

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan *Permanent Magnet Synchronous Generator*

Bab ini membahas tentang analisa data dari hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan *software Magnet Infolytica*. Tidak hanya itu pada bab ini membahas tentang perbandingan hasil simulasi dari 9 model yang telah dibuat. Data yang diperoleh dari *software Magnet Infolytica* diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Berikut parameter yang didapatkan akan dijabarkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Parameter Dimensi Generator

No	Parameter	Keterangan
1	Diameter luar stator	200 mm
2	Diameter dalam stator	120 mm
3	Diameter dalam <i>slot</i>	174 mm
4	Diameter rotor	118 mm
5	Diameter luar area magnet	118 mm
6	Diameter dalam area magnet	110 mm
7	Tebal magnet	4 mm
8	Lebar <i>teeth</i>	13 mm (12 <i>slot</i>) 10 mm (15 <i>slot</i>) 9 mm (18 <i>slot</i>)

Tabel 4.1 merupakan ukuran yang digunakan untuk membuat *design* PMSG. Data hasil simulasi ditampilkan setiap model dengan rincian hasil simulasi dalam keadaan dengan beban. Pengukuran tegangan pada setiap model dilakukan dengan membuat rangkaian seperti yang sudah dijelaskan pada bab 3. Setiap model pada empat kecepatan putar rotor yang berbeda-beda dan lima variasi resistansi. Sebagaimana yang ditampilkan pada Tabel 4.2 merupakan data variasi kecepatan, sedangkan untuk variasi resistansi disimulasikan dari resistansi 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm.

Tabel 4.2 Parameter Variasi Kecepatan

RPM	deg/s
1000	6000
750	4500
500	3000
350	2100

Parameter dalam Tabel 4.2 memiliki satuan *deg/s* digunakan sebagai masukan *Motion* pada *software* Magnet *Infolytica*. Rotor berputar dengan kecepatan yang sama, sehingga dibutuhkan waktu perputaran rotor per setiap derajat supaya rotor bergerak konstan. Selanjutnya data yang diambil untuk setiap simulasi kecepatan yaitu sebanyak 120 data, untuk dapat mensimulasikan rotor berputar 360° maka dibutuhkan masukan data berupa waktu setiap kecepatan yang ditampilkan pada Tabel 4.3

Tabel 4.3 Data Waktu Variasi Kecepatan

Deg/s	Start (s)	Stop (s)	Step (s)
6000	0	0,06	0,0005
4500	0	0,08	0,00067
3000	0	0,12	0,001
2100	0	0,17	0,00142

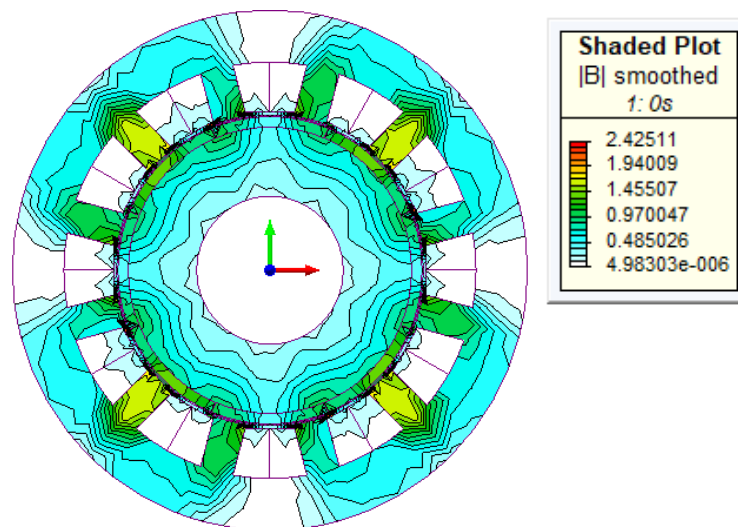
Data waktu dalam Tabel 4.3 selanjutnya dijadikan parameter masukan data pada menu *Solve Transient Optionc* di *software* Magnet *Infolytica*. Parameter yang telah diperoleh berupa kecepatan dalam satuan *deg/s* dan waktu tempuh dalam satuan *second* (s) kemudian dimasukkan kedalam pengaturan *software*. Selanjutnya mengatur rangkaian untuk pengukuran tegangan pada *software*. Selanjutnya melakukan proses *solving* untuk memperoleh karakteristik generator.

4.2 Simulasi Variasi Desain Slot dan Pole Generator

Sub bab kali ini akan membahas mengenai simulasi dari beberapa dimensi generator antara lain 12S8P, 15S8P, dan 18S10P. Hasil simulasi akan menampilkan arah pergerakan fluks magnet dan kurva karakteristik dari keluaran generator. Kurva karakteristik tersebut antara lain arus, tegangan, torsi, daya masukan, daya keluaran dan efisiensi. Berikut merupakan variasi dimensi generator yang telah dibuat.

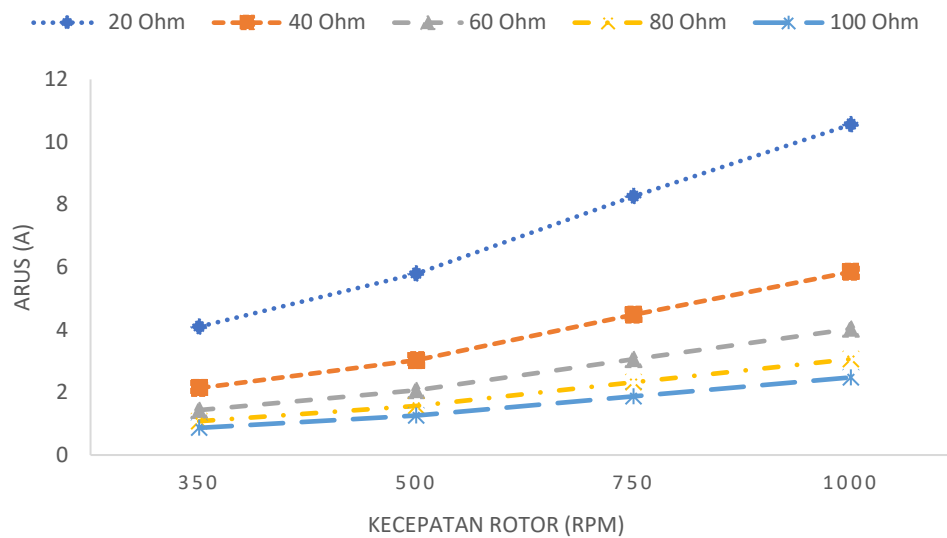
4.2.1 Hasil Desain Model Generator Sinkron 12S8P

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dengan membuat desain generator sinkron 12S8P, maka akan terlihat dari hasil arah fluks magnet yang berada di stator akibat induksi magnet permanen yang ada pada rotor. Nilai intensitas fluks magnet paling besar berada di antara *teeth* dengan nilai 1,455 T dan intensitas fluks magnet terkecil berada di pusat inti besi rotor dengan nilai $4,98 \times 10^{-6}$ T. Garis medan magnet dan arah fluks model generator 12S8P dapat dilihat dalam Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Hasil Simulasi Medan Magnet Desain 12S8P

