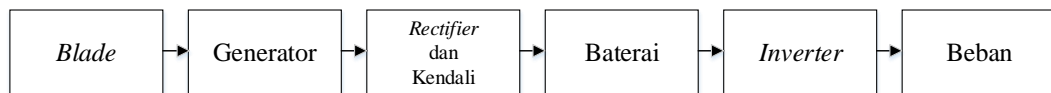


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Turbin Angin

Prinsip kerja turbin angin adalah energi angin yang digunakan untuk memutar baling-baling kemudian diteruskan untuk menggerakkan generator dengan memutar rotor pada porosnya. Energi angin merupakan suatu masalah pada PLTB skala mikro, hal ini mengakibatkan generator beroperasi pada kecepatan yang berubah-ubah sehingga energi listrik yang dihasilkan tidak stabil, sehingga untuk mensuplai listrik ke beban dengan stabil, PLTB skala mikro umumnya menggunakan sistem yang disebut dengan *variable speed generator*. Gambar 2.1 menggambarkan blok diagram dari PLTB yang menggunakan sistem *variable speed generator* [16].



Gambar 2.1 Blok Diagram dari Sistem *Variable Speed Generator* [17]

Gambar 2.1 menjelaskan mengenai *variable speed generator* yang terbentuk dari energi angin untuk menggerakkan *blade* pada turbin angin. *Blade* tersebut sebagai *drive* atau penggerak yang terhubung dengan generator. Putaran generator tersebut menghasilkan energi listrik yang digunakan untuk mengisi daya baterai dan menggunakan *inverter* sebagai penyearah tegangan dan terhubung ke suplai beban.

2.2. Generator Sinkron

Generator merupakan sebuah alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik ini berasal dari penggerak utama yang dapat berupa energi angin maupun *engine*. Generator yang biasa digunakan pada pembangkit listrik adalah generator sinkron pemanen magnet. Konstruksi utama pada generator adalah stator, rotor, magnet dan celah udara (*airgap*). Stator merupakan bagian generator yang diam. Stator terdapat *slot* yang merupakan tempat kumparan atau *coil* yang disusun. Rotor merupakan bagian generator yang berputar dan merupakan tempat diletakkannya magnet. *Airgap* atau celah udara

merupakan celah diantara rotor dan stator yang mencegah terjadinya gesekan antara rotor dan stator ketika generator mulai berputar [18].

Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet maka timbul Gaya Gerak Listrik (GGL) induksi. Putaran dari *prime mover* yang diterima generator akan memutar rotor dan magnet yang terdapat pada rotor. Apabila rotor berputar, magnet sebagai penghasil medan magnet akan menyebabkan fluks magnet pada inti kutub rotor bersirkulasi disekeliling rotor. Fluks magnet dari kutub magnet yang terletak pada rotor akan melewati celah udara atau *airgap* dan mencapai permukaan stator beserta lilitan pada inti stator. Putaran rotor akan menyebabkan fluks magnet yang diterima oleh menyebabkan stator bersifat berubah terhadap waktu. 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 [19].

Generator sinkron adalah mesin pembangkit listrik yang mengubah energi mekanik sebagai masukan menjadi energi listrik sebagai energi keluaran. Tegangan keluaran dari generator sinkron adalah tegangan bolak-balik, karena itu generator sinkron disebut juga generator AC [20]. Generator sinkron dapat menghasilkan sumber energi, yaitu tegangan bolak-balik, oleh karena itu generator sinkron disebut juga generator AC. Dikatakan generator sinkron karena jumlah putaran rotornya sama dengan jumlah putaran medan magnet pada stator. Kecepatan sinkron ini dihasilkan dari kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama dengan medan putar pada stator. Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh tenaga angin atau tenaga lainnya, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks putar. Fluks putar ini akan memotong kumparan stator, sehingga pada ujung-ujung

kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena berpengaruh induksi dari fluks putar tersebut [21].

2.3. *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)*

Permanen Magnet Sinkron Generator (PMSG) adalah salah satu jenis generator sinkron yang medan utamanya dihasilkan oleh magnet permanen. Sama seperti generator pada umumnya, *Permanent Magnet Sinkron Generator (PMSG)* merupakan sebuah perangkat atau alat yang dapat mengubah atau mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik yang dimanfaatkan untuk mengubah keluaran daya mekanik turbin angin, turbin air, dan turbin uap menjadi tenaga listrik untuk *grid* [22].

