



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)

Generator sinkron magnet permanen (PMSG), generator yang medan eksitasinya dihasilkan oleh magnet permanen bukan kumparan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet permanen. Istilah sinkron disini merujuk pada fakta bahwa rotor dan medan magnet berputar dengan kecepatan yang sama karena medan magnet dihasilkan melalui magnet permanen yang terpasang pada permukaan ataupun tertanam pada rotornya.

##### 2.1 Tabel kelebihan serta kelemahan generator PMSG

NO	Kelebihan generator PMSG	Kekurangan generator PMSG
1	Desain yang sederhana.	Tidak efisien jika menggunakan magnet permanen dengan produksi fluks magnet rendah.
2	Umur generator lebih awet (reliable).	Pembangkitan daya listrik terbatas sejauh kemampuan magnet dalam membentuk medan magnet, sehingga tidak cocok digunakan dengan skala besar.
3	Tidak membutuhkan sumber arus listrik DC dari luar untuk membangkitkan medan magnet.	

## 2.2 Komponen pada generator PMSG

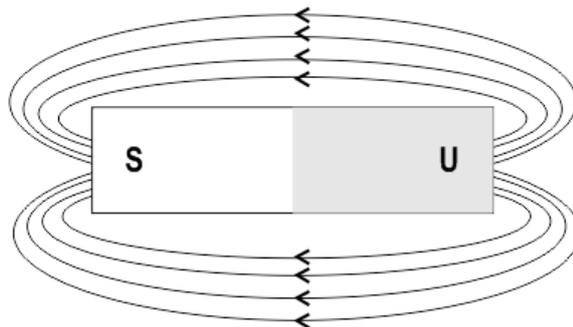
Pada generator PMSG memiliki komponen-komponen yang terdiri dari beberapa bagian diantaranya yakni :

### 2.2.1 Permanen Magnet

Magnet adalah benda yang mampu menarik benda tertentu disekitarnya. Setiap magnet memiliki sifat kemagnetan. Kemagnetan adalah kemampuan benda tersebut untuk menarik benda-benda di sekitarnya. Kata magnet (magnet) berasal dari bahasa Yunani “magnítis líthos” yang berarti batu magnesian.

Magnet memiliki sifat – sifat di antara lain :

1. Magnet hanya dapat menarik benda – benda tertentu dalam jangkauannya, artinya tidak semua benda dapat ditarik.
2. Magnet memiliki dua kutub, yaitu kutub utara dan kutub selatan.
3. Gaya magnet dapat menembus benda, semakin kuat gaya magnet yang dimiliki sebuah magnet maka semakin tebal benda yang dapat ditembusnya.
4. Garis – garis medan magnet bergerak dari utara menuju selatan.



Gambar : 2.1 Garis gaya magnet bergerak dari utara menuju selatan.

### **2.2.2 Rotor**

Rotor merupakan salah satu komponen yang terdapat pada generator, dan rotor tersebut merupakan bagian dari generator yang berputar. Pada jenis PMSG, rotor ini sendiri juga sebagai tempat menempelnya magnet permanen dimana hal ini bisa di asumsikan sebagai penghasil medan magnet yang diperlukan dalam pembangkitan tegangan. Rotor akan dihubungkan dengan poros turbin agar dapat berputar.

Berikut ini merupakan gambar rotor :



Gambar : 2.2 Rotor dengan Permanen Magnet

### **2.2.3 Stator**

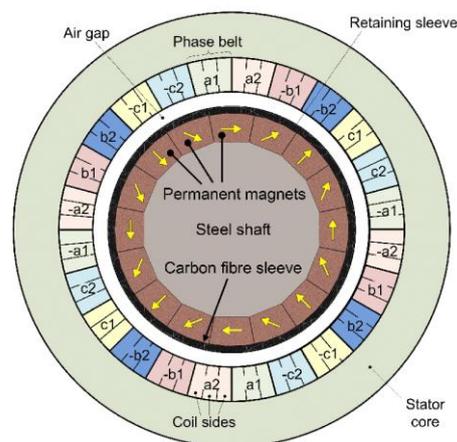
Stator adalah salah satu bagian dari komponen generator. Dimana stator ini merupakan bagian yang stagan atau tidak bergerak. Pada stator diantaranya terdapat coil atau kumparan dimana kumparan tersebut merupakan salah satu komponen untuk tempat terbentuknya tegangan dan arus mengalir. Lilitan atau kumparan pada stator berfungsi sebagai tempat terjadinya gaya gerak listrik (GGL) MSN induksi.



Gambar : 2.3 Stator pada generator dengan permanent magnet.

