besi tuang dan ini merupakan rumah dari semua bagian-bagian generator.

Pada stator terdapat *stator core* (inti) dan kumparan stator. *Stator core* dibuat dari bahan baja dan mempunyai alur pada bagian dalamnya untuk menempatkan kumparan stator. Pada kumparan inilah GGL induksi dibangkitkan karena adanya medan magnet dari rotor yang bergerak.

2. Rotor

Rotor adalah bagian dari generator yang berputar yang terdapat magnet. Rotor pada generator AC pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar.

2.5 Generator DC

Generator DC adalah generator yang menghasilkan arus searah. Prinsip kerja generator DC sama dengan generator AC. Namun, pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC berupa cincin belah (komutator). Komutator menyebabkan terjadinya komutasi, peristiwa komutasi merubah arus yang dihasilkan generator menjadi searah.

Generator DC terdiri dua bagian, yaitu stator, yaitu bagian mesin DC yang diam, dan bagian rotor, yaitu bagian mesin DC yang berputar. Bagian stator terdiri dari: rangka motor, belitan stator, sikat arang, *bearing* dan terminal box. Sedangkan bagian rotor terdiri dari komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor.

Bagian yang harus menjadi perhatian untuk perawatan secara rutin adalah sikat arang yang akan memendek dan harus diganti secara berkala. Komutator harus dibersihkan dari kotoran sisa sikat arang yang menempel dan serbuk arang yang mengisi celah-celah komutator, gunakan amplas halus untuk membersihkan noda bekas sikat arang.

Sumber arus searah dari tegangan bolak-balik, meskipun tujuan utamanya adalah pembangkitan tegangan searah, tampak bahwa tegangan kecepatan yang dibangkitkan pada kumparan jangkar merupakan tegangan bolak-balik. Bentuk gelombang yang berubah-ubah tersebut karenanya harus disearahkan. Untuk mendapatkan arus searah dari arus bolak balik dengan menggunakan saklar, komutator dan dioda.

3. Metode Penelitian

3.1 Bahan dan Peralatan

Bahan dan peralatan utama yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah:

1. Magnet permanen sebanyak 3 buah dengan ukuran 6 cm x 2,4 cm x 1,2 cm
2. Besi plat sebanyak 3 buah

3. Baut baja sebanyak 12 buah
4. Papan kayu berdiameter 28 cm
5. Piringan besi untuk stator
6. Kawat email 0,45 mm 600 lilitan
7. Lacker dan ass berdiameter 25 mm
8. Rangkaian *Stepper* sebagai rangkaian pengendali motor magnet permanen
9. Akumulator 12 volt 5Ah
10. *Rectifier* / dioda *bridge*
11. *Switch* / saklar 2 buah
12. Plat besi dudukan
13. Poli
14. Baut
15. Sepeda kayuh
16. *Gear box* dan rantai.

3.2 Peralatan :

1. Multimeter *analog* dan *digital* untuk mengukur tegangan dan arus
2. Tachometer untuk mengukur kecepatan putaran

4. Analisa dan Pembahasan

4.1 Hasil Percobaan

Percobaan pertama yaitu pengukuran tegangan keluaran pada saat belum dibebani atau dipasang akumulator terhadap perubahan *variabel* kecepatan putar rotor dalam RPM. Hasil pengujian dari percobaan tersebut dapat dilihat dari tabel 1.

Tabel 1. Tegangan keluaran pada saat belum dipasang akumulator terhadap perubahan *variabel* kecepatan putar rotor dalam RPM.

No	Kecepatan Putar Rotor Rerata (Rpm)	Tegangan keluar rerata sebelum dipasang Accu Tegangan keluaran AC (Volt)	Tegangan keluaran DC (Volt)	Indicator Lampu LED
1	120	42	4	Nyala
2	240	71	6,5	Nyala
3	360	97	8,5	Nyala terang
4	480	115	9	Nyala terang

Percobaan kedua yaitu pengukuran *output* tegangan dan arus pada saat setelah dibebani atau dipasang akumulator terhadap perubahan *variabel* kecepatan putar rotor dalam RPM. Hasil pengujian dari percobaan kedua dapat dilihat dari tabel 2.

