

Perancangan *Permanent Magnet Synchronous* Generator Kapasitas 22 KVA Menggunakan Metode *Finite Element Method*

Aziz Ramadhan¹, Muhamad Taufiq Tamam²

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Purwokerto

Informasi Makalah

Dikirim, 20 Agustus 2021
Direvisi, 1 Desember 2021
Diterima, 2 Desember 2021

Kata Kunci:

Finite Element Method (FEM),
Permanent Magnet
Synchronous Generator
(PMSG), *MagNet Infolytica 7.5*

Keyword:

Finite Element Method (FEM),
Permanent Magnet
Synchronous Generator
(PMSG), *MagNet Infolytica 7.5*

INTISARI

Software berbasis *Finite Element Method* (FEM) dapat digunakan untuk perancangan generator dikarenakan mampu membuat suatu model generator dengan menampilkan bentuk, cara kerja dan medan magnet pada generator. Kelebihan lainnya yaitu dapat menampilkan energi listrik yang dihasilkan oleh generator dalam bentuk kurva karakteristik tegangan, arus, daya masukan, daya keluaran, torsi dan efisiensi generator. Rancangan dibuat dengan menggunakan kombinasi pemodelan 12 slot 8 pole (12S8P). Tujuan penelitian ini adalah menganalisa hasil perbandingan pengujian rancangan generator sinkron magnet permanen dengan dilakukan pengujian simulasi variasi beban pada generator. Hasil uji simulasi berbeban dilakukan analisa dengan melihat grafik besaran tegangan, arus, torsi, daya masukan, daya keluaran dan efisiensi pada generator. Generator dengan output efisiensi terbesar pada perancangan 12 slot 8 Pole sebesar 94 % dengan tegangan output sebesar 445,01 V, arus sebesar 63,58 A torsi sebesar 232,88 Nm, daya masukan sebesar 21948,29 Watt, daya keluaran sebesar 20525,16 Watt. Oleh karena itu variasi beban pada perancangan generator mempengaruhi nilai dari hasil keluaran generator tersebut.

ABSTRACT

Finite Element Method (FEM) based software can be used to design generators because it can create a generator model by displaying the shape, workings, and magnetic field of the generator. Another advantage is that it can display the electrical energy produced by the generator in the form of a characteristic curve of voltage, current, input, output power, torque and generator efficiency. The design is made using a combination of 12 slot 8 pole (12S8P) modeling. The purpose of this study was to analyze the results of testing the design of a permanent magnet synchronous generator by testing variations on the generator simulation. The results of the load simulation test were analyzed by looking at the graph of the magnitude of the voltage, torque, input power, output power and efficiency of the generator. The generator with the largest efficiency output in the 12 slot 8 Pole design is 94% with an output voltage of 445.01 V, a current of 63.58 A, a torque of 232.88 Nm, an input power of 21948.29 Watts, an output power of 20525.16 Watts. Therefore, variations in the load on the generator design affect the value of the generator output.

Korespondensi Penulis:

Aziz Ramadhan
Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik dan Sains Universitas Muhammadiyah Purwokerto
JL. Raya Dukuwaluh, Purwokerto, 53182
Email: azizbakrie46@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi generator dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan mulai dari bentuk, desain, ukuran, material yang digunakan serta mengalami peningkatan efisiensi daya output dari generator tersebut. Perkembangan teknologi generator ini tidak lepas dengan adanya *software* untuk mendesain mesin-mesin listrik. Sebelum melakukan perancangan dan implementasi pembuatan mesin-mesin listrik khususnya generator, diharapkan mengetahui bahan apa saja yang dibutuhkan dalam perancangan generator tersebut.