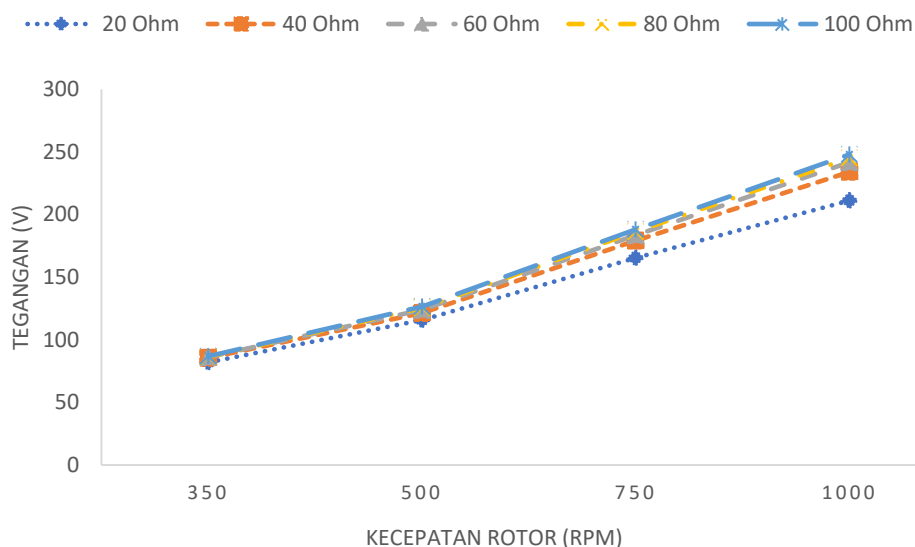
Gambar 4.1 menunjukkan pergerakan fluks yang terjadi dalam *rotor*, *stator* dan *airgap* generator. Terlihat sebaran fluks dimulai dari magnet permanen pada rotor sebagai pusat kerapatan fluks tertinggi dikarenakan magnet adalah sumber dari fluks tersebut, kemudian fluks mengalir melalui *teeth* dan masuk ke inti stator dikarenakan pada bagian *teeth* tersebut dililit oleh kumparan sehingga fluks masuk melalui *teeth* kemudian menyebar ke stator dengan perputaran yang berlangsung secara terus menerus seiring perputaran magnet pada rotor. Langkah selanjutnya yaitu dengan mensimulasikan PMSG untuk mendapatkan nilai arus dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Hasil nilai pada model generator 12S8P dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Nilai Arus Model Generator 12S8P

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan hasil nilai arus pada model generator 12S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran arus tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 10,55 A. Nilai keluaran arus terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 0,86 A. Semakin tinggi kecepatan rotor maka akan menghasilkan medan arus yang semakin tinggi karena apabila arus yang dibangkitkan dalam rotor semakin besar maka menghasilkan gaya tangensial yang semakin besar juga, sehingga torsi yang dihasilkan oleh generator juga meningkat. Gaya tangensial tersebut terjadi akibat interaksi antara arus dan medan magnet yang saling berpotongan.

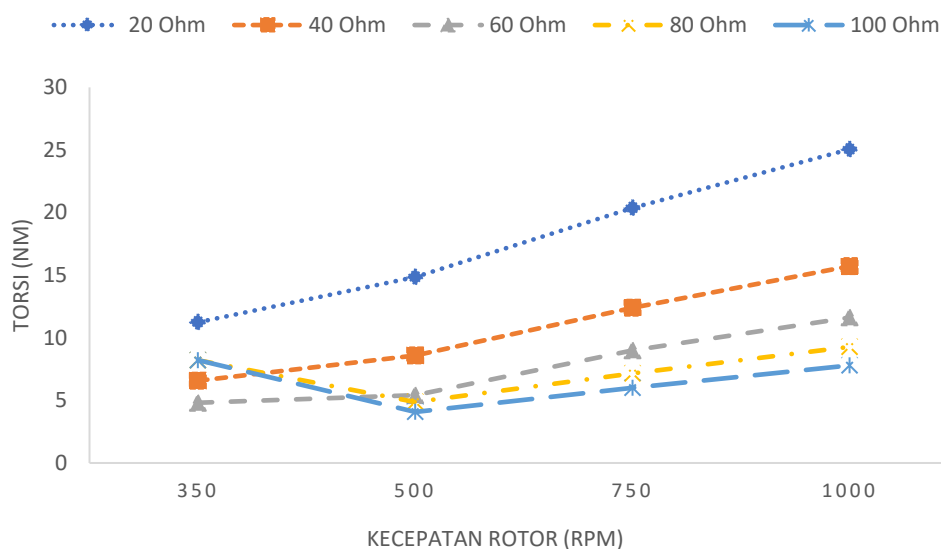
Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai tegangan dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai tegangan pada model generator 12S8P dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4.3 Nilai Tegangan Model Generator 12S8P

Berdasarkan Gambar 4.3 menunjukkan hasil nilai tegangan pada model generator 12S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran tegangan tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm yaitu 248,04 V. Nilai keluaran tegangan terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm dengan nilai 81,98 V. Semakin tinggi kecepatan rotor maka akan menghasilkan tegangan yang semakin tinggi karena apabila tegangan yang dibangkitkan dalam rotor semakin besar, maka menghasilkan gaya tangensial yang semakin besar juga, sehingga torsi yang dihasilkan oleh generator juga meningkat. Gaya tangensial tersebut terjadi akibat interaksi antara tegangan dan medan magnet yang saling berpotongan.

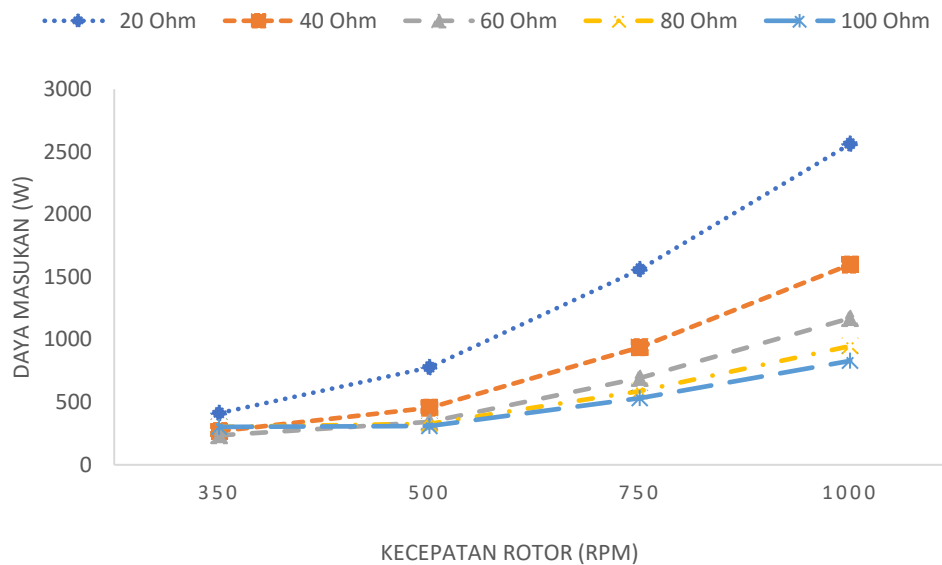
Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai torsi dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai torsi pada model generator 12S8P dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Nilai Torsi Model Generator 12S8P

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan hasil nilai torsi pada model generator 12S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran torsi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 25,06 Nm. Nilai keluaran torsi terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 4,07 Nm. Semakin tinggi kecepatan rotor maka akan menghasilkan torsi yang semakin tinggi karena apabila torsi yang dibangkitkan dalam rotor semakin besar, maka menghasilkan gaya tangensial yang semakin besar juga, sehingga torsi yang dihasilkan oleh generator juga meningkat. Torsi yang dihasilkan ini menjadi sebanding dengan kecepatan putar rotor pada generator.