Generator permanen magnet menghasilkan gaya gerak listrik bolak balik pada ujung stator menghasilkan tegangan induksi. Bagian generator permanen magnet, rotor merupakan tempat tersusunnya magnet permanen sebagai pembangkit medan magnet yang diperlukan untuk pembangkit listrik. Induksi elektromagnetik yang ada pada generator permanen magnet menggunakan hukum faraday yang berbunyi adanya perubahan fluks *magnetic* yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL pada kumparan tersebut. Tidak hanya hukum faraday, pada generator permanen magnet juga digunakan hukum lenz yang berbunyi GGL induksi yang muncul berlawanan arah dengan perubahan fluks menyebabkan arus mengalir [23]. Hukum lenz dijelaskan dalam Persamaan (2.1) berikut.

$$\varepsilon = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Variabel ε merupakan tegangan induksi (v), N merupakan jumlah lilitan kawat, $\Delta\phi$ merupakan perubahan fluks magnet (Wb), Δt merupakan perubahan waktu (s). Persamaan (2.1) menjelaskan mengenai arus listrik yang mengalir melalui kumparan bergantian, maka fluks yang dihasilkan pada cincin besi juga bersifat bolak-balik. Jumlah lilitan pada kawat akan sebanding dengan banyaknya perubahan pada fluks magnetik. Selanjutnya terdapat hubungan antara tegangan DC dengan konstanta EMF yang dinyatakan dalam Persamaan (2.2) berikut.

$$K_e = \frac{V_{dc}}{\omega} \quad (2.2)$$

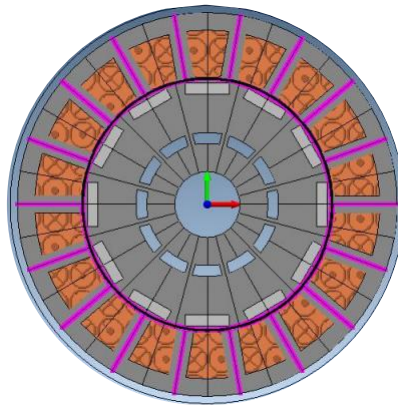
Variabel K_e merupakan konstanta EMF dan V_{dc} merupakan Tegangan DC. Persamaan (2.2) menjelaskan tentang hubungan konstanta EMF dengan tegangan DC. Semakin besar tegangan DC maka akan semakin kecil konstanta EMF yang dihasilkan. Besarnya kerapatan fluks magnet celah udara (B_g) berpengaruh langsung pada EMF yang dibangkitkan. Tegangan induksi yang dibangkitkan, tegangan efektif dan tegangan 3 fasa, didapat dengan rumus pada Persamaan (2.3)

$$E_{ph} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f K_w N_s \Phi \frac{Q_s}{N_{ph}} \quad (2.3)$$

Variabel E_{ph} merupakan tegangan induksi antar fasa (V), f merupakan frekuensi (Hz), K_w merupakan faktor belitan, N_s merupakan jumlah lilitan per *slot*, Φ merupakan fluks medan (Wb), Q_s merupakan jumlah *slot* dan N_{ph} merupakan jumlah fasa. Persamaan (2.3) menjelaskan tentang tegangan induksi yang dihasilkan generator antar fasa. Generator sinkron dengan magnet permanen tidak membutuhkan sistem eksitasi karena sumber eksitasi disediakan oleh magnet permanen pada rotor. Kendali tegangan untuk sistem eksitasi tidak diperlukan, sehingga mengurangi kesulitan dalam sistem kendalinya. PMSG biasanya digunakan untuk membangkitkan listrik pada daya rendah, sehingga penggunaan PMSG sesuai untuk pembangkitan listrik tenaga angin untuk skala kecil. Keuntungan menggunakan sebuah PMSG adalah biaya yang rendah, ketahanan, kesederhanaan, dan lebih mudah mengkopling *grid*, akan tetapi kelemahan utamanya adalah perlunya kompensator faktor daya dan efisiensi yang lebih rendah [24].