Dalam melakukan perancangan generator menggunakan *software MagNet 7.5* banyak aspek yang perlu diperhatikan, baik sebelum melakukan perancangan ataupun ketika melakukan perancangan. Karena banyak parameter yang menggunakan persamaan dan perlu dilakukan perhitungan saat mendesain generator. Lebar *airgap* merupakan salah satu parameter yang menggunakan persamaan karena *airgap* kedepannya akan mempengaruhi output dan kinerja dari generator tersebut [1].

Dalam perancangan generator menggunakan *software MagNet 7.5* ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan, baik sebelum melakukan perancangan ataupun ketika melakukan perancangan. Karena banyak parameter menggunakan persamaan dan dilakukan perhitungan saat mendesain generator. Lebar *airgap* merupakan salah satu parameter yang menggunakan persamaan karena *airgap* kedepannya akan mempengaruhi *output* dan kinerja dari generator tersebut. [1] Penelitian tentang perancangan generator menggunakan *software* untuk mendapatkan hasil keluaran generator yang baik sudah mulai banyak dilakukan, di antaranya adalah penelitian studi bentuk rotor magnet permanen pada generator sinkron magnet permanen *fluks aksial* tanpa inti stator menggunakan metode variasi bentuk magnet, variasi kecepatan putaran, dan variasi lebar celah udara [2].

Software berbasis *Finite Element Method* (FEM) dapat digunakan untuk perancangan generator dikarenakan mampu membuat suatu model generator dengan menampilkan bentuk, cara kerja dan medan magnet pada generator. Kelebihan lainnya yaitu dapat menampilkan energi listrik yang dihasilkan oleh generator dalam bentuk kurva karakteristik tegangan, arus, daya masukan, daya keluaran, torsi dan efisiensi generator. Untuk mendapatkan rancangan generator yang dapat menghasilkan energi listrik sesuai dengan keinginan maka dapat memvariasikan geometri pada generator. [2] Perancangan generator dapat dilakukan dengan menggunakan *software* berbasis *Finite Element Method* (FEM), *software* FEM mampu untuk membuat suatu model generator dengan menampilkan bentuk generator, cara kerja generator, medan magnet pada generator, energi listrik yang dihasilkan dari generator berupa kurva karakteristik tegangan, arus, daya dan lain-lain. Untuk mendapatkan rancangan generator yang dapat menghasilkan energi listrik sesuai dengan keinginan maka dapat memvariasikan geometri pada generator, seperti perbedaan antara generator rangkaian dengan penyearah dan tanpa penyearah dan mencari nilai *Back EMF* [3].

Pengembangan generator pastinya perlu menggunakan sebuah *software* aplikasi yang akan memudahkan perancangan generator dengan mensimulasikan terlebih dahulu, kemudian menganalisa dari hasil yang akan didapatkan. Sehingga rancangan generator bisa dilihat sesuai dengan keinginan tanpa harus membuatnya terlebih dahulu. Salah satu *software* untuk merancang generator adalah *software MagNet Infolytica*. *Software* ini mampu untuk membuat dan mengeluarkan hasil dari rancangan generator yang akan dibuat. Paper ini akan membahas rancangan generator menggunakan *software MagNet infolytica* dan kemudian menganalisa dari hasil simulasinya [4].

Pada pembangkit listrik tenaga angin penggunaan *permanent magnet synchronous generator* merupakan salah satu opsi terbaik. Dengan memanfaatkan permanent magnet generator tidak memerlukan eksitasi awal untuk pembangkitan. Medan magnet akan bergerak ketika poros mendapatkan putaran sehingga timbul induksi yang menghasilkan *back emf* atau gaya gerak listrik induksi. Energi angin yang memutar turbin angin bersifat *fluktuatif* yang mengakibatkan kecepatan putar pada poros menjadi *fluktuatif* pula. Hal ini mempengaruhi pembangkitan *back emf*. Penelitian ini membahas bagaimana kecepatan putar mempengaruhi nilai dari gerak gaya listrik/*back emf* pada kecepatan yang berbeda. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan melakukan simulasi dengan menggunakan *software Infolytica Magnet*. Kesimpulan dari penelitian ini adalah hubungan antara kecepatan putar dengan *back emf* pada *permanent magnet synchronous generator* adalah berbanding lurus [5].

