RANCANG BANGUN GENERATOR *AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET* (AFPM) TIPE MAGNET STATIS DAN DINAMIS INTERNAL STATOR

Alvera Apridalianti Melkias, Rusmana

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

ABSTRAK

Generator *AFPMSDIS* merupakan penyempurnaan dari AFPM Internal Stator. Modifikasi dilakukan dengan menambah piringan magnet dan menempelkan kumparan pada magnet. Magnet pasangannya dapat bergerak bebas disamping kumparan. Tujuan penelitian merancang dan membuat perangkat generator AFPM. Generator AFPM yang dirancang adalah jenis *magnet statis dan magnet dinamis double sided internal stator.* Pengujian dilakukan dengan kumparan kawat beresistansi 100 Ω, 300 Ω dan 380 Ω. Pada kumparan kawat resistansi 100 Ω dengan jarak celah (gap) 22,7 mm menghasilkan putaran terendah 30 rpm dengan tegangan 1,4 Volt sedangkan saat putaran tertinggi 300 rpm dengan tegangan 13,3 Volt serta persamaan linier $y = 0{,}0431x - 0{,}2867$; $R^2 = 0{,}9913$. Pada jarak celah (gap) 14,3 mm diperoleh persamaan linear pada resistansi 330 Ω yaitu $y = 0{,}0367x - 0{,}4129$; $R^2 = 0{,}9992$ sedangkan pada 380 Ω persamaan linear $y = 0{,}0113x - 0{,}2879$; $R^2 = 0{,}9989$. Pada jarak celah (gap) 34,3 mm diperoleh persamaan linear pada resistansi 330 Ω adalah $y = 0{,}0119x - 0{,}1745$; $R^2 = 0{,}9934$ sedangkan pada 380 Ω diperoleh persamaan linear $y = 0{,}0431x - 0{,}3755$; $R^2 = 0{,}9962$.

Kata kunci : generator AFPM, doubled sided internal stator.

I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sumber energi yang mendapat perhatian penting adalah energi angin, energi matahari, energi air dan energi biogas atau biomas. Berkaita dengan itu diperlukan peralatan peralatan yang dapat mengkonversi berbagai energi tersebut. Diantaranya adalah PLTAngin yang merupakan salah satu jenis teknologi pembangkit listrik alternatif yang saat ini banyak dikembangkan dan digunakan untuk memproduksi energi listrik. PLTAngin memiliki fungsi dasar untuk mengkonversi energi dari angin yang bergerak menjadi energi poros kemudian dirubah menjadi energi listrik. Sebuah unit PLTAngin terdiri dari dua komponen utama yaitu turbin angin yang berfungsi untuk mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik putaran poros turbin. Generator yang porosnya terkopel dengan poros turbin angin difungsikan untuk mengkonversi energi mekanik putaran poros menjadi energi listrik. Terkait dengan upaya pemanfaatan energi angin ini, kendala utama yang dihadapi adalah kecepatan angin yang senantiasa berubah serta nilai rata-rata kecepatannya yang relatif rendah [6]. Untuk itu diperlukan peralatan-peralatan seperti generator yang dirancang secara khusus untuk dapat mengkonversi energi angin menjadi energi listrik secara tepat, efektif dan efisien. Generator untuk aplikasi PLTAngin dengan demikian merupakan generator yang memiliki kemampuan untuk bekerja pada putaran rendah. Lebih lanjut, mengingat bahwa PLTAngin umumnya berlokasi pada wilayah-wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik maka generator yang tepat untuk digunakan adalah generator penguatan sendiri seperti generator induksi ataupun generator sinkron magnet permanen.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yaitu merancang dan membuat perangkat generator AFPM. Generator AFPM yang akan dirancang dan dibuat adalah jenis *magnet statis dan magnet dinamis double sided internal Stator*. Penambahan sebuah piringan magnet untuk meningkatkan kekuatan magnet sehingga tegangan keluaran dan kapasitas daya generator dapat ditingkatkan. Generator AFPM yang dirancang dapat membangkitkan tegangan keluaran per-fasa sebesar 220 V dengan kemampuan arus sebesar 2 A serta memiliki kandungan harmonisa rendah.

