

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Jati [1] dengan topik penelitiannya tentang perancangan generator fluks *axial* jenis *Neodymium* (NdFeB) dengan variasi celah udara. Perancangannya menggunakan magnet jenis (NdFeB) untuk desain generator, sehingga dapat dihasilkan generator putaran rendah dengan nilai output yang besar yaitu dengan putaran dari 100 rpm hingga 700 rpm dihasilkan tegangan AC 2,7 V sampai 33,33 V. Pada pengujiannya tercatat hasil output generator mengalami drop tegangan dengan celah udara sebesar 0,002 meter pada putaran 150 rpm sampai 750 rpm dengan nilai keluaran tegangan sebesar 4,9 V hingga 24,93 V.

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Prasetijo dan Walujo [2] tentang sebuah prototipe generator magnet permanen *axial* AC 1 fase. Generator magnet permanen dipilih karena tidak memerlukan arus eksitasi DC serta sistem pemeliharaan yang relatif mudah. Jenis magnet permanen yang digunakan adalah NdFeb (Neodymium-Iron-Boron). Generator yang dirancang bertipe double sided coreless stator. Hasil pengujian diperoleh tegangan rms sebesar 12,13 V dengan frekuensi 50,2 Hz pada pengujian tanpa beban dan 11,93 V dengan frekuensi 50,1 Hz pada pengujian berbeban. Beban yang digunakan yaitu 3 buah lampu pijar 24 V 125 mA terhubung parallel.

Penelitian ini memiliki perbedaan dan juga kesamaan gabungan dari beberapa penelitian sebelumnya, terkait perancangan sebuah generator dengan pengaturan desain pada stator dengan mengatur ulang jumlah lilitan kumparan serta pada bagian rotor yang menggunakan magnet *neodymium* (NdFeb) agar hasil putaran pada rotor akan menimbulkan gaya gerak listrik (GGL).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Generator

Generator adalah suatu mesin yang mengubah tenaga mekanik menjadi tenaga listrik. Tenaga mekanik di sini digunakan untuk memutar kumparan kawat penghantar dalam medan magnet ataupun sebaliknya memutar magnet diantara kumparan kawat penghantar. Tenaga mekanik dapat berasal dari tenaga panas, tenaga potensial air, motor diesel, motor bensin bahkan ada yang berasal dari motor listrik [6].

Generator dalam bentuknya yang sederhana sebuah generator listrik terdiri atas magnet dan kumparan. Bilamana terdapat suatu gerakan relatif antara kedua komponen diatas, garis-garis gaya magnet memotong belitan-belitan kumparan dan suatu gaya gerak listrik (GGL) akan dibangkitkan. Sebuah generator listrik atau alternator *modern* terdiri atas suatu sistem elektromagnet dan suatu armatur yang terdiri atas sejumlah kumparan dari konduktor berisolasi yang diletakkan dalam alur (slot) inti besi berlaminasi [3].

Prinsip kerja generator berdasarkan hukum induksi *Faraday* yang menyatakan bahwa sebuah magnet yang digerakan dengan cepat melalui suatu konduktor belitan, akan menginduksikan suatu tegangan ke belitan itu, yang

besarnya sama dengan kecepatan magnet itu. Bilamana belitan itu merupakan suatu rangkaian tertutup, tegangan induksi itu akan menyebabkan mengalirnya arus listrik. Arah arus listrik itu akan sedemikian rupa, sehingga akan menghasilkan gaya, yang akan berlawanan dengan arah gerakan semula. Hukum *Faraday* dapat dinyatakan dengan [4] :

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

Keterangan :

ε = Tegangan induksi (V)

N = Banyaknya jumlah lilitan

$d\phi$ = Perubahan fluks magnetik (Webber)

dt = Perubahan waktu (detik)

Hukum *Faraday* dapat secara kuantitatif dinyatakan dalam berbagai bentuk. Bentuk pertama yang perlu dipertimbangkan dirumuskan berdasar gerakan relatif antara medan magnet dan konduktor.

A. Generator AC

Generator AC adalah generator yang menghasilkan listrik arus bolak balik. Generator AC termasuk jenis mesin serempak (mesin sikron) dimana frekuensi listrik yang dihasilkan sebanding dengan jumlah kutub dan putaran yang dimilikinya.

Pada generator AC, bagian jangkar disebut juga bagian stator karena berada pada tempat yang tetap, sedangkan bagian 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 dalam konduktor tersebut akan terbentuk GGL induksi [3]

Peningkatan tegangan GGL induksi pada generator AC dapat diperbesar dengan beberapa cara yaitu dengan penggunaan magnet permanen yang lebih kuat medan magnetnya, memperbanyak lilitan kumparan, meningkatkan kecepatan putar rotor, dan menyisipkan inti besi lunak kedalam kumparan.

1. Generator Magnet Permanen

Generator Pemanen Magnet (PMG) merupakan generator sinkron yang medan magnet dihasilkan oleh magnet permanen bukan kumparan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet permanen. Generator permanen magnet (PMG) umumnya digunakan untuk mengubah output daya mekanik turbin uap, turbin gas, turbin air dan turbin angin menjadi tenaga listrik untuk grid bahkan sebagai generator pada mobil listrik.