4.2 Analisa

Frekuensi dari generator dipengaruhi oleh jumlah kutub generator dan kecepatan putar rotor. Hubungannya dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$F = \frac{ns \cdot p}{120} \dots \dots \dots (5)$$

dengan :

- F = frekuensi (Herzt)
- ns = kecepatan medan stator (RPM)
- p = jumlah kutub

Persamaan (5) frekuensi dari generator dengan jumlah kutub tiga buah dapat dihitung dan hasilnya dapat dilihat dari tabel 3.

Tabel 2. Tegangan keluar dan arus pada saat setelah dibebani atau dipasang akumulator terhadap perubahan *variabel* kecepatan putar rotor dalam RPM.

No	Kecepatan Putar Rotor Rerata (Rpm)	Tegangan keluar rerata setelah dipasang Accu Tegangan keluaran AC (Volt)	Tegangan keluaran DC (Volt)	Indicator Lampu LED
1	120	39	12	Nyala
2	240	65	12	Nyala
3	360	89	12	Nyala terang
4	480	92	12	Nyala terang

Tabel 3. Nilai frekuensi generator sesuai dengan kecepatan medan stator yang sinkron dengan kecepatan rotornya.

No	Ns = Kecepatan Medan Stator (Rpm)	Frekuensi (Hz)
1	120	3
2	240	6
3	360	9
4	480	12

4.3 Analisa Hasil Percobaan Pertama

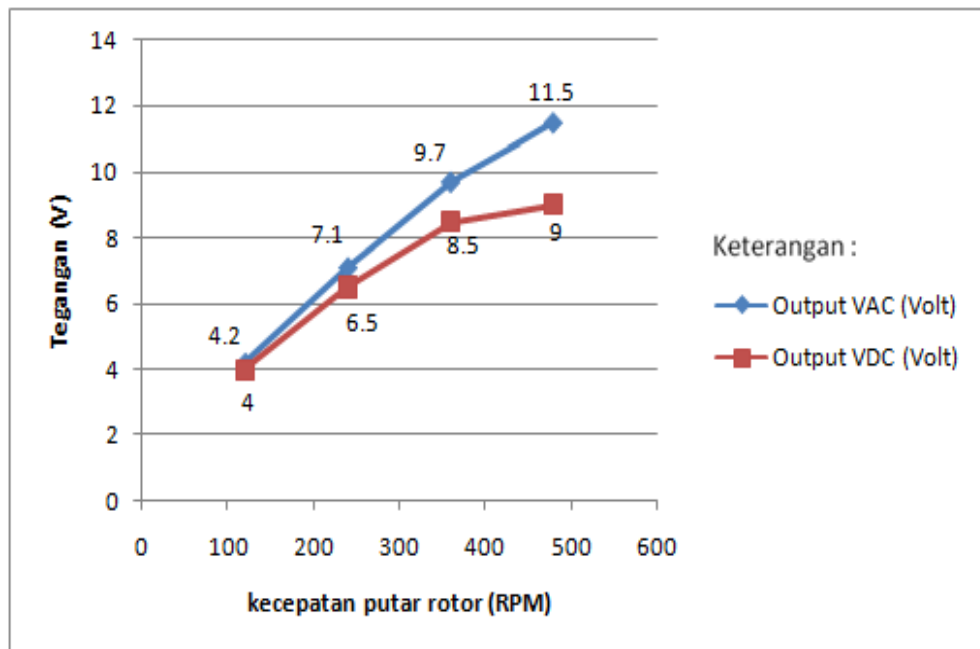
Grafik pada Gambar 5. menunjukkan semakin tinggi kecepatan putar rotor (RPM) semakin tinggi pula *output* tegangannya. Hal ini bisa ditunjukkan dengan persamaan hukum *Faraday*. *Output* tegangan DC merupakan tegangan keluaran searah setelah dilewatkan melalui *rectifier* (dioda *bridge*). Nilai tegangan DC mengalami penurunan setelah disearahkan dari tegangan AC karena ada rugi-rugi pada saat konversi dari AC menjadi DC di dalam penyearah tersebut.