PMSG memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan generator induksi, bentuknya yang lebih sederhana membuat generator magnet permanen menjadi lebih rapih, ringan, dan tersusun padat. Penggunaan magnet permanen *Neodymium Iron Boron* lebih baik daripada kemampuan *Ceramic* dimana magnet permanen pada *Neodymium Iron Boron* lebih tinggi dari *Ceramic*. Penggunaan magnet permanen menghasilkan medan magnet yang tetap sehingga tidak memerlukan pencatutan arus searah untuk menghasilkan medan magnet. sedangkan fluks diperoleh dari magnet permanen yang telah diberikan perlakuan khusus sehingga arah garis-garis gaya magnet keluar dari kutub magnet secara radial dan *axial* [16].

Generator ini juga memiliki konstruksi umum yang sama yaitu memiliki lilitan stator sebagai tempat terjadinya induksi elektromagnetik, rotor tempat meletakkan magnet permanen sebagai sumber medan magnet, dan celah udara sebagai tempat mengalirnya fluks udara dari rotor ke stator. Magnet permanen merupakan material yang memiliki banyak manfaat terutama dalam bidang konversi energi, yaitu digunakan untuk mengubah energi kinetik menjadi energi listrik maupun sebaliknya [17]. Susunan magnet permanen dapat dilihat dalam Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Generator Sinkron Magnet Permanen [25]

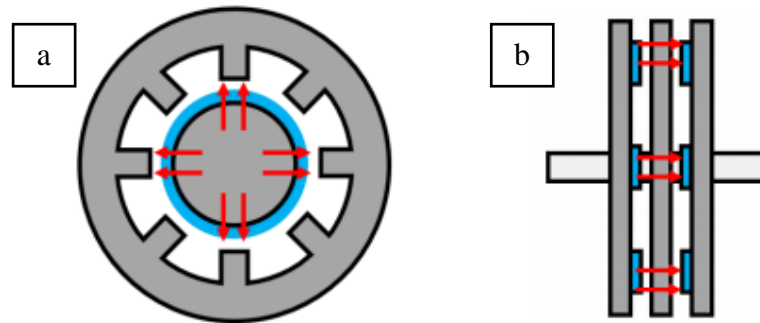
Gambar 2.2 merupakan susunan magnet permanen yang terdapat dalam generator. Magnet permanen akan mengisi di bagian inti stator dan rotor. Magnet permanen jenis *Neodymium Iron Boron* menjadi bahan yang paling baik dari bahan-bahan magnet pemanen lainnya. *Neodymium Iron Boron* mempunyai nilai fluks remanen yang paling besar dibandingkan bahan feromagnetik yang lain [26].

2.4. Jenis Generator Sinkron Magnet Permanen

Jenis-jenis generator terbagi berdasarkan aliran fluks, posisi magnet permanen dan juga hubungan antara stator dan rotor. Aliran fluks magnetik dipengaruhi oleh bentuk dari generator itu sendiri, sedangkan hubungan antara stator dan rotor dapat mempengaruhi karakteristik generator. Jenis generator akan dijelaskan lebih detail pada sub bab berikut.

2.4.1 Aliran Fluks Magnetik

Berdasarkan aliran fluks terbagi menjadi 2, yaitu radial fluks dan *axial* fluks. Jenis radial fluks generator memiliki aliran fluks secara radial, sehingga fluks akan menyebar, sedangkan pada jenis *axial* fluks generator memiliki arah aliran fluks searah dengan poros putar [27]. Perbedaan generator radial dan *axial* dapat dilihat dalam Gambar 2.3 berikut.