1.3 Rumusan Masalah

Salah satu jenis generator sinkron magnet permanen yang cukup banyak digunakan adalah *axial flux permanent magnet*, disingkat AFPM. Penggunaan magnet permanen dan arah fluksi yang dibuat aksial alih-alih radial membuat konstruksi generator AFPM ini menjadi lebih kompak dan sederhana. Terdapat berbagai tipe generator AFPM antara lain *single sided slotless*,

single sided slotted, *double sided internal rotor*, *double sided internal stator* dan *multi disc* [4],[5],[6],[7]. Tipe *single sided* memiliki konstruksi yang lebih sederhana karena hanya terdiri dari sebuah piringan rotor dan sebuah piringan stator. Namun untuk membangkitkan tegangan dan daya yang lebih besar, generator AFPM tipe *single sided* memerlukan jumlah lilitan yang lebih banyak dan oleh karenanya menuntut penggunaan magnet permanen dengan kekuatan yang cukup besar. Sebaliknya, tipe *double sided* memiliki konstruksi yang sedikit lebih rumit tetapi memerlukan jumlah lilitan yang lebih sedikit dan kekuatan magnet permanen yang tidak terlampau besar untuk menghasilkan tegangan keluaran dan kapasitas daya lebih besar. Diantara dua jenis generator AFPM *double sided*, tipe *magnet statis dan dinamis* memiliki konstruksi mekanik yang lebih ringan dan sederhana jika dibandingkan tipe *magnet statis dan dinamis*. Sementara itu, tipe *multi disc* memiliki konstruksi yang jauh lebih rumit lagi.

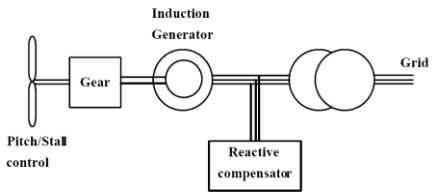
II. DASAR TEORI

Karakteristik angin yang secara alami memiliki kecepatan berubah-ubah dengan nilai rata-rata yang relatif rendah mengakibatkan perlunya penggunaan generator yang memiliki kemampuan untuk bekerja pada putaran relatif rendah. Selain itu, generator untuk aplikasi PLTAngin sebaiknya merupakan generator penguatan sendiri yang tidak memerlukan sumber eksitasi eksternal untuk membangkitkan medan magnet. Oleh karenanya generator AFPM merupakan jenis generator yang dipandang tepat untuk digunakan pada suatu unit PLTAngin. Penggunaan magnet permanen dan arah fluksi yang dibuat menembus belitan jangkar stator secara aksial akan membuat konstruksi generator AFPM ini menjadi lebih kompak dan sederhana. Lebih lanjut, untuk menghasilkan tegangan keluaran dan kapasitas daya yang lebih besar tanpa perlu menggunakan belitan jangkar dengan jumlah lilitan terlampau banyak dan magnet permanen yang sangat kuat maka generator AFPM tipe *magnet statis dan dinamis* lebih cocok untuk digunakan. Stres mekanik pada poros generator AFPM tipe *magnet statis dan dinamis* juga relatif lebih ringan jika dibandingkan dengan generator AFPM tipe *double sided* lainnya atau *multi disc*. Perlu diperhatikan juga bahwa magnet permanen dan belitan jangkar pada piringan rotor dan stator generator harus disusun sedemikian hingga fluksi magnet yang dibangkitkan terdistribusi secara merata dan tegangan keluaran yang dihasilkan memiliki bentuk gelombang sinusoidal dengan kandungan harmonisa serendah mungkin.

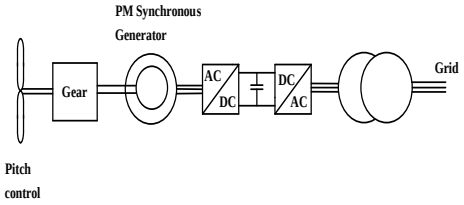
II.1 Generator AFPM

Teknologi untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik secara garis besar dapat digolongkan menjadi dua yaitu turbin angin kecepatan tetap dan turbin angin kecepatan berubah-ubah. Untuk teknologi turbin angin kecepatan tetap, operasi turbin angin diatur melalui kendali pitch/stall turbin. Pada nilai kecepatan angin yang tinggi, turbin angin akan bekerja dengan efisiensi sangat rendah untuk membatasi daya yang dibangkitkannya. Turbin angin kecepatan tetap ini biasanya dikopel dengan generator induksi frekuensi konstan seperti ditunjukkan oleh Gambar 1 di bawah ini.