Dalam generator magnet permanen, medan magnet rotor dihasilkan oleh magnet permanen sehingga tidak memerlukan arus DC untuk membangkitkan medan magnet. Magnet Permanen yang besar dan mahal yang membatasi peringkat ekonomi mesin sehingga kepadatan fluks magnet permanen kinerja tinggi terbatas. Kepadatan fluks tersebut juga mengakibatkan fluks sulit diatur sehingga tegangan dan arus keluaran generator tidak dengan mudah diatur seperti generator dengan lilitan. Berdasarkan aliran fluksnya, generator magnet permanen dibagi menjadi dua yaitu, generator magnet permanen fluks radial dan magnet permanen fluks *axial*. Pada penelitian ini hanya membahas tentang generator magnet permanen fluks *axial* [2].

Generaor fluks *axial* merupakan salah satu tipe alternatif selain generator fluks radial. Generator jenis ini memiliki konstruksi yang kompak, berbentuk piringan, dan kerapatan daya yang besar. Pada generator berjenis fluks *axial* digunakan magnet permanen. Penggunaan magnet permanen pada generator ini dapat

menghasilkan medan magnet pada celah udara tanpa perlu eksitasi, dan tanpa disipasi daya listrik. Kelebihan penggunaan magnet permanen pada konstruksi generator ini adalah :

- a. Tidak ada energi listrik yang diserap sistem medan magnet sehingga tidak ada kerugian energi listrik yang artinya dapat meningkatkan efisiensi.
- b. Menghasilkan torsi yang lebih besar daripada yang menggunakan elektromagnet.
- c. Menghasilkan performa dinamis yang lebih besar (kerapatan fluks magnet lebih besar pada celah udara) daripada yang menggunakan magnet non permanen.
- d. Menyederhanakan konstruksi dan perawatan, mengurangi biaya pemeliharaan pada beberapa tipe mesin



Gambar 2.1 Struktur GMPFA[6]

Generator ini memiliki dua komponen utama, yaitu stator dan rotor yang menentukan jenis dan karakteristik generator. Stator adalah bagian dari generator yang statis (diam atau tidak berubah). Stator berfungsi sebagai kumparan jangkar

yang menghasilkan listrik saat terpotong medan magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui stator.

Perputaran rotor akan memutar medan magnet yang dihasilkan oleh magnet permanen. Medan magnet yang dihasilkan pada rotor akan diinduksikan pada kumparan jangkar yang terletak di stator, sehingga akan menghasilkan fluks magnetik yang berubah ubah besarnya terhadap waktu. Adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL induksi pada akhir kumparan tersebut, hal tersebut sesuai dengan persamaan [2]:

$$E = \frac{4,44 \cdot f \cdot N \cdot \phi_{maks}}{2} \quad (2.2)$$

Keterangan :

E = GGL induksi yang dibangkitkan (V)

f = Frekuensi (Hz)

N = Jumlah lilitan per kumparan

Persamaan ini di dapat dari penjabaran persamaan hukum *faraday*.

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 atau bisa menggunakan bahan lain seperti fiber dan kayu yang bisa di jadikan rumah atau pondasi untuk semua bagian stator pada rangka keseluruhan

generator. Pada stator juga terdapat kumparan yang akan diinduksikan dengan magnet yang terdapat pada rotor.

2. Rotor

Rotor adalah bagian dari generator yang berputar dimana dari konstruksinya rotor terbagi dua tipe yaitu dengan menghasilkan medan magnet dari DC dan penggunaan magnet permanen untuk menghasilkan arus searah bila di induksikan dengan lilitan. Rotor nantinya akan di gerakkan dengan penggerak mula. Rotor diletakkan berhadapan dengan kumparan yang ada pada stator. Rotor yang berputar dihadapan stator nantinya akan menimbulkan GGL pada bagian kumparan stator .

Tegangan GGL induksi yang dibangkitkan bergantung pada [5]:

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

Cara menentukan jumlah magnet generator yang terletak pada bagian rotor. Menentukan jumlah magnet berhubungan dengan kecepatan putar rotor pada generator dan frekuensi, yaitu dengan persamaan:

$$p = \frac{120 \times f}{nr} \quad (2.3)$$

Keterangan :

f = frekuensi listrik (Hz)

nr = kecepatan putar rotor (rpm)

p = jumlah kutub magnet (pole)

Magnet yang digunakan pada rotor adalah magnet jenis neodymium. Magnet *neodymium* dikenal sebagai magnet NdFeB, NIB atau magnet neo dan merupakan magnet yang paling sering digunakan dalam dunia industri. Magnet ini adalah jenis magnet permanen yang terbuat dari perpaduan neodymium, besi, dan boron untuk membentuk struktur kristal NdFe14B, magnet neodymium adalah magnet permanen terkuat dibandingkan dengan magnet jenis lainnya.

Fluks magnetik adalah banyaknya garis medan magnetik yang dilingkupi oleh luas daerah dalam arah tegak lurus. Dapat dituliskan dengan berbagai persamaan sedangkan yang digunakan untuk generator axial ini adalah:

$$\phi_{maks} = B \times A \quad (2.4)$$

keterangan :

ϕ = fluks magnetik (Webber)

A = Luas Penampang (m^2)

B = Kerapatan fluks magnet (Tesla)

Untuk mencari kerapatan fluks magnetnya menggunakan persamaan :

$$B = B_r \frac{lm}{lm+\delta} \quad (2.5)$$

Keterangan :

B_r = Kerapatan fluks magnet (Tesla)

l_m = Tinggi magnet (m)

δ = Celah udara (m)

Sedangkan untuk mencari luas penampangnya menggunakan persamaan:

$$A = \frac{\pi(r_o^2 - r_i^2) - \tau f(r_o - r_i)N_m}{N_m} \quad (2.6)$$

Keterangan :

r_o = Radius luar magnet (m)

r_i = Radius dalam magnet (m)

N_m = Jumlah magnet

τf = Jarak antar magnet (m)