4.4 Analisa Hasil Percobaan Kedua

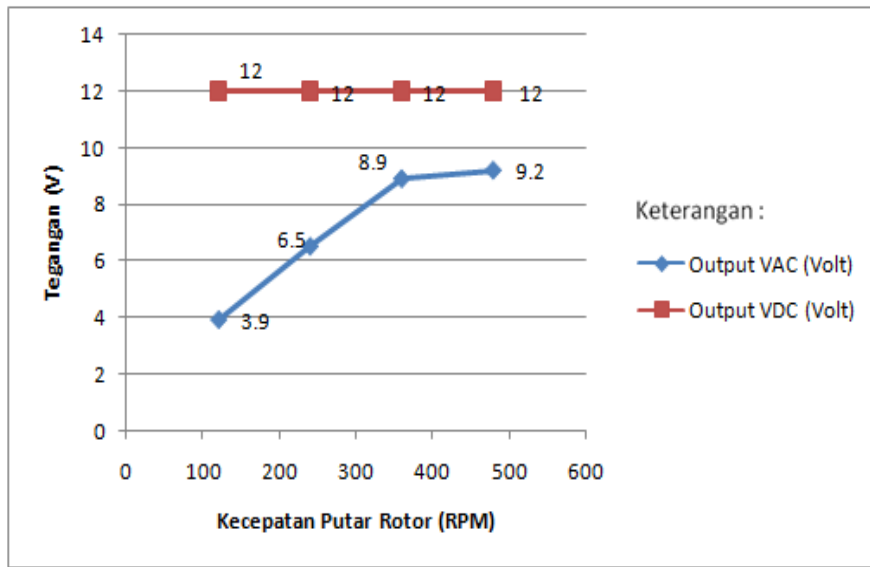
Gambar 6 menunjukkan semakin tinggi kecepatan putar rotor (RPM) semakin tinggi

pula *output* tegangan AC-nya. Tegangan DC untuk semua kecepatan putar menunjukkan nilai yang sama karena merupakan tegangan dari akumulator yaitu 12 Volt.

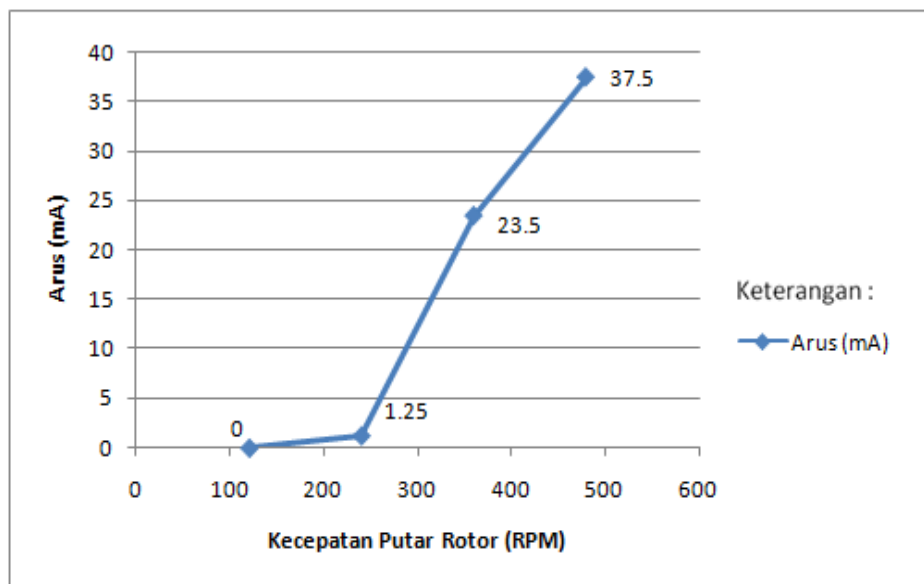
Pada percobaan arus mengalir ke dalam akumulator karena ada beban yang menarik arus yaitu akumulator itu sendiri. Besar tegangan yang dihasilkan mempengaruhi arus yang mengalir, karena jika tegangan yang dihasilkan lebih kecil atau berbeda jauh dengan tegangan akumulator (12 Volt), arus yang mengalir juga kurang maksimal, bahkan dalam tegangan tertentu arus tidak mengalir.