Gambar 1. PLTAngin dengan turbin kecepatan tetap [9].



Sementara itu, untuk teknologi turbin angin kecepatan berubah-ubah, kecepatan rotor turbin angin adalah bervariasi mengikuti perubahan kecepatan angin. Dengan cara seperti ini daya yang dibangkitkan oleh turbin angin dapat diatur agar senantiasa bernilai maksimum. Keuntungan lainnya adalah diperolehnya reduksi tekanan pada sistem transmisi mekanik turbin angin sehingga memungkinkan penggunaan sistem transmisi mekanik yang lebih ringan dan murah, perbaikan kualitas daya keluaran dan berkurangnya tingkat kebisingan. Turbin angin dengan kecepatan berubah-ubah ini dapat dikopel baik dengan generator induksi maupun generator sinkron. Namun koneksinya ke jala-jala listrik harus dilakukan melalui perangkat konverter daya listrik. Salah satu jenis generator yangbanyak digunakan untuk teknologi turbin angin kecepatan berubah-ubah ini adalah generator sinkron magnet permanen sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2 di bawah ini.



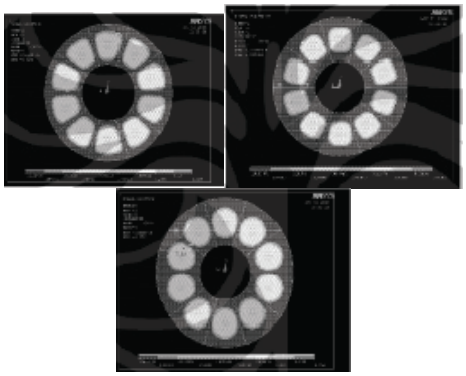
Gambar 2. PLTAngin dengan turbin angin kecepatan berubah-ubah dan generator sinkron magnet permanen [9].

Diantara beberapa jenis generator sinkron magnet permanen, generator sinkron *axial flux permanent magnet*(AFPM) merupakan jenis yang banyak dikembangkan dan digunakan untuk

aplikasi turbin angin kecepatan berubah-ubah.Sesuai dengan namanya, generator AFPM menghasilkan fluksi atau medan magnet yang memotong belitan jangkar secara aksial alih-alih radial seperti generator pada umumnya. Dengan konstruksi seperti ini, generator AFPM akan memiliki konstruksi yang lebih kompak dan sederhana. Selain itu, kelebihan lain yang dimiliki oleh generator AFPM meliputi kemudahan dalam pengaturan lebar celah udara, suara dan getaran yang dihasilkan lebih rendah, serta kerapatan daya yang lebih besar [6],[7].

II.2. Konstruksi Generator AFPM

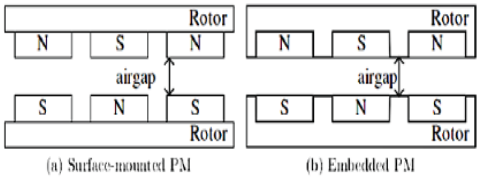
Generator fluks aksial memiliki dua komponen utama yaitu stator dan rotor. Pada bagian stator umumnya ditempatkan belitan jangkar sebagai tempat dibangkitkannya tegangan induksi. Sementara pada bagian rotor yang terkopel dengan penggerak poros ditempatkan medan eksitasinya. Medan eksitasi ini dapat diperoleh dari belitan eksitasi ataupun magnet permanen. Untuk generator AFPM, magnet permanen ini ditempatkan sedemikian hingga medan magnetnya akan memotong belitan jangkar secara aksial. Oleh karenanya magnet dan belitan jangkar generator ini masing-masing akan ditempatkan pada piringan rotor dan stator sehingga generator AFPM ini dikenal juga sebagai generator piring. Dilihat dari bentuknya, magnet permanen yang digunakan pada generator AFPM dapat digolongkan menjadi magnet permanen *trapezoidal*, *rectangular*, dan *circular* seperti ditunjukkan oleh Gambar 3. Bentuk magnet permanen yang akan digunakan disesuaikan dengan jumlah dan susunan belitan jangkar stator dengan mempertimbangkan keselarasan antara rotor dan stator.