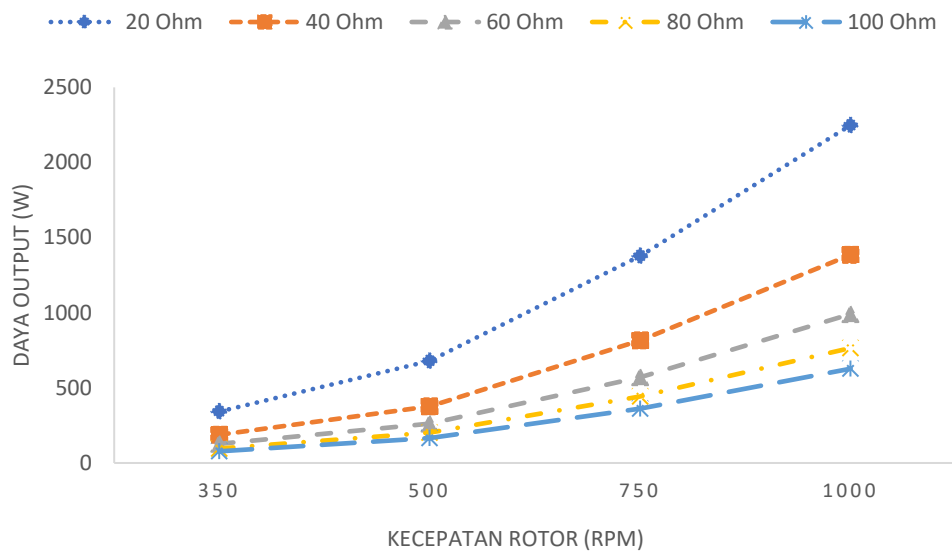
Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai daya masukan dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai daya masukan pada model generator 12S8P dapat dilihat pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4.5 Nilai Daya Masukan Model Generator 12S8P

Berdasarkan Gambar 4.5 menunjukkan hasil nilai daya masukan pada model generator 12S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran daya masukan tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 2562,84 W. Nilai keluaran daya masukan terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 60 Ohm dengan nilai 235,39 W. Semakin tinggi kecepatan rotor maka akan menghasilkan tegangan dan arus yang semakin tinggi karena apabila torsi yang dibangkitkan dalam rotor semakin besar, maka menghasilkan gaya tangensial yang semakin besar juga, sehingga daya yang dihasilkan oleh generator juga meningkat. Daya yang dihasilkan ini menjadi sebanding dengan kecepatan putar rotor pada generator.

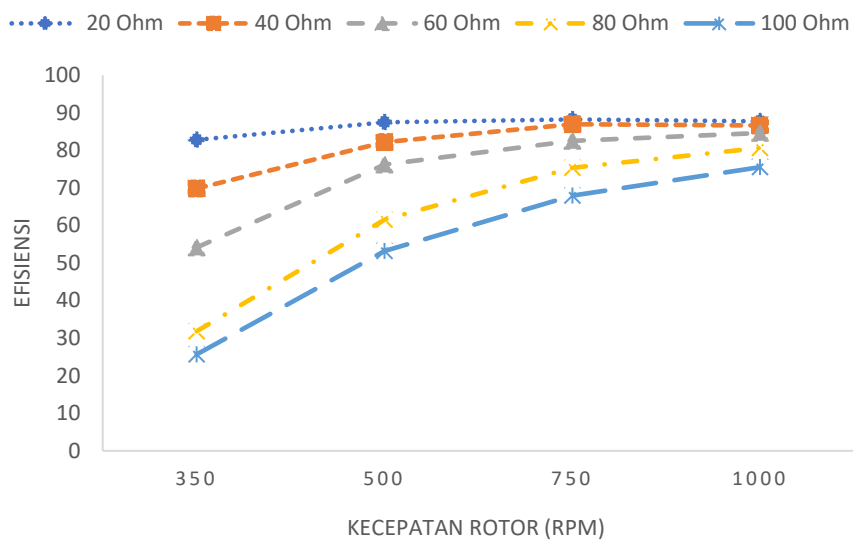
Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai daya keluaran dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai daya keluaran pada model generator 12S8P dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut ini.



Gambar 4.6 Nilai Daya Keluaran Model Generator 12S8P

Berdasarkan Gambar 4.6 menunjukkan hasil nilai daya keluaran pada model generator 12S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran daya keluaran tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 2248,12 W. Nilai keluaran daya keluaran terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 77,81 W. Semakin tinggi kecepatan rotor maka akan menghasilkan tegangan dan arus yang semakin tinggi karena apabila torsi yang dibangkitkan dalam rotor semakin besar, maka menghasilkan gaya tangensial yang semakin besar juga, sehingga daya yang dihasilkan oleh generator juga meningkat. Daya yang dihasilkan ini menjadi sebanding dengan kecepatan putar rotor pada generator.

Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai efisiensi dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai efisiensi pada model generator 12S8P dapat dilihat pada Gambar 4.7 berikut ini.

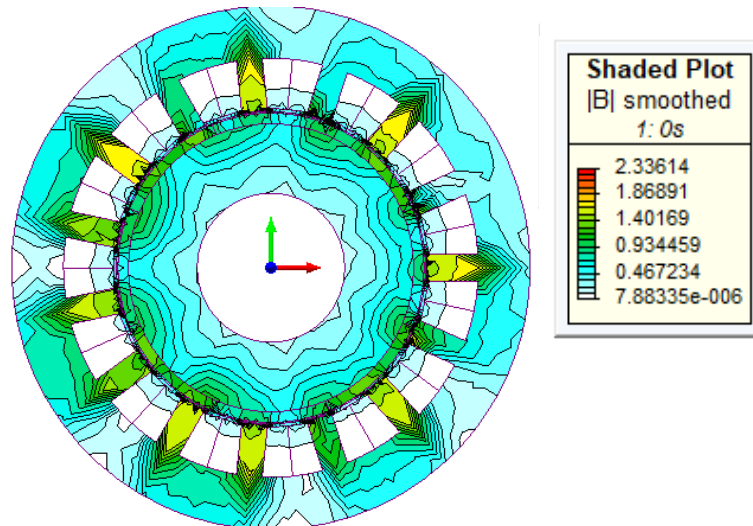


Gambar 4.7 Nilai Efisiensi Model Generator 12S8P

Berdasarkan Gambar 4.7 menunjukkan hasil nilai efisiensi pada model generator 12S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran efisiensi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 750 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 88,24 %. Nilai keluaran efisiensi terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 25,67 %. Semakin besar nilai resistansi maka semakin kecil nilai efisiensi generator. Semakin kecil putaran rotor, maka semakin kecil nilai efisiensi generator.