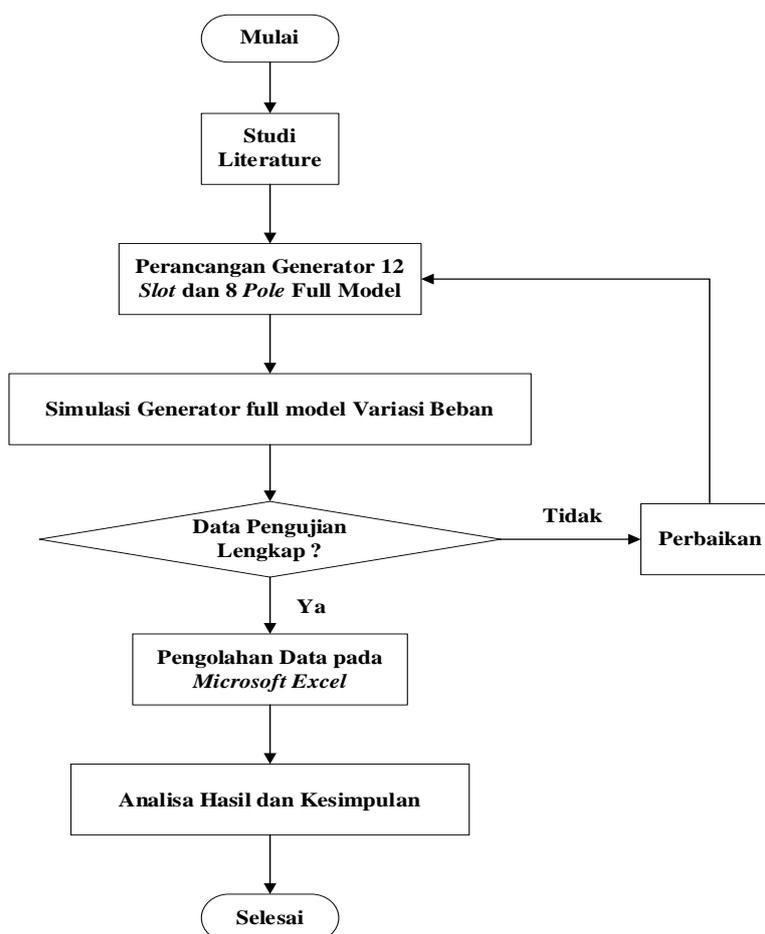
Desain permanen magnet generator sinkron 12 slot 8 pole dengan variasi pada turbin angin skala mikro. Manfaatnya dapat mendesain generator sendiri sesuai kebutuhan dan bisa menjadi sebuah pengabdian masyarakat. Metode yang dipakai adalah metode *Winding* dan *Finite Element Method*. Dalam hasil data simulasi perbandingan nilai DC Voltage ketiga variasi yang terbesar adalah variasi *teeth* yang bernilai 21,19695 V, 21,0974 V, dan 22,51375 V dan dalam hasil data simulasi perbandingan nilai Ke (*Konstanta Buck EMF*) ketiga variasi yang terbesar adalah variasi *teeth* yang bernilai 0,202519, 0,201568 dan 0,2151 [6].