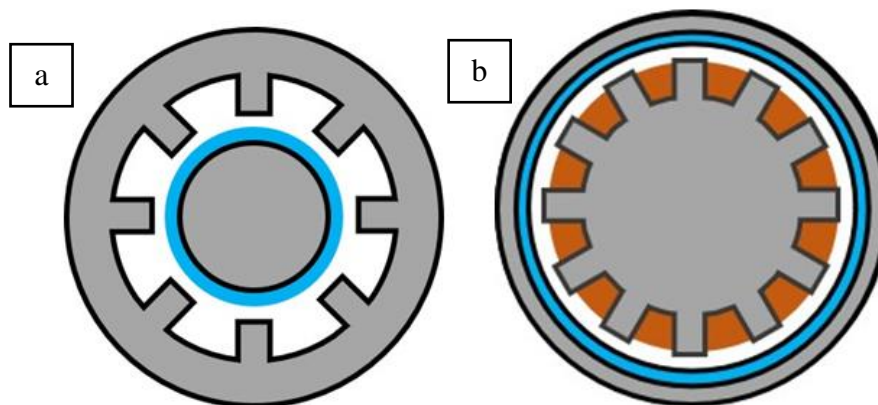
Gambar 2.3 Jenis Aliran Fluks Generator (a) Radial (b) Axial [27]

Gambar 2.3 merupakan perbedaan bentuk generator radial dan generator *axial*. Generator radial merupakan generator permanen magnet yang memiliki arah fluks radial terhadap sumbu putar sehingga arah fluks searah dengan arah putaran rotor, hal ini dikarenakan fluks dihasilkan oleh magnet magnetik *inner-rotor* yang letaknya melingkari lilitan bagian luar, sedangkan lilitan terdapat inti dalam yang terhubung pusat rotor. Generator *axial* merupakan generator permanen magnet yang memiliki arah medan fluks sejajar dengan sumbu putar. Fluks tersebut merupakan hasil dari gaya tarik menarik antara dua buah magnet permanen yang memiliki kutub yang berbeda [18].

2.4.2 Hubungan Stator dan Rotor

Berdasarkan hubungan stator dan rotor generator terbagi 2 jenis, yaitu *outer* rotor dan *inner* rotor. Pembagian ini didasarkan pada posisi dari rotor. Jenis *outer* rotor posisi stator berada didalam sedangkan posisi rotor berada diluar, sedangkan pada *inner* rotor posisi stator berada diluar dan rotor berada didalam. Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Misalkan saja pada *outer* rotor memungkinkan untuk menambah jumlah *pole* magnet lebih banyak dibandingkan

pada *inner* rotor [27]. Perbedaan hubungan stator dan rotor dapat dilihat dalam Gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Hubungan Stator dan Rotor (a) *Inner Rotor* (b) *Outer Rotor* [27]

Gambar 2.4 menjelaskan tentang perbedaan konstruksi rotor. Terdapat dua jenis yaitu *inner* rotor dan *outer* rotor. Inner rotor menggunakan jenis rotor di dalam, sedangkan *outer* rotor menggunakan jenis rotor diluar. Tipe *inner* rotor merupakan yang paling umum digunakan, sedangkan *outer* rotor hanya sedikit penggunaannya [19].

2.5. Komponen Generator Sinkron Permanen Magnet Radial Flux

Perancangan generator perlu diketahui komponen dari generator *Radial Flux*. Seperti stator, rotor dan *airgap*, yang akan dijelaskan dibawah ini dengan sebagai berikut:

1. Stator

Stator merupakan bagian generator yang diam atau tetap. Stator terdapat *teeth* atau gigi dimana berfungsi sebagai melilitkan kawat tembaga atau konduktor. Bentuk dari *teeth* bervariasi dan berpengaruh pada jumlah fluks *magnetic* yang teralirkan pada stator. *Teeth* pada stator berpengaruh terhadap perubahan *flux linkage* [27].

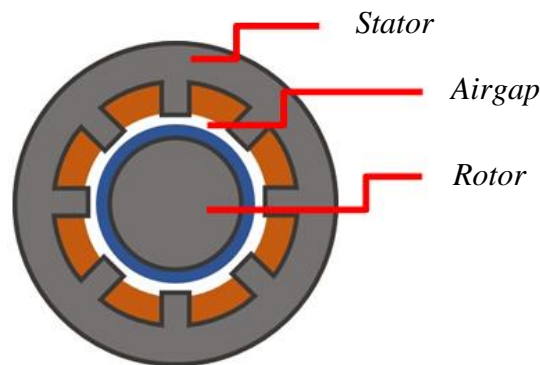
2. Rotor

Rotor merupakan bagian yang berputar. Rotor diletakkan material magnet permanen. Kecepatan putaran rotor akan mempengaruhi jumlah fluks *magnetic* yang terinduksi pada stator. Ada beberapa tipe dalam penempatan magnet permanen pada rotor antara lain, *interior-magnet rotor*, *surface-magnet rotor*,

insert-magnet rotor, bread loaf magnet, decentered magnet, interior double-layer magnet [28].