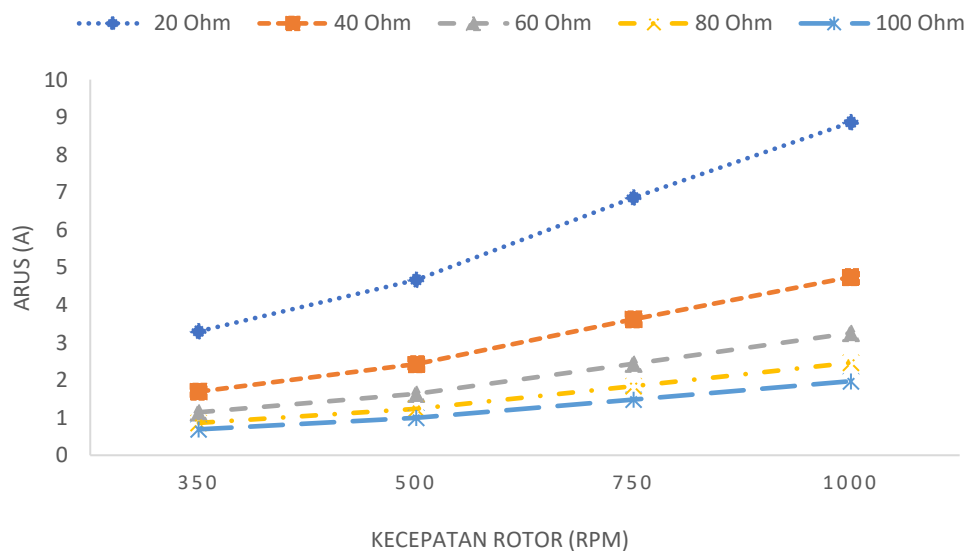
4.2.2 Hasil Desain Model Generator Sinkron 15S8P

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dengan membuat desain generator sinkron 15S8P, maka akan terlihat dari hasil arah fluks magnet yang berada di stator akibat induksi magnet permanen yang ada pada rotor. Nilai intensitas fluks magnet paling besar berada di antara *teeth* dengan nilai 2,3361 T dan intensitas fluks magnet terkecil berada di pusat inti besi rotor dengan nilai $7,8833 \times 10^{-6}$ T. Garis medan magnet dan arah fluks model generator 15S8P dapat dilihat dalam Gambar 4.8 berikut.



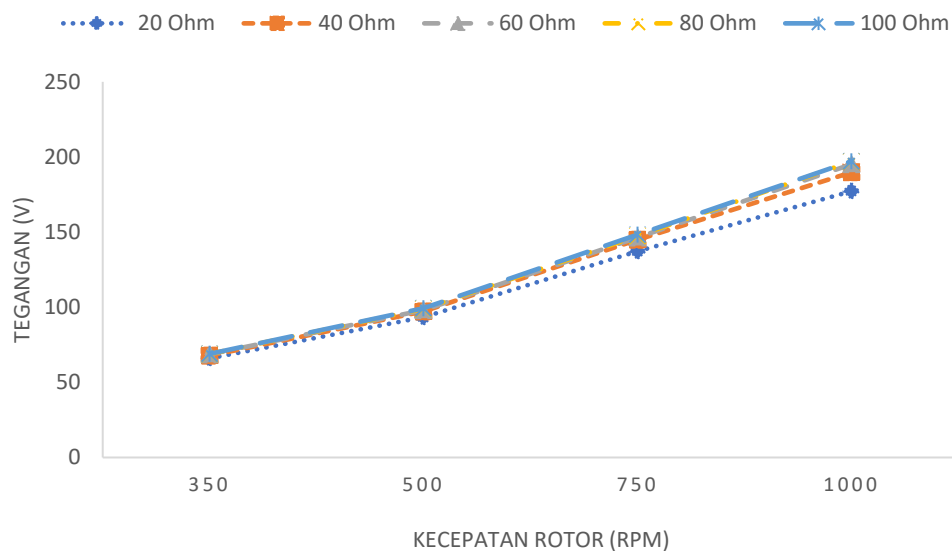
Gambar 4.8 Hasil Simulasi Medan Magnet Desain 15S8P

Gambar 4.8 menunjukkan pergerakan fluks yang terjadi dalam *rotor*, *stator* dan *airgap* generator. Langkah selanjutnya yaitu dengan mensimulasikan PMSG untuk mendapatkan nilai arus dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Hasil nilai arus pada model generator 15S8P dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4.9 Nilai Arus Model Generator 15S8P

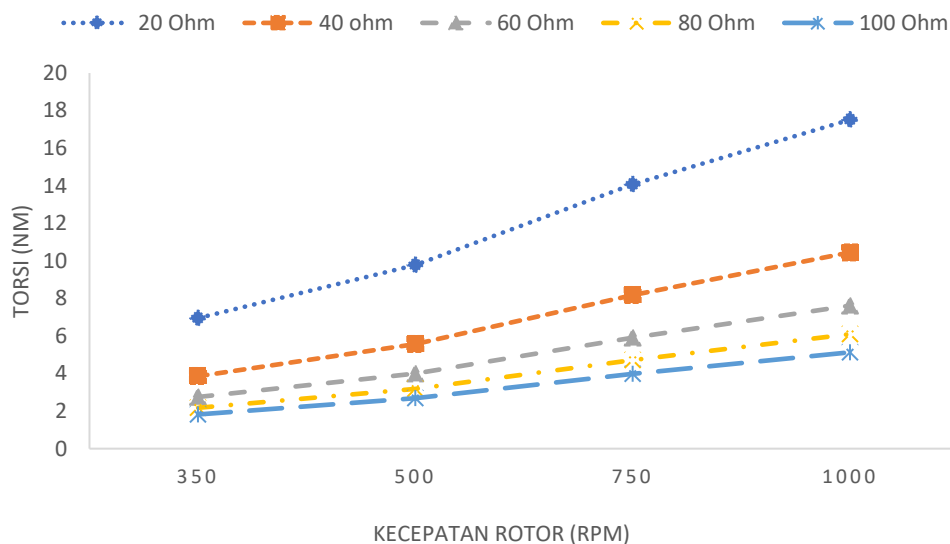
Berdasarkan Gambar 4.9 menunjukkan hasil nilai arus pada model generator 15S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran arus tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 8,86 A. Nilai keluaran arus terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 0,68 A. Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai tegangan dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Hasil nilai tegangan pada model generator 15S8P dapat dilihat pada Gambar 4.10 berikut ini.