Perancangan dan simulasi *Electrical Permanent Magnet Generator* (EPMG) untuk pembangkitan listrik tenaga angin di pedesaan. Pada proyek ini dirancang generator *fluks radial* yang memiliki putaran kecepatan rendah menggunakan magnet permanen tipe *Neodymium Iron Boron* (NdFeb). Perangkat lunak yang

digunakan untuk perancangan adalah perangkat lunak *Finite Element Method (FEM) Magnet*. Model juga diperiksa dengan lingkungan *Simulink/Matlab*. Modifikasi ekstensif diterapkan untuk mendapatkan hasil optimal dengan mengubah diameter generator, jumlah kumparan, diameter kawat tembaga, jumlah kutub, dan *slot* yang digunakan. Hasil simulasi didapatkan kecepatan generator 500 rpm, tegangan seri rata-rata 52,76 Vrms, generator membutuhkan diameter 18 cm, jumlah lilitan setiap kumparan 55, diameter kawat tembaga yang digunakan 0,6 mm, jumlah kutub 8 pasang, dan 12 *slot* unit [7].

2. METODE PENELITIAN

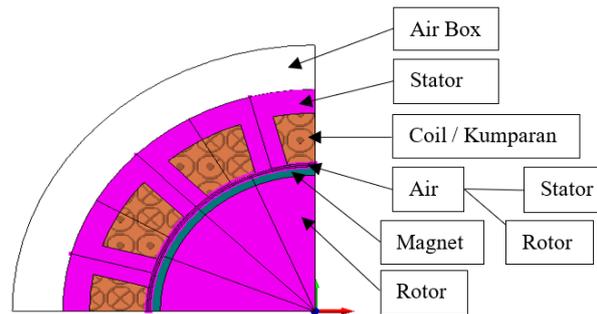
Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang akan dijelaskan sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian diawali dengan studi literatur untuk mencari referensi dari penelitian-penelitian terdahulu yang sejenis. Dari informasi tersebut dilanjutkan dengan melakukan perancangan. Hasil perancangan kemudian disimulasikan dan diuji dengan beberapa beban. Data-data yang diperoleh dari hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk menghasilkan kesimpulan.

Perancangan generator dilakukan dengan memperhitungkan segala sisi aspek mulai dari rotor, stator, magnet dan lain-lain. Dalam perancangan generator nantinya akan dibuat simulasi pada *software MagNet Infolytica 7.5* berbasis *Finite Element Method*, berikut adalah gambar perancangan PMSG $\frac{1}{4}$ model dan komponen utamanya.



Gambar 2. Seperempat model generator

Gambar 2 merupakan sebuah perancangan seperempat model generator magnet permanen 12 slot 8 pole yang disimulasikan dengan *software*. Parameter tetap untuk perancangan generator magnet permanen 12 slot 8 pole dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter awal generator permanen magnet

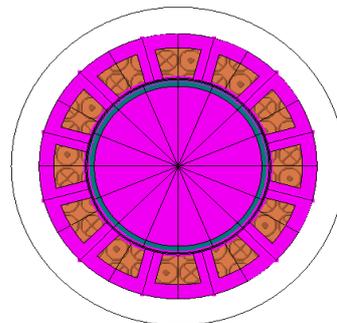
Parameter Awal Generator Permanen Magnet				
Variabel	Simbol	Nilai	Unit	
Air Box	AB	180	mm	
Stator	ST	50	mm	
Coil	Coil	35	mm	
Stator Air Gap	ST.AG	1	mm	
Rotor Air Gap	RT.AG	1	mm	
Magnet	MG	8	mm	
Rotor	RT-Core	56	mm	

Adapun jenis bahan yang digunakan dalam perancangan generator permanen magnet 12 slot 8 pole dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Material komponen generator

No	Komponen	Material
1	Stator	Carpenter: Silicon steel
2	Rotor	Carpenter: Silicon steel
3	Coil	Copper: 5.77e7 Siemens/meter
4	Magnet	PM12: Br 1.2 mur 1.0
5	Air Box	AIR

Hasil perancangan generator permanen magnet 12 slot 8 pole dengan menggunakan data dari Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perancangan full model generator