3. *Airgap*

Airgap merupakan celah udara yang ada diantara stator dan rotor. *Airgap* berfungsi sebagai jalur perpindahan *flux* magnetic dari rotor menuju stator dan juga menghindari gesekan secara langsung antara rotor dan stator. Lebar *airgap* mempengaruhi performa dari generator. Komponen dari generator dapat dilihat dalam Gambar 2.5 berikut.

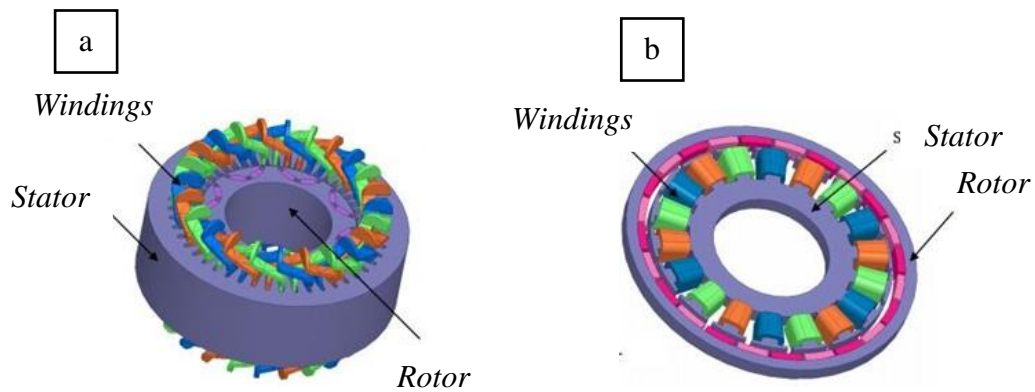


Gambar 2.5 Komponen Bagian-Bagian Generator [29]

Gambar 2.5 menjelaskan mengenai komponen yang terdapat dalam generator seperti stator, rotor dan *airgap*. Stator adalah komponen generator yang diam. Rotor adalah komponen generator yang berada di tengah dan bergerak. *Airgap* adalah celah udara antara rotor dengan stator [20].

2.6 Jenis Lilitan

Generator mempunyai lilitan terbagi menjadi 2 jenis, yaitu *concentrated* dan *distributed*. Kedua jenis ini dibedakan dari metode melilit kawat tembaga pada generator. Jenis *concentrated* tidak ada lilitan yang tumpang tindih sehingga terlihat seperti tumpukan lingkaran yang memiliki bentuk konsentris, sedangkan pada jenis *distributed* terdapat lilitan yang tumpang tindih sehingga belitan ini didistribusikan dengan menutupi seluruh area dan melingkari di sekitar stator dan rotor. Jenis gulungan terkonsentrasi digunakan untuk memberikan tegangan keluaran secara maksimum [27]. Perbedaan jenis lilitan generator dapat dilihat dalam Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Jenis Lilitan (a) *Distributed Winding* (b) *Concentrated Winding* [30]

Gambar 2.6 menjelaskan mengenai jenis lilitan yang umum digunakan pada generator yaitu *distributed winding* dan *concentrated winding*. *Distributed winding* memiliki konstruksi belitan dengan setidaknya dua gigi stator selalu dililitkan, kemudian belitan tumpang tindih di bagian atas dan bawah generator listrik. *Concentrated winding* memiliki konstruksi stator selalu dililitkan tepat di atas satu gigi. Keuntungan belitan ini yaitu memiliki kepala belitan yang sangat kecil di bagian atas dan di bawah generator [21].