(a) (b) (c)

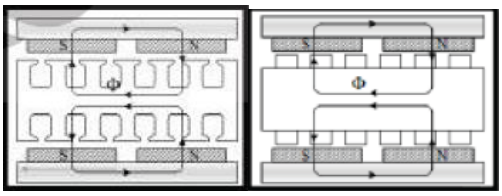
Gambar 3. Bentuk-bentuk magnet permanengenerator AFPM (a)*trapezoidal*, (b)*rectangular*, (c)*circular* [7].

Sementara itu, terdapat dua cara untuk menempatkan magnet permanen pada piringan rotor AFPM yaitu yaitu *surface-mounted* dan *embedded* . Pada tipe *surface-mounted*, magnet permanen hanya ditempel di atas permukaan piringan rotor sehingga mengakibatkan munculnya celah udara diantara dua buah magnet permanenyang saling bersebelahan. Sedangkan pada tipe *embedded*, magnet permanen dimasukkan kedalam piringan rotor sehingga permukaan rotor menjadi rata.



Gambar 4. Penempatan magnet permanen pada rotor generator AFPM [7].

Pada bagian stator generator AFPM akan ditempatkan belitan jangkar yang berfungsi sebagai tempat terbangkitkannya tegangan induksi. Seperti halnya magnet permanen, belitan jangkar ini juga memiliki berbagai macam bentuk seperti *trapezoidal*, *diamond*, ataupun *circular*. Bentuk-bentuk belitan jangkar stator ini dapat didesain atau dibuat agar sesuai dengan ukuran jari jari piringan stator, kelengkungan sisi aktif kumparan, panjang ujung sambungan dan lain-lain. Pemasangan belitan jangkar pada piringan stator generator AFPM juga terbagi menjadi dua jenis yaitu *slotless* dan *slotted* . Pada tipe *slotless*, belitan dipasang pada permukaan piringan stator sehingga belitan terlihat timbul keluar. Sedangkan pada tipe *slotted*, belitan ditanam pada piringan stator sehingga permukaan piringan stator terlihat rata. Tipe slotted memiliki keunggulan karena lebar celah udara antara piringan stator dan rotor dapat dibuat sekecil mungkin.

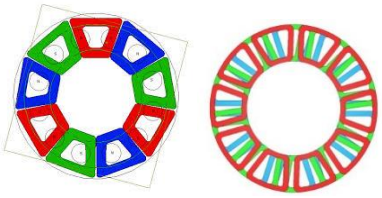


(a)

(b)

Gambar 5. Penempatan belitan jangkar pada stator generator AFPM (a) tipe *slotted* (b) tipe *slotless*[7].

Lebih lanjut, belitan jangkar stator dapat disusun secara *overlapping*dimana belitan jangkar yang satu saling tumpang tindih dengan belitan jangkar yang lainnya atau disusun secara *non-overlapping* dimana belitan jangkar disusun bersebelahan atau sejajar dengan kumparan jangkar disampingnya.



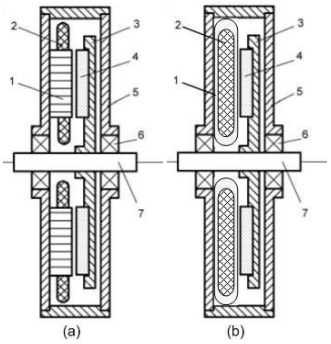
(a)

(b)

Gambar 6. Belitan jangkar pada stator generator AFPM (a) *non-overlapping* (b) *overlapping*[7].

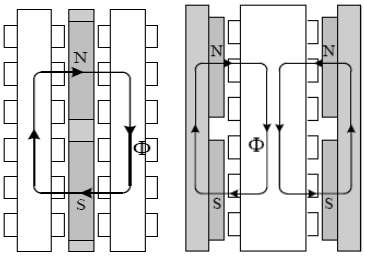
II.2.2 Jenis-jenis generator AFPM

Generator AFPM dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan jumah dan cara penempatan piringan stator maupun rotornya. Beberapa jenis generator AFPM tersebut adalah *single sided*, *double sided* dan *multi disc*. Generator AFPM tipe *single sided* memiliki satu piringan rotor dan satu piringan stator yang saling berhadapan. Generator AFPM *single sided*ini dapat dibedakan lagi menjadi *single sided slotless* dan *single sided slotted* seperti terlihat pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Generator AFPM *single sided* (a) *slotted* (b) *slotless*[7].