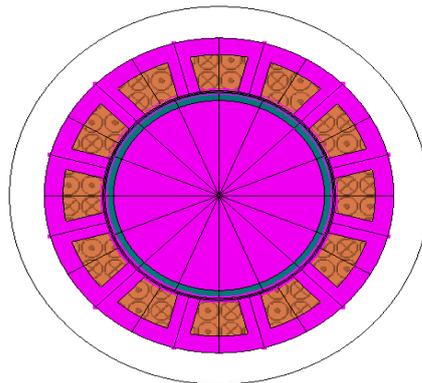
Gambar 3 merupakan hasil perancangan generator full model 12 slot 8 pole dari tabel 3 dan 4. Pada rancangan penelitian ini juga dilakukan uji simulasi dengan menggunakan variasi beban. Dalam simulasi ini generator akan diputar dengan kecepatan 900 RPM, kecepatan tersebut merupakan kecepatan berdasarkan perhitungan rumus teoritis. Berikut tabel mengenai uji simulasi yang akan dibuat.

Tabel 3. Variabel uji simulasi generator dengan variasi beban

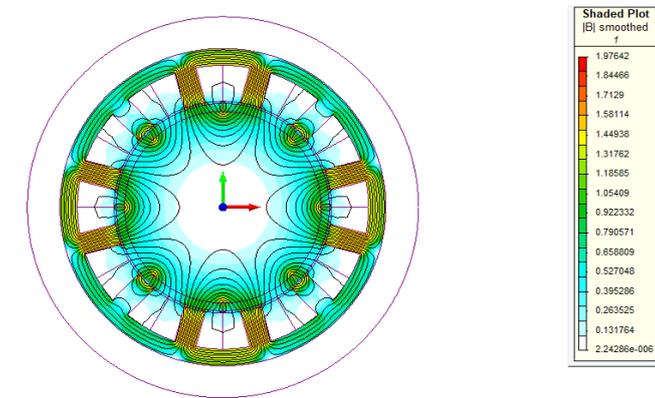
Simulasi	RPM	Beban (Ω)
Berbeban	900	2
		4
		6
		8
		10

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan generator yang dirancang yaitu model generator 12 slot 8 pole 3 fasa dengan menggunakan magnet permanen. Slot yang dimaksud disini adalah coil tempat untuk melilitkan kawat pada stator dengan jumlah lilitan sebanyak 12 slot. Jumlah lilitan/kumparan mempengaruhi tegangan, dimana semakin banyak lilitan maka semakin besar tegangan yang dihasilkan. Pole yang dimaksud disini kutub magnet pada generator. Minimal satu pasang kutub utara dan selatan. Perancangan generator magnet permanen ini digunakan untuk memperoleh daya keluaran dan masukan, torsi, arus, tegangan dan efisiensi generator pada kecepatan 900 RPM dengan variasi beban 2 Ohm, 4 Ohm, 6 Ohm, 8 Ohm, dan 10 Ohm. Pergerakan generator terjadi setiap 360° per 6° .



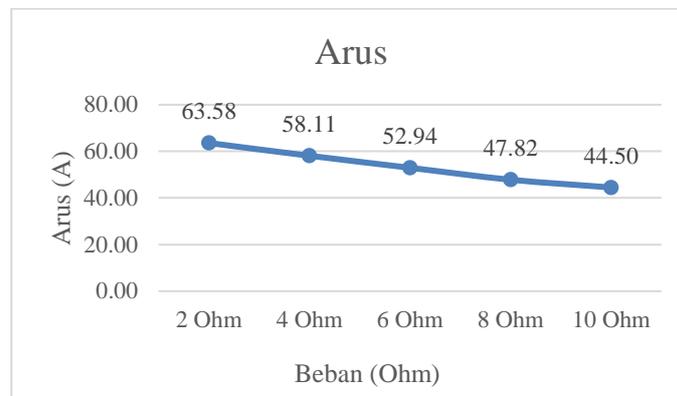
Gambar 4. Model generator magnet permanen 12 slot 8 kutub