2.7 Kombinasi *Slot* dan *Pole*

Kombinasi *slot* dan *pole* pada perancangan generator memiliki pengaruh pada karakteristik generator. Kombinasi *slot* dan *pole* mempengaruhi torsi, tegangan yang dihasilkan, dan juga frekuensi. Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan pengaruh yang cukup signifikan. Kombinasi *slot* dan *pole* didalam beberapa penelitian yang lain juga biasa dikenal dengan *slot per pole and phase* (SPP). Dan nilai ini dapat diketahui melalui Persamaan (2.4) berikut [31][32][29].

$$q = \frac{N_s}{2_p \cdot N_\Phi} \quad (2.4)$$

Variabel q merupakan *slot per pole and phase*, 2_p merupakan jumlah *pole*, N_s merupakan jumlah *slot*, dan N_Φ merupakan jumlah fasa. Persamaan (2.4) menjelaskan mengenai hubungan kombinasi *slot* dengan *pole*. Semakin banyak jumlah *slot* pada generator maka *pole* akan semakin sedikit. Jumlah *slot* dan *pole*

akan mempengaruhi karakteristik generator. Karakteristik generator yang dipengaruhi oleh jumlah *slot* dan *pole* yaitu arus dan tegangan [22].

2.8 Daya dan Efisiensi

Besarnya daya masukan suatu generator bergantung pada kecepatan sudutnya. Besarnya kecepatan sudut ini bisa didapatkan dari nilai kecepatan putar suatu generator dengan Persamaan (2.5) berikut [33].

$$V = I \cdot R \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) menyatakan bahwa nilai tegangan berbanding lurus dengan nilai arus (I) dan nilai resistansi (R) semakin besar nilai arus dan nilai resistansi maka akan semakin besar nilai tegangan (V). Generator daya masukan merupakan daya mekanik sedangkan daya keluaran berupa daya elektrik. Daya mekanik dapat dihitung dengan Persamaan (2.6) berikut [23].

$$P_{in} = \tau \cdot n \cdot \frac{2\pi}{60} \quad (2.6)$$

Variabel P_{in} merupakan daya masukan (Watt), variabel τ merupakan torsi (Nm) dan n merupakan kecepatan (RPM). Persamaan (2.6) menyatakan bahwa generator umumnya menggunakan kata kecepatan putar dengan satuan RPM, sedangkan untuk mencari daya masukan sendiri menggunakan kecepatan sudut atau kecepatan angular dengan satuan rad/s. Mengubah dari kecepatan putar menjadi kecepatan angular yaitu dengan mengkali nilai kecepatan putar dengan $2\pi/60$. Daya keluaran merupakan daya yang dihasilkan oleh generator berupa daya listrik, untuk daya keluaran yang dihasilkan dengan Persamaan (2.7) [33]

$$P_{out} = I \cdot V \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) menyatakan bahwa nilai daya keluaran berhubungan dengan nilai arus dan tegangan. Semakin besar nilai arus dan nilai tegangan maka akan besar pula nilai daya keluaran yang dihasilkan. Efisiensi adalah perbandingan daya masukan dan daya keluaran pada suatu sistem. Efisiensi daya dapat ditentukan menggunakan Persamaan (2.8).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) menyatakan bahwa rasio antara daya masukan dengan daya keluaran semakin besar nilai efisiensi daya maka semakin baik daya yang

dihasilkan oleh generator. Efisiensi yang tinggi menandakan *losses* yang dialami oleh generator kecil [24].

2.9 Torsi

Torsi adalah gaya yang diberikan benda untuk berotasi, karena ini adalah keluaran generator maka torsi bisa dikatakan besar gaya yang diberikan generator untuk memutar rotor. Torsi yang dihasilkan oleh generator adalah ukuran dari titik balik suatu generator dan dinyatakan dalam Persamaan (2.9), Persamaan (2.10), Persamaan (2.11) [25].

$$\omega = \frac{n \cdot 2 \cdot \pi}{60} \quad (2.9)$$

$$K = \frac{V}{\omega} \quad (2.10)$$

$$T = Kt \cdot I \quad Kt = Ke \quad (2.11)$$

Variabel ω merupakan kecepatan sudut (rad/s), variabel N merupakan kecepatan (RPM), variabel Ke merupakan konstanta EMF, Kt merupakan konstanta torsi, T merupakan torsi (Nm), dan I merupakan arus (A). Persamaan (2.9) menyatakan kecepatan sudut rotor, kemudian disubstitusikan ke Persamaan (2.10) untuk menemukan nilai konstanta torsi. Persamaan (2.11) menyatakan bahwa torsi yang didapatkan menjadi representasi dari performa generator dan akan berhubungan dengan besarnya daya masukan dari generator. Kecepatan putaran rotor akan mempengaruhi torsi dan arus dari generator.