#### 2.2.4 Celah udara (Air Gap)

Celah udara (Air Gap) bisa diartikan sebagai jarak antara stator dan rotor. Pada celah udara inilah yang nantinya terjadi fluks induksi antara kumparan stator yang memotong magnet permanen yang terdapat pada rotor sehingga dapat tercipta gaya gerak listrik (GGL). Pada jarak tersebut tentunya harus diperhitungkan agar didapatkan hasil kerja generator yang optimum. Secara tidak langsung hal tersebut akan membuat tegangan pada generator akan semakin besar.



Gambar : 2.4 Air Gap Pada generator.



### 2.3 Prinsip kerja Generator PMSG

Prinsip kerja generator adalah mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik yang mengacu pada hukum Faraday dan Lenz. Hukum Faraday menunjukkan jika seutas kawat atau kumparan konduktor berada pada medan magnet yang berubah-ubah terhadap waktu, maka pada ujung-ujung kawat atau kumparan konduktor akan timbul tegangan atau gaya gerak listrik (GGL) induksi. Hukum Lenz menjelaskan bahwa GGL induksi yang muncul berarah berlawanan perubahan flux akan menyebabkannya arus mengalir.

#### 2.3.1 GGL induksi

Rumus Tegangan Fasa<sup>1</sup> :

$$e = \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

e : Tegangan (v)

d $\phi$  : Perubahan fluks magnet dalam satuan (webber)

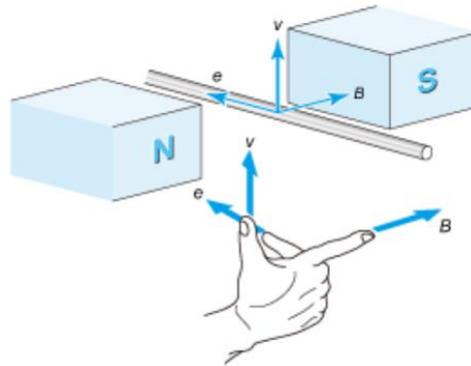
dt : Perubahan waktu dalam satuan detik

#### 2.3.2 Kaidah tangan kanan Fleming

Kaidah tangan kanan Fleming adalah sebuah metode mnemonik untuk memudahkan menentukan arah vektor dari ketiga komponen hukum Faraday, yakni arah gaya gerak kumparan kawat, arah medan magnet, serta arah arus listrik.

---

<sup>1</sup> Sumber : A.E Fitzgerald, *Electric Machinery*, (2003). Hal 11



Gambar 2.5 kaidah tangan kanan fleming ( Piala A. Simanjuntak, *Lentera Angin Nusantara*, 2016)

Rumus dari tangan kanan fleming adalah :

$$e = b \cdot l \cdot v \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- $b$  : garis gaya magnet
- $l$  : panjang kawat
- $v$  : arah gerakan

### 2.3.3 Fluks magnetik

Fluks magnetik adalah ukuran atau jumlah medan magnet ( $B$ ) yang melewati luas penampang tertentu. Satuan fluks magnetik adalah weber (Wb). Fluks magnet yang melalui bidan tertentu melewati bidang tertentu sebanding dengan jumlah medan magnet yang melalui bidang tersebut.

Rumus fluks magnetik<sup>2</sup> yaitu :

$$\Phi_{max} = B_{max} \cdot A \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- $\Phi_{max}$  : fluks magnet (Wb)
- $B_{max}$  : densitas fluks maksimum (T)
- $A$  : luas magnet (cm<sup>2</sup>)

<sup>2</sup> Sumber : J.D Edwards, *Course in Electromechanics Year 1*, (2004). Hal 5



### 2.3.4 Kerapatan fluks

Rumus kerapatan fluks maksimum (T)

$$B_{max} = Br \cdot \frac{l_m}{l_m + \delta} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

Br : densitas fluks magnet (Tesla)

Lm : Tebal Magnet (cm)

$\delta$  : Air Gap (cm)

### 2.3.5 Kecepatan putar rotor

Generator untuk dapat menghasilkan tegangan dan arus harus dapat berputar dengan kecepatan tertentu. Kecepatan putar generator mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan. Kecepatan dan arah putar pada generator diperlukan untuk menghasilkan listrik, kecepatan arah putar yang dihasilkan tentu saja berasal dari SDA yang secara tidak langsung berguna untuk memutar generator yaitu bilah pada PLTB atau Pembangkit Listrik Tenaga Bayu atau tenaga Angin. Hal inilah yang membuat bilah berputar sehingga dapat memutar turbin generator PMSG 12 Slot 8 Pole, kecepatan serta diikuti arah putar yang benar maka hal ini sangat mempengaruhi kinerja dari generator PMSG tersebut baik nilai tegangan serta arus yang dihasilkan, nilai *Back-EMF* dan *Ke* yang dihasilkan per satuan waktu yang disimulasikan dengan menggunakan software MagNet. Dan tentu saja pada akhirnya didapatkan nilai efisiensi generator yang dihasilkan terhadap kecepatan putar yang telah ditentukan sebagai beberapa nilai variasi guna menentukan rating kecepatan yang paling baik dalam efisiensi generator yang dihasilkan.