Gambar 5. Aliran fluks magnet pada generator

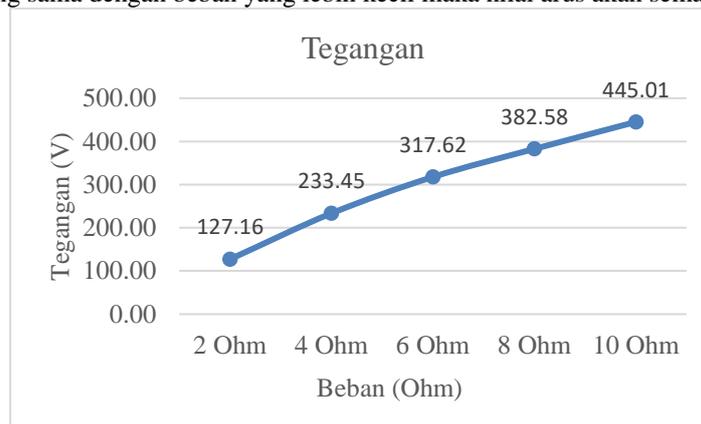
Gambar 4 merupakan hasil perancangan full model generator magnet permanen 12 slot 8 pole, sedangkan Gambar 5 merupakan gambaran aliran fluks yang menunjukkan bahwa semakin berwarna merah maka kerapatan fluksnya semakin tinggi.

Berdasarkan simulasi pemodelan generator permanen magnet 12 slot 8 kutub, dilakukan variasi beban resistif mulai dari 2 Ohm, 4 Ohm, 6 Ohm, 8 Ohm, dan 10 Ohm. Hasil simulasi variasi beban R dengan kecepatan putar 900 (RPM). Berikut adalah hasil dari uji simulasi dengan perubahan variasi parameter beban.



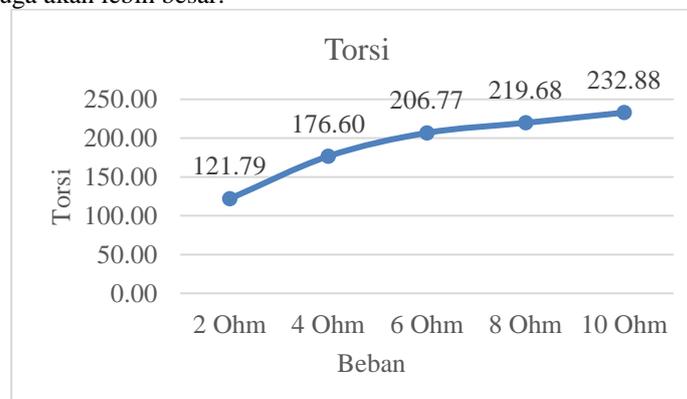
Gambar 6. Grafik hasil nilai arus dengan variasi beban

Gambar 6 menggambarkan pengaruh perubahan nilai arus dengan berbagai variasi beban generator. Dapat dilihat bahwa jika semakin tinggi beban yang digunakan maka nilai arus akan turun. Pada tiap kecepatan putar yang sama, dapat dilihat nilai arus akan semakin kecil pada beban yang lebih tinggi. Sebaliknya tiap kecepatan putar yang sama dengan beban yang lebih kecil maka nilai arus akan semakin tinggi.



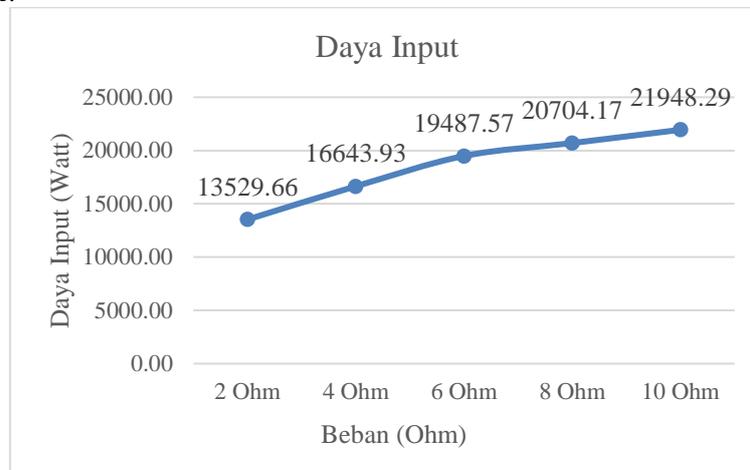
Gambar 7. Grafik hasil nilai tegangan dengan variasi beban