Gambar 5. Grafik hubungan *output* tegangan AC (Volt) dan *output* tegangan DC (Volt) ketika belum terpasang akumulator terhadap perubahan *variabel* kecepatan putar rotor (RPM)



Gambar 6. Grafik hubungan *output* tegangan AC (Volt) dan *output* tegangan DC (Volt) setelah terbebani atau terpasang akumulator terhadap perubahan *variabel* kecepatan putar rotor (RPM)



Gambar 7. Hubungan nilai arus yang mengalir terhadap perubahan kecepatan putar rotor (RPM)

Gambar 7 menunjukkan semakin tinggi kecepatan putar rotor (RPM) semakin tinggi pula arus yang mengalir ke dalam akumulator.

Lama waktu pengisian arus ke dalam akumulator yang berkapasitas 5 Ah dihitung dengan :

1. Kecepatan putar 120 RPM, arus yang mengalir adalah 0 mA (0 A) atau tidak ada arus yang mengalir.

2. Kecepatan putar 240 RPM, arus yang mengalir adalah 1,25 mA (0,00125 A), untuk memenuhi akumulator yang berkapasitas 5 Ah maka waktu pengisian yang dibutuhkan adalah

$$\frac{5 \text{ Ah}}{0,00125 \text{ A}} = 4000 \text{ h}$$

3. Untuk kecepatan putar 360 RPM, arus yang mengalir adalah 23,5 mA (0,0235 A), untuk memenuhi akumulator yang berkapasitas 5

Ah maka waktu pengisian yang dibutuhkan adalah

$$\frac{5 \text{ AH}}{0,0235 \text{ A}} = 212,76 \text{ h}$$

4. Untuk kecepatan putar 480 RPM, arus yang mengalir adalah 37,5 mA (0,0375 A), untuk memenuhi akumulator yang berkapasitas 5 Ah maka waktu pengisian yang dibutuhkan adalah

$$\frac{5 \text{ AH}}{0,0375 \text{ A}} = 133,33 \text{ h}$$

Besar kecilnya arus dipengaruhi oleh hambatan (R) penghantar sedangkan hambatan itu sendiri dipengaruhi oleh panjang dan diameter kawat. Semakin pendek panjang kawat dan semakin luas luas penampang atau diameter kawat maka hambatan (R) semakin kecil dan sebaliknya. Semakin kecil hambatan (R) semakin besar arus yang mengalir dan sebaliknya. Jadi salah cara untuk memperbesar arus adalah dengan mengganti kawat lilitan dengan diameter atau luas penampang yang lebih besar.

Output tegangan AC mengalami penurunan atau *drop* tegangan ketika terpasang beban. Dapat ditunjukkan pada tabel 4.

Hal ini dikarenakan arus yang tertarik beban akan menurunkan tegangan, dengan kata lain hubungannya berbanding terbalik, semakin tinggi arus yang mengalir semakin tinggi pula *drop* tegangan begitu pula sebaliknya. Dapat ditunjukkan dengan persamaan:

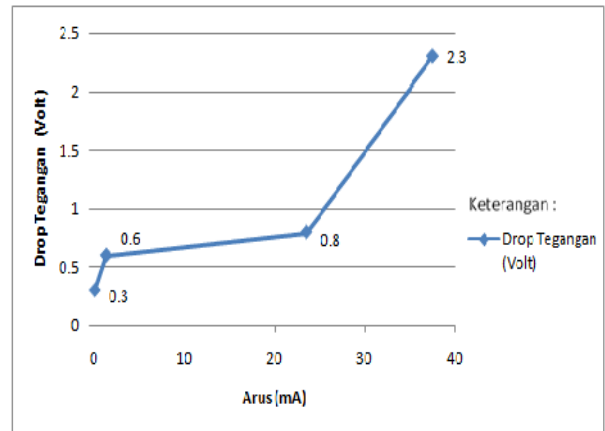
$$V = \frac{S}{I} \dots \dots \dots (6)$$

dengan :

- V = tegangan (Volt)
- S = daya (Volt Ampere)
- I = arus (Ampere)

Tabel 4. *Drop* tegangan AC pada saat dibebani.