Jika kita berbicara tentang mesin listrik maka generator juga termasuk didalamnya, dan pada mesin listrik itu sendiri kita mengetahui banyak hal mengenai tenaga, kecepatan, serta daya yang dihasilkan, kecepatan dalam generator PMSG yang digunakan, singkatnya Generator untuk dapat menghasilkan tegangan dan arus



harus dapat berputar dengan kecepatan tertentu. Kecepatan putar generator mempengaruhi tegangan dan arus yang dihasilkan.

Rumus kecepatan putar rotor<sup>3</sup> tersebut yaitu :

$$n = \frac{120 F}{p} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

n = kecepatan putar (rpm)

F = frekuensi (Hz)

Pada software magnet kecepatan putar (rpm) harus dirubah menjadi kecepatan angular menggunakan rumus tersebut.

$$\omega = \frac{360^\circ}{60 s} \times n \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

$\Omega$  = angular (deg/s)

n = kecepatan putar rotor (rpm)

### 2.3.6 Daya input

Daya input<sup>4</sup> pada generator dihasilkan dari torsi dan kecepatan putar pada rotor dapat dirumuskan :

$$P_{IN} = Q \times \omega \dots\dots\dots(2.7)$$

<sup>3</sup> Sumber : Zuriman Anthony, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*, (2019). Hal 26

<sup>4</sup> Sumber : Himran. S, *Energi Angin*, (2019), Hal 69



Keterangan :

$P$  = Daya input

$Q$  = Torsi

$\omega$  = Putaran

### 2.3.7 Daya Output

Rumus Daya output<sup>1</sup> pada generator ini adalah :

$$P_{OUT} = V \times I \dots\dots\dots(2.8)$$

$P$  = Daya output

$V$  = Tegangan

$I$  = Arus

### 2.3.8 Efisiensi

Mutu sebuah generator sangat ditentukan oleh besarnya efisiensi generator tersebut. Makin besar efisiensi sebuah generator maka generator tersebut makin bagus. Efisiensi ini dihitung berdasarkan perbandingan antara daya keluaran generator terhadap daya masukan awal generator yang dapat dijabarkan sebagai berikut<sup>1</sup> :

$$\text{Efisiensi}(\eta) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.9)$$

<sup>1</sup> Sumber : Zuriman Anthony, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*, (2019). Hal 35

<sup>1</sup> Sumber : Zuriman Anthony, *Mesin Listrik Arus Bolak-Balik*, (2019). Hal 56

## **2.4 Software Infolytica Magnet**

Software Infolytica Magnet adalah aplikasi perancangan atau pemodelan elektromagnetik yang memiliki fitur 2D & 3D di dalam aplikasi tersebut. Software MagNet juga merupakan paket paling canggih yang saat ini tersedia untuk memodelkan perangkat elektromagnetik di komputer pribadi. Software ini menyediakan "laboratorium virtual" di mana pengguna dapat membuat model dari bahan magnetik dan gulungan, tampilan tampilan dalam bentuk plot lapangan dan grafik, dan mendapatkan nilai numerik untuk jumlah seperti hubungan fluks dan gaya. Seorang pengguna software MagNet hanya membutuhkan pengetahuan dasar tentang konsep magnetik untuk memodelkan perangkat yang ada, memodifikasi desain, dan menguji gagasan baru.

Software MagNet dirancang sebagai alat pemodelan 3D lengkap untuk memecahkan masalah elektromagnetik yang dapat melibatkan medan magnet statik, medan varising dan arus eddy, dan kondisi sementara dengan gerakan bagian perangkat. Banyak perangkat dapat diwakili dengan sangat baik oleh model 2D, jadi MagNet menawarkan pilihan pemodelan 2D, dengan penghematan besar dalam sumber daya komputasi dan waktu penyelesaian.

Sebuah fitur yang terdapat di software MagNet adalah penggunaan metode terbaru untuk memecahkan persamaan medan dan menghitung jumlah seperti gaya dan torsi. Untuk mendapatkan hasil yang dapat diandalkan, pengguna tidak perlu menjadi ahli dalam teori elektromagnetik atau analisis numerik. Meski demikian pengguna memang perlu menyadari faktor-faktor yang mengatur ketepatan solusi.



2.6 Gambar logo dari software Infolytica Magnet.