Gambar 4.10 Nilai Tegangan Model Generator 15S8P

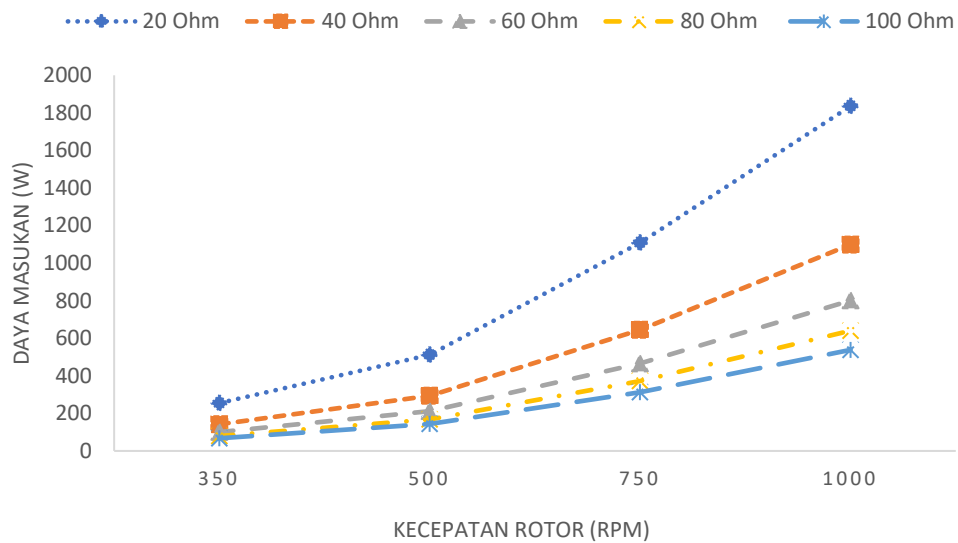
Berdasarkan Gambar 4.10 menunjukkan hasil nilai tegangan pada model generator 15S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran tegangan tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm yaitu 197,23 V. Nilai keluaran tegangan terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm dengan nilai 65,99 V. Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai torsi dengan variasi kecepatan

putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Hasil nilai torsi pada model generator 15S8P dapat dilihat pada Gambar 4.11 berikut ini.



Gambar 4.11 Nilai Torsi Model Generator 15S8P

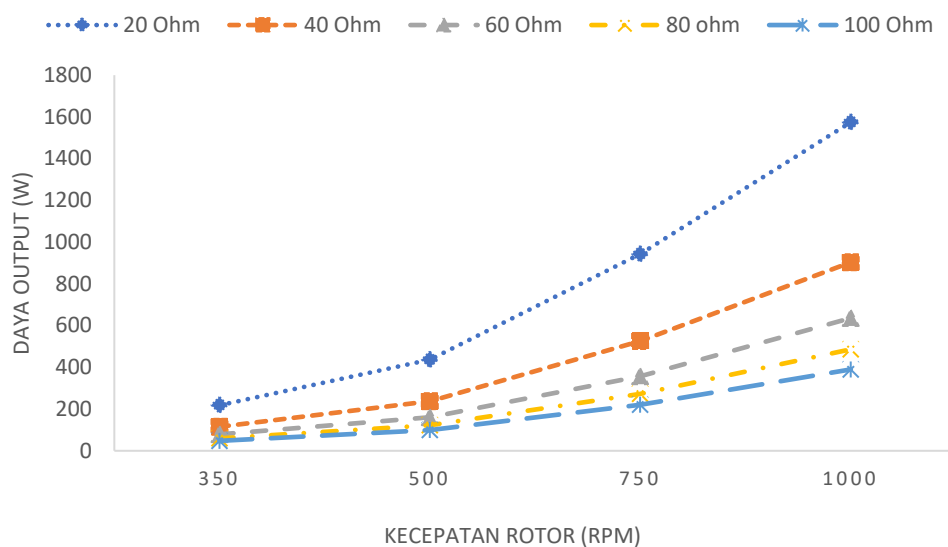
Berdasarkan Gambar 4.11 menunjukkan hasil nilai torsi pada model generator 15S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran torsi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 17,51 Nm. Nilai keluaran torsi terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 1,82 Nm. Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai daya masukan dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai daya masukan pada model generator 15S8P dapat dilihat pada Gambar 4.12 berikut ini.



Gambar 4.12 Nilai Daya Masukan Model Generator 15S8P

Berdasarkan Gambar 4.12 menunjukkan hasil nilai daya masukan pada model generator 15S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran daya masukan tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 1835,83 W. Nilai keluaran daya masukan terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 67,42 W. Semakin tinggi kecepatan rotor maka akan menghasilkan tegangan dan arus yang semakin tinggi karena apabila torsi yang dibangkitkan dalam rotor semakin besar, maka menghasilkan gaya tangensial yang semakin besar juga, sehingga daya yang dihasilkan oleh generator juga meningkat. Daya yang dihasilkan ini menjadi sebanding dengan kecepatan putar rotor pada generator.

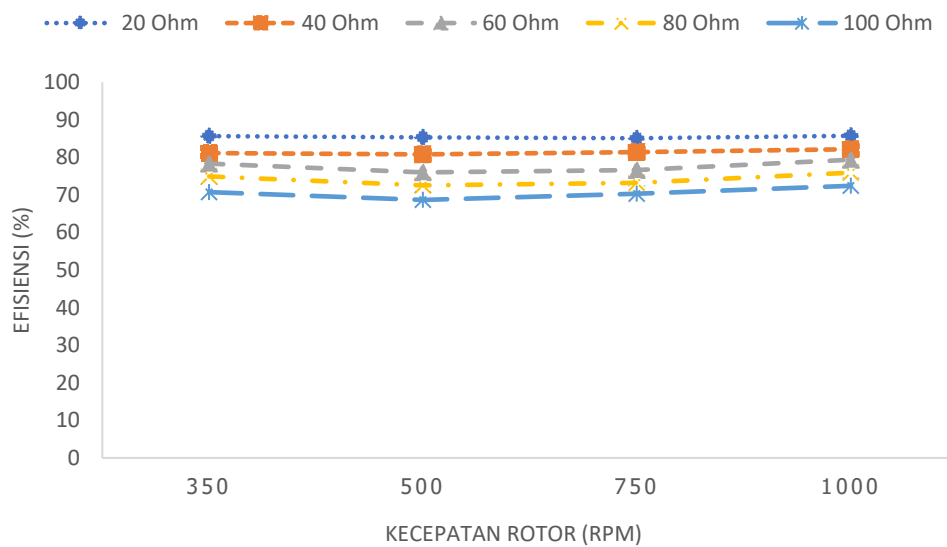
Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai daya keluaran dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai daya keluaran pada model generator 15S8P dapat dilihat pada Gambar 4.13 berikut ini.



Gambar 4.13 Nilai Daya Keluaran Model Generator 15S8P

Berdasarkan Gambar 4.13 menunjukkan hasil nilai daya keluaran pada model generator 15S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran daya keluaran tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 1574,50 W. Nilai keluaran daya keluaran terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 47,69 W. Semakin tinggi kecepatan rotor maka akan menghasilkan tegangan dan arus yang semakin tinggi karena apabila torsi yang dibangkitkan dalam rotor semakin besar, maka menghasilkan gaya tangensial yang semakin besar juga, sehingga daya yang dihasilkan oleh generator juga meningkat. Daya yang dihasilkan ini menjadi sebanding dengan kecepatan putar rotor pada generator.

Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai efisiensi dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai efisiensi pada model generator 15S8P dapat dilihat pada Gambar 4.14 berikut ini.

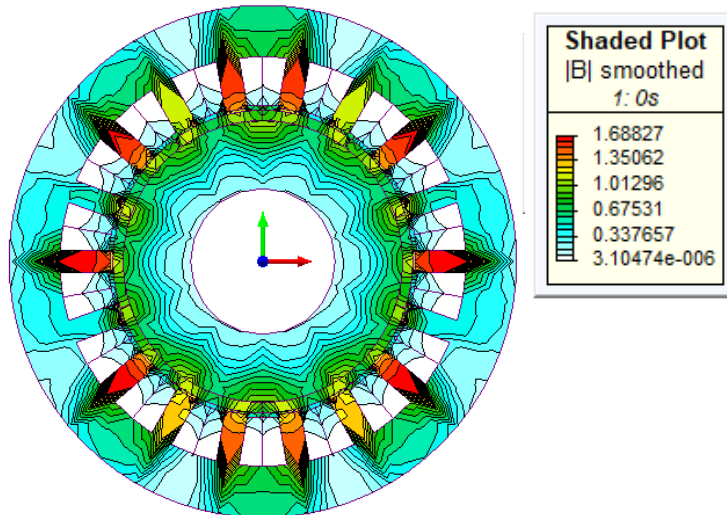


Gambar 4.14 Nilai Efisiensi Model Generator 15S8P

Berdasarkan Gambar 4.14 menunjukkan hasil nilai efisiensi pada model generator 15S8P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran efisiensi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 85,76 %. Nilai keluaran efisiensi terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 500 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 68,69 %. Semakin besar nilai resistansi maka semakin kecil nilai efisiensi generator. Semakin kecil putaran rotor, maka semakin kecil nilai efisiensi generator.

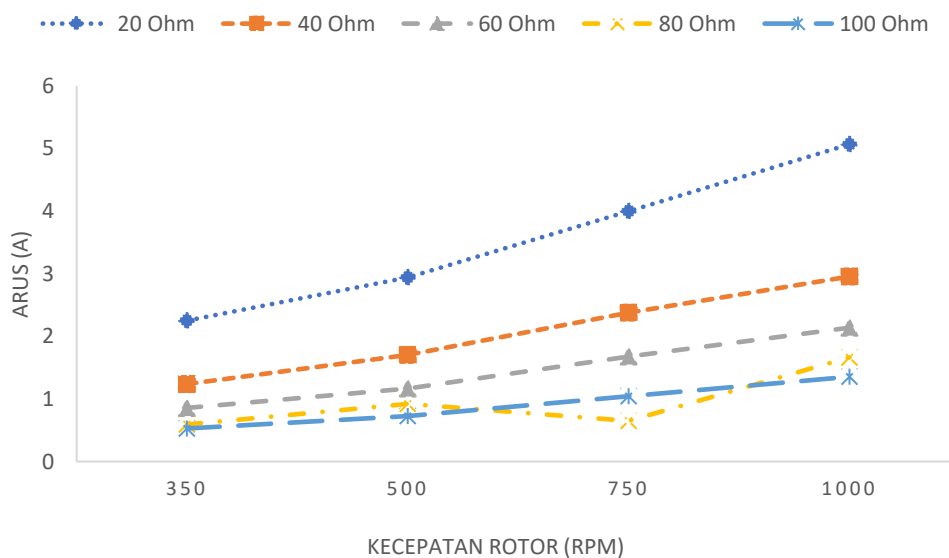
4.2.3 Hasil Desain Model Generator Sinkron 18S10P

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dengan membuat desain generator sinkron 18S10P, maka akan terlihat dari hasil arah fluks magnet yang berada di stator akibat induksi magnet permanen yang ada pada rotor. Nilai intensitas fluks magnet paling besar berada di antara *teeth* dengan nilai 1,6882 T dan intensitas fluks magnet terkecil berada di pusat inti besi rotor dengan nilai $3,1047 \times 10^{-6}$ T. Garis medan magnet dan arah fluks model generator 18S10P dapat dilihat dalam Gambar 4.15 berikut.



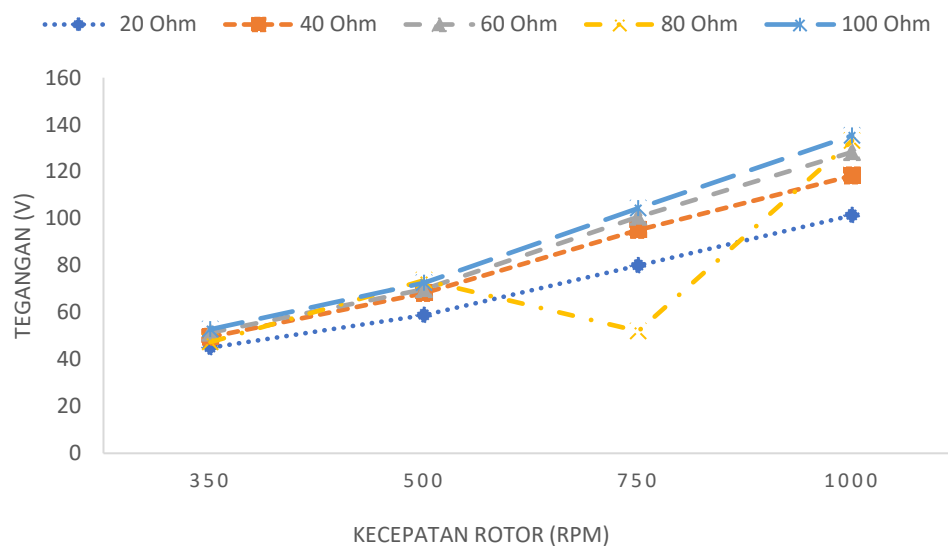
Gambar 4.15 Hasil Simulasi Medan Magnet Desain 18S10P

Gambar 4.15 menunjukkan pergerakan fluks yang terjadi dalam *rotor*, *stator* dan *airgap* generator. Langkah selanjutnya yaitu dengan mensimulasikan PMSG untuk mendapatkan nilai arus dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Hasil nilai arus pada model generator 18S10P dapat dilihat pada Gambar 4.16 berikut ini.