Generator AFPM *single sided*dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi generator AFPM tipe *double sided* dan *multi disc*.Generator AFPM tipe *double sided* terbagi atas dua jenis yaitu generator AFPM tipe *double sided internal rotor* dan generator AFPM tipe *double sided internal stator*. Generator AFPM tipe *double sided internal rotor* memiliki sebuah piringan rotor yang diapit oleh dua buah piringan stator sementara generator AFPM tipe *double sided internal stator* memiliki sebuah piringan stator yang diapit oleh dua buah piringan rotor.

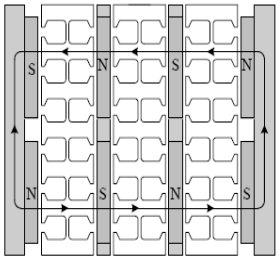


(a)

(b)

Gambar 8. Generator AFPM *double sided* (a) *internal rotor* (b) *internal stator*[7].

Adapun generator AFPM *multi disc* memiliki beberapa buah piringan stator dan rotor. Hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas daya pada generator. Namun ukuran dari generator ini akan menjadi lebih besar dan kosntruksinya pun menjadi lebih rumit. Konstruksi dari generator AFPM *multi disc* ini dapat dilihat pada Gambar 9di bawah ini.



Gambar 9. Generator AFPM *multi disc*[7].

II.3 Pembangkitan Tegangan Pada Generator AFPM

Prinsip kerja generator AFPM ini pada dasarnya tidak jauh berbeda dengan generator konvensional pada umumnya yang memiliki arah fluksi radial yang dibangkitkan oleh belitan eksitasi. Perbedaan utama adalah fluksi atau medan magnet pada generator AFPM ini dibangkitkan oleh magnet permanen sehingga tidak diperlukan sumber medan eksitasi terpisah dan arah dari medan magnet ini adalah aksial atau sejajar dengan poros generator. Oleh karenanya untuk menentukan besarnya tegangan yang dibangkitkan pada belitan jangkar generator dapat menggunakan persamaan umum tegangan induksi sebagai berikut:

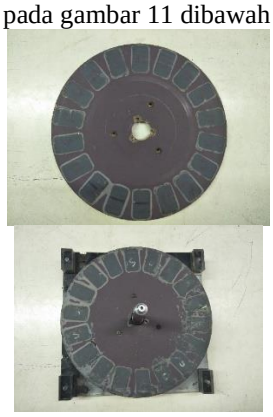
$$E_{per-fasa} = k \times n \times p \times N \times \emptyset_{maks} \quad \ldots\ldots(1)$$

dengan k menyatakan suatu konstanta, n menyatakan putaran rotor (rpm), p menyatakan jumlah kutub generator, N menyatakan jumlah lilitan per-fasa, dan $\emptyset_{maks}$ menyatakan besarnya fluksi maksimum yang dirasakan oleh belitan jangkar. Berdasarkan persamaan (1) diatas dapat disimpulkan bahwa nilai efektif tegangan yang dibangkitkan pada belitan jangkar generator

ditentukan oleh parameter-parameter seperti putaran rotor (*n*), jumlah kutub generator (*p*), jumlah lilitan belitan jangkar (*N*) dan kuat medan magnet maksimum ($Ø_{maks}$) yang dibangkitkan oleh magnet generator. Oleh karenanya untuk meningkatkan tegangan belitan jangkar maka upaya-upaya yang dapat dilakukan diantaranya adalah dengan meningkatkan putaran rotor generator, memperbanyak jumlah lilitan belitan jangkar atau memperkuat medan magnet generator. Namun cara yang paling umum dilakukan untuk meningkatkan tegangan keluaran generator adalah dengan memperbanyak jumlah lilitan belitan jangkar. Untuk generator AFPM, penambahan belitan jangkar akan lebih baik dilakukan dengan cara menambah sebuah piringan stator lagi (mengubah konstruksinya menjadi generator AFPM tipe *double sided*) untuk menempatkan belitan jangkar yang ditambahkan tersebut. Penambahan jumlah lilitan belitan jangkar tanpa menambah piringan stator akan berakibat sulitnya menempatkan belitan tersebut pada piringan yang ada serta menjauhkan medan magnet denga belitan jangkar. Akibatnya magnet yang digunakan harus memiliki kekuatan medan yang lebih besar. Sementara itu, untuk menghasilkan gelombang tegangan keluaran sinusoidal maka medan magnet harus terdistribusi merata di celah udara. Oleh karenanya penyusunan medan magnet permanen yang akan digunakan pada generator AFPM haruslah sedemikian hingga menghasilkan distribusi medan magnet yang merata di celah udara antara medan magnet dan belitan jangkar stator.