2.10 Metode *Finite Element*

Metode ini terbukti secara efektif dapat menghitung distribusi dari medan elektromagnetik adalah metode *Finite Element Method* (FEM) Metode ini dapat dilakukan analisa distribusi fluks magnetik yang berasal dari magnet permanen. Keuntungan dengan menggunakan metode *finite element* dapat menghitung beberapa parameter penting seperti besar torsi *cogging*, *armature effect*, dan nilai induktansi [33]. Metode FEM menggunakan perangkat lunak salah satunya adalah *MagNet Infolytica* dengan menggunakan *software* MagNet maka dapat diketahui parameter keluaran dari desain yang diinginkan.

2.11 Kajian Pustaka

Penelitian ini mendapatkan referensi tentang perancangan generator PMSG dari beberapa penelitian lain yang sudah pernah dilakukan. Referensi ini digunakan sebagai bahan perbandingan mengenai beberapa metode desain variasi *slot pole* generator PMSG. Penelitian yang pertama membahas mengenai merancang desain simulasi *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* untuk aplikasi turbin angin. Generator yang dirancang memiliki jumlah 18 *slot*, 16 *pole* dan 3 fasa dengan menggunakan radial *flux*. Hasilnya yaitu dapat mencapai daya sebesar 661,234 W pada kecepatan 1000 RPM dengan efisiensi sebesar 81% [11].

Penelitian yang kedua membahas mengenai perancangan generator berjenis PMSG dengan 18 *slot* dan 8 *pole* dengan menggunakan metode *concentrated winding* variasi arah dua putar yaitu *clockwise* dan kombinasi. Hasil yang didapatkan dari pengujian *concentrated winding* pada generator permanen magnet 18S8P dengan arah putar *clockwise* mendapatkan tegangan sebesar 184.80 volt, sedangkan pada arah putar kombinasi mendapatkan tegangan sebesar 206.05 volt [12]. Penelitian yang ketiga yaitu melakukan perbandingan terhadap desain variasi *slot pole* generator dengan kombinasi 3, 5 dan 7 *fractional slot*. Penelitian ini juga menjelaskan bagaimana mendesain kombinasi *slot pole* berdasarkan faktor *winding* dengan melibatkan faktor harmonisa, rotor *losses* dan keseimbangan gaya radial. Hasilnya yaitu dengan menggunakan desain 3 fase *slot* 18 *pole* 12, 5 fase *slot* 20 *pole* 12 dan 7 fase *slot* 14 *pole* 10 menghasilkan nilai rotor *losses* yang kecil [13].

Penelitian yang keempat membahas mengenai desain rotor PMSG menggunakan *Single Rotor Single Stator (SRSS)*. Pengujian yang dilakukan yaitu dengan melakukan variasi lebar *teeth* 15 mm, 18 mm dan 23 mm. Hasil yang diperoleh yaitu dengan menambah lebar *teeth* dapat meningkatkan tegangan, arus dan daya, dan semakin besar nilai *slot* maka dapat mengurangi tegangan, arus dan daya [14]. Penelitian kelima membahas mengenai pengaruh jumlah *slot* stator terhadap performa interior *permanent magnet* motor. Jumlah *pole* yaitu 6 buah dengan 18, 27 dan 36 *slot* dengan menganalisa nilai torsi *cogging*, *ripple* torsi, induktansi dan harmonisa. Hasilnya yaitu torsi lebih besar untuk *slot* berjumlah 18 [15].

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut maka penelitian dilakukan untuk mensimulasikan generator PMSG dengan variasi *slot pole* terhadap nilai kurva karakteristik. Analisa kurva karakteristik dapat dilihat dengan hasilnya menggunakan *software Magnet Infolytica*. Nilai efisiensi dan daya generator yang terbaik akan dipilih berdasarkan variasi *slot pole* tersebut.