Gambar 4.16 Nilai Arus Model Generator 18S10P

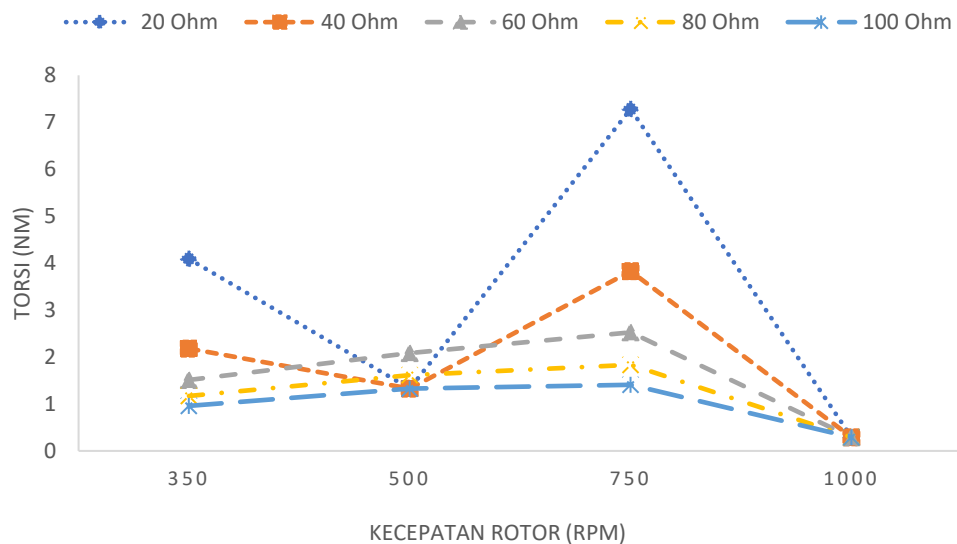
Berdasarkan Gambar 4.16 menunjukkan hasil nilai arus pada model generator 18S10P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran arus tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 5,06 A. Nilai keluaran arus terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 0,52 A. Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai tegangan dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Hasil nilai tegangan pada model generator 18S10P dapat dilihat pada Gambar 4.17 berikut ini.



Gambar 4.17 Nilai Tegangan Model Generator 18S10P

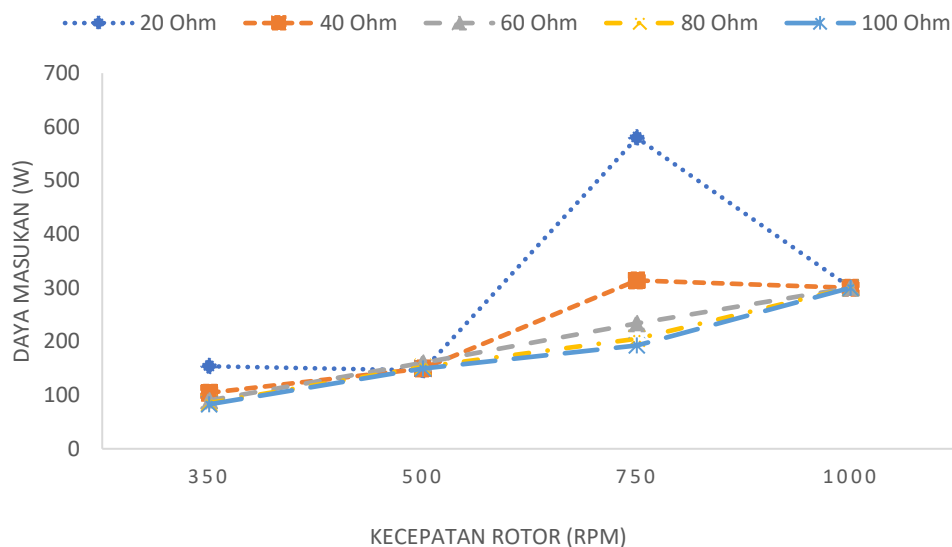
Berdasarkan Gambar 4.17 menunjukkan hasil nilai tegangan pada model generator 18S10P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran tegangan tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm yaitu 135,35 V. Nilai keluaran tegangan terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm dengan nilai 45,02 V. Selanjutnya yaitu

melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai torsi dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Hasil nilai torsi pada model generator 18S10P dapat dilihat pada Gambar 4.18 berikut ini.



Gambar 4.18 Nilai Torsi Model Generator 18S10P

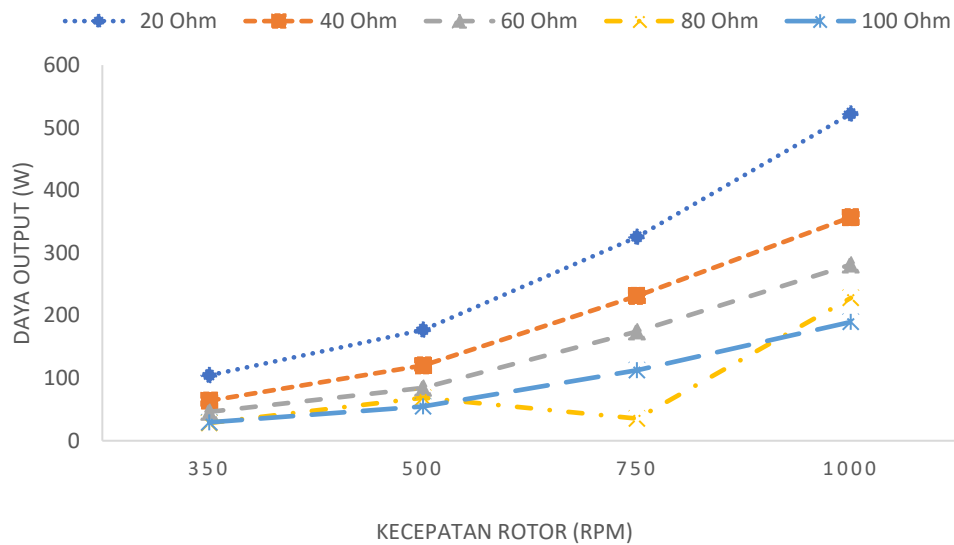
Berdasarkan Gambar 4.18 menunjukkan hasil nilai torsi pada model generator 18S10P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran torsi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 750 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 7,28 Nm. Nilai keluaran torsi terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 0,2912 Nm. Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai daya masukan dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Hasil nilai daya masukan pada model generator 18S10P dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut ini.



Gambar 4.19 Nilai Daya Masukan Model Generator 18S10P

Berdasarkan Gambar 4.19 menunjukkan hasil nilai daya masukan pada model generator 18S10P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran daya masukan tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 750 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 579,56 W. Nilai keluaran daya masukan terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 100 Ohm dengan nilai 82,93 W. Semakin tinggi kecepatan rotor maka akan menghasilkan tegangan dan arus yang semakin tinggi karena apabila torsi yang dibangkitkan dalam rotor semakin besar, maka menghasilkan gaya tangensial yang semakin besar juga, sehingga daya yang dihasilkan oleh generator juga meningkat. Daya yang dihasilkan ini menjadi sebanding dengan kecepatan putar rotor pada generator.