Gambar 7 menggambarkan pengaruh perubahan tegangan dengan berbagai variasi beban generator. Terlihat bahwa semakin tinggi beban maka akan menaikkan besar tegangan *output*. Pada tiap kecepatan putar yang sama, terlihat nilai tegangan akan semakin tinggi pada beban yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan kecepatan putar dengan cara menyesuaikan *P input*. Putaran yang cepat akan membutuhkan *P input* lebih besar, sehingga tegangan juga akan lebih besar.



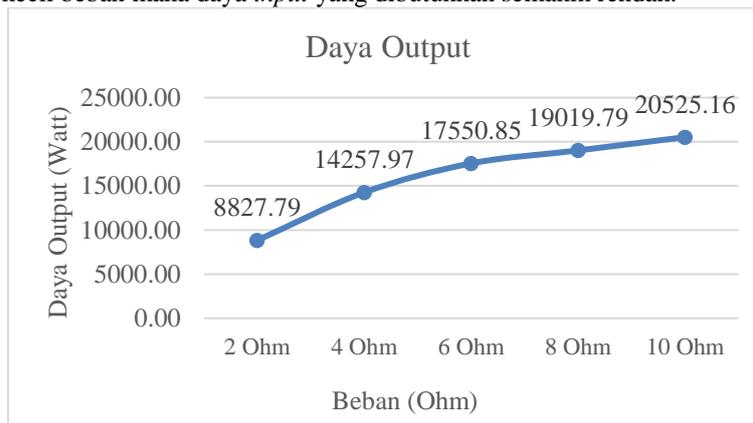
Gambar 8. Grafik hasil nilai torsi dengan variasi beban

Gambar 8 menggambarkan pengaruh perubahan nilai torsi dengan beban. Semakin tinggi beban maka nilai torsi akan semakin tinggi. Terlihat tiap kecepatan putar yang sama, nilai torsi akan semakin kecil pada beban yang lebih kecil. Sebaliknya tiap kecepatan putar yang sama dan semakin kecil beban maka nilai torsi akan semakin besar.



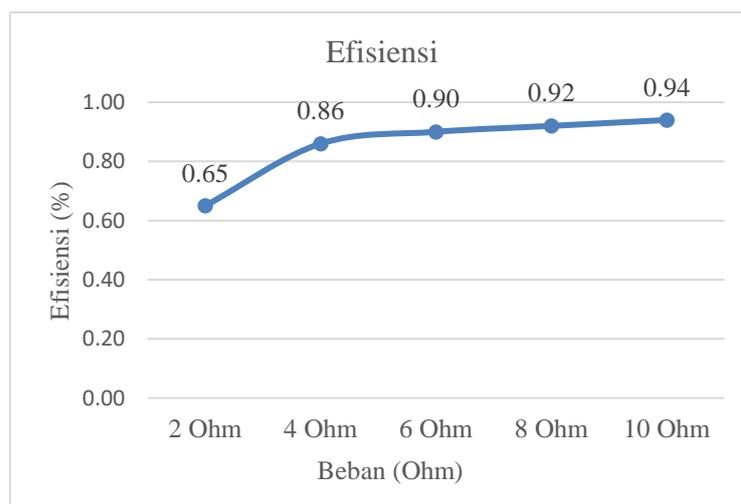
Gambar 9. Grafik hasil nilai daya masukan dengan variasi beban

Gambar 9 menggambarkan pengaruh nilai daya *input* dengan beban. Semakin kecil beban yang digunakan maka daya *input* yang dibutuhkan semakin kecil. Terlihat tiap kecepatan putar yang sama, dapat dilihat nilai daya input semakin besar pada beban yang lebih tinggi. Sebaiknya tiap kecepatan putar yang sama dan semakin kecil beban maka daya *input* yang dibutuhkan semakin rendah.