III. HASIL PERANCANGAN GNERATOR AFPM

Piringan magnet yang telah berhasil dibuat ditunjukkan pada gambar 11 dibawah ini.



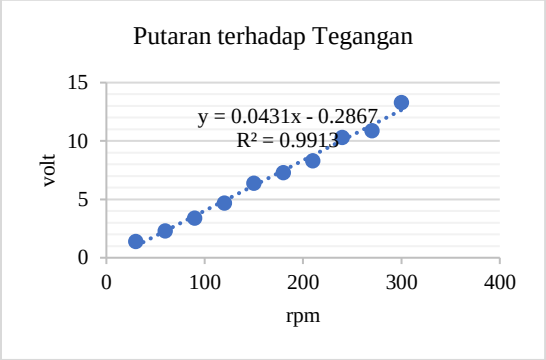
Gambar 11 Piringan Magnet pada Generator AFPM

Kumparan yang digunakan saat pengujian data dapat dtunjukkan pada gambar di bawah ini. Piringan magnet yang telah berhasil dibuat ditunjukkan pada gambar 11 dibawah ini. Kumparan kawat yang digunakan pada pengujian sebesar 100Ω, 300 Ω dan 380 Ω.

Gambar 12 Kumparan kawat

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

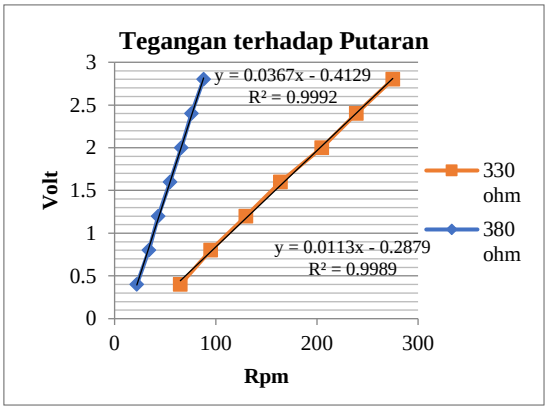
Pada pengujian pertama digunakan kumparan dengan diameter kawat sebesar 0,2 mm yang memiliki resistansi 100 Ω dengan jarak celah 22,7 mm



Gambar 14. Grafik Putaran terhadap Tegangan

Pada grafik putaran terhadap tegangan menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran yang diberikan pada generator AFPM maka tegangan yang dihasilkan pun semakin tinggi. Pada putaran terendah yaitu 30 rpm tegangan yang diperoleh pada dua piringan magnet sebesar 1,4 Volt sedangkan saat putaran tertinggi pada 300 rpm tegangan yang dihasilkan pada pemasangan satu piringan magnet sebesar 13,3 Volt. Hasil pengukuran menghasilkan persamaan linier yaitu y = 0,0431x - 0,2867 dengan R^2 = 0,9913. Berdasarkan data hasil pengujian maka diperoleh hubungan antara tegangan terhadap putaran yang menghasilkan suatu intensitas. Pada gambar 15 didapat bahwa intensitas tertinggi berada saat putaran sebesar 30 rpm, nilai intensitas pada dua piringan magnet sebesar 0,047 V/rpm. Persamaan linear diperoleh y = 4E-06x + 0,0406 dengan R^2 = 0,0134.

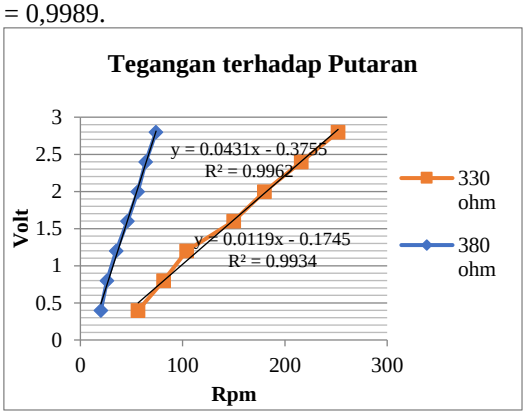
Pada pengujian kedua menggunakan dua piringan magnet dengan resistansi sebesar 330 Ω dan 380 Ω pada jarak celah (gap) 14,3 mm serta 44,3 mm.