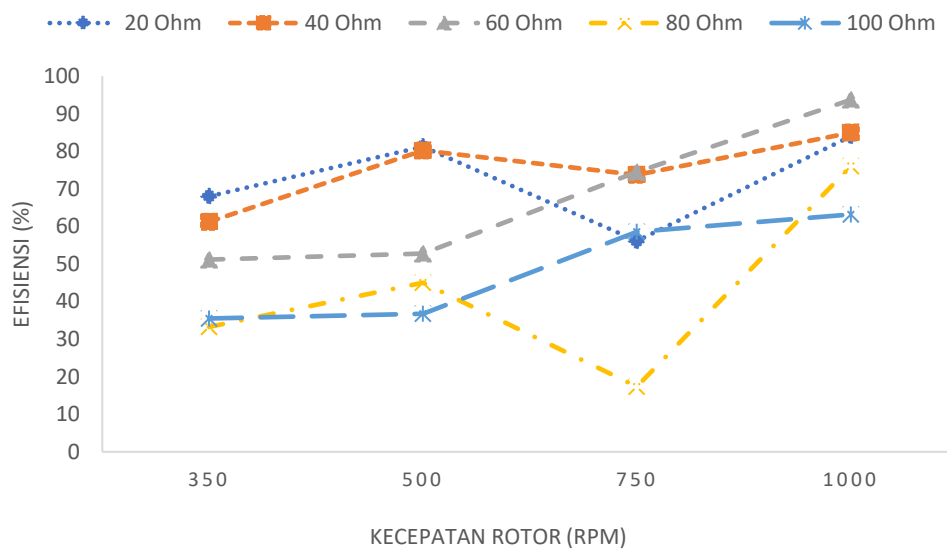
Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai daya keluaran dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai daya keluaran pada model generator 18S10P dapat dilihat pada Gambar 4.20 berikut ini.



Gambar 4.20 Nilai Daya Keluaran Model Generator 18S10P

Berdasarkan Gambar 4.20 menunjukkan hasil nilai daya keluaran pada model generator 18S10P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran daya keluaran tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 522,31 W. Nilai keluaran daya keluaran terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 350 RPM dan resistansi yang diberikan 80 Ohm dengan nilai 28,35 W. Semakin tinggi kecepatan rotor maka akan menghasilkan tegangan dan arus yang semakin tinggi karena apabila torsi yang dibangkitkan dalam rotor semakin besar, maka menghasilkan gaya tangensial yang semakin besar juga, sehingga daya yang dihasilkan oleh generator juga meningkat. Daya yang dihasilkan ini menjadi sebanding dengan kecepatan putar rotor pada generator.

Selanjutnya yaitu melakukan simulasi untuk mendapatkan nilai efisiensi dengan variasi kecepatan putaran rotor sebesar 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM dan variasi nilai resistansi yang diberikan sebesar 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm, dan 100 Ohm. Variasi nilai resistansi tersebut dilakukan untuk melihat apakah terdapat perbedaan apabila dilakukan simulasi terhadap nilai beban yang berbeda. Hasil nilai efisiensi pada model generator 18S10P dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut ini.



Gambar 4.21 Nilai Efisiensi Model Generator 18S10P

Berdasarkan Gambar 4.21 menunjukkan hasil nilai efisiensi pada model generator 18S10P dengan parameter variasi kecepatan putar rotor yaitu 350 RPM, 500 RPM, 750 RPM dan 1000 RPM, dengan variasi resistansi yaitu 20 Ohm, 40 Ohm, 60 Ohm, 80 Ohm dan 100 Ohm. Nilai keluaran efisiensi tertinggi pada saat kecepatan putar rotor 1000 RPM dan resistansi yang diberikan 20 Ohm yaitu 174,01 %. Nilai keluaran efisiensi terkecil yaitu pada saat kecepatan putar 750 RPM dan resistansi yang diberikan 80 Ohm dengan nilai 17,36 %. Semakin besar nilai resistansi maka semakin kecil nilai efisiensi generator. Semakin kecil putaran rotor, maka semakin kecil nilai efisiensi generator.

4.3 Pemilihan Model

Berdasarkan analisa data yang telah dipaparkan dalam sub bab sebelumnya, maka langkah selanjutnya yaitu dengan melakukan pemilihan model generator berdasarkan karakteristiknya. Hasil tersebut dibandingkan terhadap nilai efisiensi, torsi, daya keluaran dan arus. Perbandingan nilai dari setiap desain generator dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Perbandingan Hasil Variasi Beban dan Kecepatan

12S8P				
RPM	Beban (Ohm)	Arus (A)	Torsi (Nm)	Efisiensi Rata-Rata (%)
1000	20 s.d. 100	2,48 s.d. 10,55	7,78 s.d. 25,06	83,02
750	20 s.d. 80	2,32 s.d. 8,26	7,14 s.d. 20,37	83,25
500	20 s.d. 60	2,06 s.d. 5,79	5,42 s.d. 14,84	81,98
350	20 s.d. 40	2,13 s.d. 4,09	6,57 s.d. 11,24	76,32
15S8P				
RPM	Beban (Ohm)	Arus (A)	Torsi (Nm)	Efisiensi Rata-Rata(%)
1000	20 s.d. 80	2,46 s.d. 8,86	6,09 s.d. 17,51	80,82
750	20 s.d. 80	1,84 s.d. 6,86	4,71 s.d. 14,07	79,1
500	20 s.d. 80	1,23 s.d. 4,66	3,19 s.d. 9,77	78,67
350	20 s.d. 80	0,86 s.d. 3,29	2,17 s.d. 6,95	80,03
18S10P				
RPM	Beban (Ohm)	Arus (A)	Torsi (Nm)	Efisiensi Rata-Rata(%)
1000	40 s.d. 60	2,13 s.d. 2,99	0,29 s.d. 0,3	89,34
750	40 s.d. 60	1,67 s.d. 2,37	2,52 s.d. 3,82	74,13
500	20 s.d. 40	1,7 s.d. 2,94	1,32 s.d. 1,33	80,73
350	20	2,25	4,08	68,01

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat dilihat perbandingan arus, torsi dan efisiensi rata-rata dari setiap model generator dengan variasi kecepatan dan variasi beban. Model yang memiliki efisiensi tertinggi pada kecepatan 1000 RPM yaitu 18S10P dengan nilai 89,34%, sedangkan untuk nilai torsi terendah dimiliki oleh model yang sama yaitu 18S10P dengan nilai 0,3 Nm. Model yang memiliki efisiensi tertinggi pada kecepatan 750 RPM yaitu 18S8P dengan nilai 94,21%, sedangkan untuk nilai torsi terendah dimiliki oleh model 18S10P dengan nilai 2,52 Nm.

Model yang memiliki efisiensi tertinggi pada kecepatan 500 RPM yaitu 12S8P dengan nilai 81,98 %, sedangkan untuk nilai torsi terendah dimiliki oleh model 18S10P dengan nilai 1,32 Nm. Model yang memiliki efisiensi tertinggi pada kecepatan 350 RPM yaitu 15S8P dengan nilai 80,03 %, sedangkan untuk nilai torsi terendah dimiliki oleh model yang sama yaitu 15S8P dengan nilai 2,17 Nm. Terdapat model yang tidak menghasilkan daya keluaran sebesar 1000W yaitu 15S10P dan 18S8P.

Model yang memiliki nilai efisiensi rata-rata tertinggi yaitu 12S8P dan 15S8P. Nilai torsi yang dihasilkan dari model tersebut juga memiliki rentang yang jauh dengan nilai 5,42 sampai 25,06 untuk model 12S8P dan 2,17 sampai

17,51 untuk model 15S8P. Daya keluaran yang dihasilkan sebesar 1377,56 W untuk model 12S8P dan 1108,88 W untuk model 15S8P.