Gambar 10. Grafik hasil nilai daya keluaran dengan variasi beban

Gambar 10 menggambarkan pengaruh nilai daya *output* dengan beban. Semakin besar beban maka daya *output* yang dihasilkan semakin besar. Terlihat tiap kecepatan putar yang sama, nilai daya *output* semakin besar pada beban yang tinggi. Sebaliknya ketika kecepatan putar yang sama dan semakin kecil beban maka nilai daya *output* semakin rendah. Hasil dari nilai daya masukan dan daya keluaran digunakan untuk mendapatkan nilai efisiensi dari generator dengan cara membandingkan nilai tersebut.



Gambar 11. Grafik hasil nilai efisiensi dengan variasi beban

Gambar 11 menggambarkan pengaruh nilai efisiensi pada berbagai variasi beban. Ini diperoleh dari selisih daya input terhadap daya output. Nilai efisiensi tertinggi ada pada kecepatan putar 900 RPM dengan beban 10 Ohm dan dari grafik di tersebut menunjukkan bahwa besaran nilai efisiensi dari generator sebesar 94% dan nilai efisiensi terkecil ada pada kecepatan putar 900 RPM dengan beban 2 Ohm dari grafik menunjukkan besaran nilai efisiensi generator sebenar 65%.

4. KESIMPULAN

Perancangan generator sinkron dengan magnet permanen kapasitas 22 KVA telah berhasil dilakukan. Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi serta pengujian terhadap beban resistif yang bervariasi diperoleh nilai efisiensi sebesar 94%, tegangan keluaran 445,01 Volt, arus keluaran 63,58 Ampere, torsi 232,88 Nm, daya masukan 21948,29 Watt, daya keluaran 20525,16 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anam. (2017). *Perancangan Generator 100 Watt Menggunakan Software Elektromagnetik Infolytica*. KINETIK, Vol. 2, No. 1, Februari 2017, Hal. 27-36, ISSN : 2503-2259, E-ISSN : 2503-2267, 1-10.
- [2] Sumantri. (2018). *Analisis Pengaruh Variasi Slot Dan Pole Terhadap Tegangan Dan Efisiensi Daya Pada Perancangan Generator Magnet Permanen Menggunakan Software Magnet*. 1-8.
- [3] Naufal. (2019). *Pengaruh Material Inti Besi Terhadap Nilai Back Emf pada Permanent Magnet Synchronous Generator 12 Slot 8 Pole*. Jakarta: Lentera Bumi Nusantara.
- [4] Indrawan. (2018). *Analisa Efisiensi dan Rancang Generator Permanent Magnet 12 Slot 8 Pole Menggunakan Software Magnet 7.5*. Seminar Nasional Microwave, Antena dan Propagasi (SMAP) 2018 Unpak, ID #11, 1-6.
- [5] Ahmad. (2019). *Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Back emf Pada Permanent Magnet Synchronous Generator*. Available online at <http://semnas.mesin.pnj.ac.id> ISSN 2085-2762, 1-6.
- [6] Muhamad. (2018). *Variasi Geometri Pemodelan PM Generator Sinkron 12 Slot*. Seminar Nasional Microwave, Antena dan Propagasi (SMAP) 2018 Unpak, ID #12, 1-5.
- [7] Irfan. (2018). *A Design of Electrical Permanent Magnet Generator for Rural Area*. International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS) (IISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v9.i1.pp269-275, 269-275.