No.	Kecepatan Putar Rotor (RPM)	Arus (mA)	V AC Tanpa Beban (Volt)	V AC Berbeban (Volt)	Drop Tegangan (Volt)
1.	120	0	4.2	3.9	0.3
2.	240	1.25	7.1	6.5	0.6
3.	360	23.5	9.7	8.9	0.8
4.	480	37.5	11.5	9.2	2.3



Gambar 8. Grafik hubungan *drop* tegangan (Volt) terhadap nilai arus yang mengalir (mA)

Gambar 8 menunjukkan Semakin tinggi arus yang mengalir semakin tinggi pula *drop* tegangan yang terjadi begitu pula sebaliknya.

5. Kesimpulan

Dari uraian hasil pengujian dan analisa maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Generator magnet permanen untuk sepeda listrik dengan kayuhan sepeda sebagai penggeraknya pada kecepatan putar rotor 120 - 480 RPM saat sebelum dibebani akumulator menghasilkan *output* tegangan AC adalah 4,2 - 11,5 Volt. Dan *output* tegangan DC yang dihasilkan adalah 4 - 9 Volt. Semakin tinggi kecepatan putar rotor semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan. Pada saat dibebani akumulator, *output* tegangan AC yang dihasilkan pada kecepatan putar rotor 120 - 480 RPM berturut-turut adalah 3,9 - 9,2 Volt. Dan *output* tegangan DC untuk semua kecepatan putar rotor adalah sama 12 Volt, karena merupakan tegangan dari akumulator.
2. Pada saat dibebani, arus yang mengalir pada kecepatan putar rotor 120 - 480 RPM berturut-turut adalah 0 - 37,5 mA. Semakin tinggi kecepatan putar rotor semakin tinggi pula arus yang dihasilkan. Terjadi *drop* tegangan yang meningkat seiring meningkatnya arus yang mengalir yaitu 0,3 - 2,3 Volt.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugrah D.Z. dkk. *Pembuatan Sepeda Listrik Bertenaga Surya Sebagai Alat Transportasi Alternatif Masyarakat melalui "Program Kreativitas Mahasiswa (PKMT)".* Universitas Gajah Mada, Elektronika, Ensiklopedia. *Medan magnet permanen.* Ilmuku.com
- Eugene, C. Lister. 1993. *Mesin dan Rangkaian Listrik.* Erlangga, Jakarta.
- Fitzgerald, A.E. 1984. *Mesin-Mesin Listrik.* Erlangga, Jakarta.
- Irasari, Pudji. *Metode Perancangan Generator Magnet Permanen Berbasis Pada Dimensi Stator Yang Sudah Ada.* Pusat Penelitian Tenaga Listrik Dan Mekatronik, LIPI.
- Jurnal Sekolah Menengah Kejuruan Bidang Keahlian Teknik Telekomunikasi. 2003. *Teknik Dasar Rectifier Dan Inverter.* Jurnal Sekolah Menengah Kejuruan Bidang Keahlian Teknik Telekomunikasi. 2003. *Teknik Dasar Batere dan UPS.*
- Khennas, Dr. Smail. 2001. *Permanent Magnet Generator Construction Manual.* Hugh Piggott, Scoraig Wind Electric.
- Ridwan, Abrar. *Pengembangan Generator Mini Dengan Menggunakan Magnet Permanen.* Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Indonesia.
- Sumanto, MA. 1993. *Motor Listrik Arus Bolak-Balik.* Andi, Jogjakarta.
- Sumanto, MA. 1995. *Mesin Arus Searah.* Andi, Jogjakarta.
- Widodo, Muh.Hasan Ashari. 2011. *Modifikasi Generator Sebagai Penghasil Listrik Untuk Pltb Tipe Vertikal Axis.* Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Zuhal. 1988. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya.* Gramedia, Jakarta.