(a)

(b) Jarak celah (Gap) 14.3mm

Pada grafik putaran terhadap tegangan menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran yang diberikan pada generator AFPM maka tegangan yang dihasilkan pun semakin tinggi. Pada hasil pengujian dengan jarak celah (gap) 14,3 mm diperoleh persamaan linear pada resistansi sebesar 330 Ω yaitu y = 0,0367x - 0,4129 dengan R^2 = 0,9992 sedangkan pada resistansi 380 Ω diperoleh persamaan linear y = 0,0113x - 0,2879 dengan R^2 = 0,9989.



(a) Jarak celah (Gap) 34.3mm

Gambar 16. Grafik Putaran terhadap Tegangan

Pada hasil pengujian dengan jarak celah (gap) 34,3 mm diperoleh persamaan linear pada resistansi sebesar 330 Ω adalah y = 0,0119x - 0,1745 dengan R^2 = 0,9934 sedangkan pada resistansi 380 Ω diperoleh persamaan linear yaitu y = 0,0431x - 0,3755 dengan R^2 = 0,9962

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka perancangan generator AFPM telah berhasil dibuat serta dilakukan pengujian data. Hasil dari pengujian serta pengolahan data dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada kumparan kawat resistansi 100 Ω dengan jarak celah (gap) 22,7 mm menghasilkan bahwa semakin tinggi putaran yang diberikan pada generator AFPM maka tegangan yang dihasilkan pun semakin tinggi pula. Pada putaran terendah 30 rpm tegangan yang diperoleh pada dua piringan magnet sebesar 1,4 Volt sedangkan saat putaran tertinggi 300 rpm tegangan yang dihasilkan sebesar 13,3 Volt. Hasil pengukuran menghasilkan persamaan linier yaitu y = 0,0431x - 0,2867 dengan R^2 = 0,9913.
2. Pada kumparan kawat dengan resistansi sebesar 330 Ω dan 380 Ω pada jarak celah (gap) 14,3 mm serta 44,3 mm menghasilkan bahwa semakin tinggi putaran yang diberikan pada generator AFPM maka tegangan yang dihasilkan pun semakin tinggi. Hasil pengujian dengan jarak celah (gap) 14,3 mm diperoleh persamaan linear pada resistansi sebesar 330 Ω yaitu y = 0,0367x - 0,4129 dengan R^2 = 0,9992 sedangkan pada resistansi 380 Ω diperoleh persamaan linear y = 0,0113x - 0,2879 dengan R^2 = 0,9989. Pada hasil pengujian dengan jarak celah (gap) 34,3 mm diperoleh persamaan linear pada resistansi sebesar 330 Ω adalah y = 0,0119x - 0,1745 dengan R^2 = 0,9934 sedangkan pada resistansi 380 Ω diperoleh persamaan linear yaitu y = 0,0431x - 0,3755 dengan R^2 = 0,9962.

DAFTAR PUSTAKA

1. Muhammad H. Rashid,*Elektronika Daya: Rangkaian, Devais, danAplikasinya, Jilid 1*, PT Prenhallindo, Jakarta: Indonesia, 1999.
2. Sauli Jäntti, CODGUNet Project Group, *Connection of Distributed Energy Generation Units in the Distribution Network and Grid* (*CODGUNet Project*), Final Report, Oy Merinova Ab, September 2003.
3. D. W. Thielens, Peter T. M. Vaessen, *The Transition of Grid: It's All in the Mix*, Electrical Power Quality and Utilisation Magazine, Vol. I, No. 1, 2005.
4. Haryo Agung W., Prediksi Profil Gaya Gerak Listrik Pada Generator Sinkron Fluksi Aksial-Magnet Permanen, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, 2008.
5. Ardha Pradikta Rahardjo, Prediksi Induktansi pada Generator Sinkron Magnet Permanen Fluksi Aksial dengan Metode Quasi-3D, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung, 2009.
6. Piggott, Hugh, *How to Build a Wind Turbine: The Axial Flux Windmill Plans*,2005.
7. J.F. Gieras, R.J. Wang, M.J. Kamper, *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machine*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2004.
8. Nikos D. Hatziargyriou, A.P. Sakis Meliopoulos, Distributed Energy Sources: Technical Challenges. 2010.
9. S.A. Papathanassiou, G.A. Vokas, M. P. Papadopoulos, *Use of Power Electronic Converters in Wind Turbines and Photovoltaic Generators*, 2010.