

**ANALISIS PENGARUH PEMBEBANAN DAN RPM TERHADAP
PERFORMA GENERATOR WIND TURBINE MENGGUNAKAN
SOFTWARE MAGNET INFOLYTICA**

NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR



Disusun oleh
IQBAL FAJAR SYAHBANA
5150711129

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN ELEKTRO
UNIVERSITAS TEKNOLOGI YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2019**

**HALAMAN PENGESAHAN
NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR MAHASISWA**

Judul Tugas Akhir

**ANALISIS PENGARUH PEMBEBANAN DAN RPM TERHADAP PERFORMA
GENERATOR WIND TURBINE MENGGUNAKAN SOFTWARE MAGNET
INFOLYTICA**

Judul Naskah Publikasi

**ANALISIS PENGARUH PEMBEBANAN DAN RPM TERHADAP PERFORMA
GENERATOR WIND TURBINE MENGGUNAKAN SOFTWARE MAGNET
INFOLYTICA**

Disusun oleh

IQBAL FAJAR SYAHBANA

5150711129

Mengetahui,

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Ikrima Alfi, S.T., M.Eng	Pembimbing

Naskah Publikasi Tugas akhir ini telah diterima sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana S-1 Program Studi Teknik Elektro.

Yogyakarta ,.....

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Informasi dan Elektro, Universitas Teknologi Yogyakarta

M.S Hendriyawan Achmad,S.T.,M.Eng

NIK. 110810056

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

N a m a : Iqbal Fajar Syahbana

NIM : 5150711129

Program Studi : Teknik Elektro

“Analisis Pengaruh Pembebanan Dan Rpm Terhadap Performa Generator Wind Turbine Menggunakan Magnet Infolytica”

Menyatakan bahwa Naskah Publikasi ini hanya akan dipublikasikan di JURNAL TeknoSAINS FTIE UTY, dan tidak dipublikasikan di jurnal yang lain.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Yogyakarta

Pada tanggal :

Yang menyatakan

Iqbal Fajar Syahbana

5150711129

ANALISIS PENGARUH PEMBEBANAN DAN RPM TERHADAP PERFORMA GENERATOR WIND TURBINE MENGGUNAKAN SOFTWARE MAGNET INFOLYTICA

Iqbal Fajar Syahbana, Ikrima Alfi

*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Informasi dan Elektro
Universitas Teknologi Yogyakarta*

Jl. Ringroad Utara Jombor Sleman Yogyakarta

E-mail : iqbalfajarsyahbana826@gmail.com, ikrima.alfi@uty.ac.id

ABSTRAK

Semakin banyaknya kebutuhan konsumsi listrik di Indonesia mengakibatkan berkurangnya sumber energi listrik yang ada di Indonesia. Indonesia sendiri merupakan negara yang memiliki sumber energi berlimpah serta berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai penyuplai listrik berbagai energi terbarukan, namun ironisnya kondisi listrik Indonesia tidak sesuai dengan sumber energi yang berlimpah sehingga masih ada beberapa daerah yang belum teraliri listrik. Generator Magnet Permanen merupakan salah satu komponen utama pada sistem Wind Turbine atau Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Perancangan generator magnet permanent sendiri bisa dilakukan dengan menggunakan Software MagNet Infolytica, dimana perancangan dengan Software MagNet sendiri kita bisa mengetahui karakteristik dari generator yang telah kita buat. Pada penelitian ini dilakukan perancangan Generator-12 slot 8 pole dan 15 slot 10 pole. Dimana pada pengujian ini dilakukan dengan skenario berikut yaitu pengujian tanpa beban dengan kecepatan konstan, pengujian tanpa beban dengan variasi Rotasi per Menit (Rpm), dan pengujian variasi beban dengan variasi Rpm. Pada simulasi ini pengambilan data pada generator dilakukan setiap 3° per detik. Hasil selama pengujian kemudian dianalisa dengan mengolah data dan melihat grafik dari besaran tegangan, daya input, dan daya keluaran pada generator. Generator dengan simulasi tanpa beban tanpa variasi Rpm menghasilkan tegangan Vdc sebesar 149.5 V untuk Generator-12S8P, sedangkan pada Generator-15S10P sebesar 171.8 V, sedangkan dengan variasi Rpm menghasilkan tegangan rata-rata Vdc sebesar 119.6 V pada Generator-12S8P, dan 172 V pada Generator-15S10P. Daya input dan daya output rata-rata yang dihasilkan selama pengujian variasi beban dan variasi Rpm sebesar 641 W (Pin) dan 553 W (Pout) pada Generator-12S8P dan 1110 W (Pin), 926.1 W (Pout) pada Generator-15S10P. Generator memiliki efisiensi pada saat mencapai daya maksimal sebesar 82.8 % pada Generator-12S8P sedangkan pada Generator-15S10P sebesar 81 %, dengan nilai rugi-rugi daya sebesar 17.2 % pada Generator-12S8P dan 18.6 % pada Generator-15S10P.

Kata kunci : Energi Terbarukan, Wind Turbine, MagNet Infolytica, Generator Magnet Permanen (GMP), Rotasi per Menit (Rpm)

1. PENDAHULUAN

Permasalahan ketersediaan energi dihadapi oleh semua negara di dunia, baik negara berkembang maupun negara maju. Ketergantungan kepada bahan bakar fosil masih cukup tinggi, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Permasalahannya adalah penggunaan bahan fosil yang digunakan secara terus menerus berdampak semakin berkurangnya cadangan bahan bakar fosil. Jumlah ketersediaan bahan bakar fosil sangat berpengaruh pada pasokan sumber energi yang setiap tahun kebutuhan akan energi mengalami kenaikan. Apabila jumlah pasokan bahan bakar fosil berkurang maka pasokan sumber energi kepada pengguna tidak terpenuhi.

Indonesia sendiri merupakan salah satu negara yang mempunyai potensi alam yang berlimpah sehingga bisa dimanfaatkan menjadi energi listrik terbarukan. Selain itu Indonesia berada di daerah ekuator, dimana Indonesia sendiri memperoleh pergerakan udara lebih banyak sehingga bisa dimanfaatkan sebagai energi terbarukan bertenaga angin. Namun pemanfaatan energi angin tersebut masih jarang dilakukan sehingga banyak beberapa daerah terpencil yang masih belum teraliri listrik, salah satu teknologi yang bisa digunakan adalah penggunaan Generator Permanent Magnet yang digunakan dalam sistem *Wind Turbine* atau dalam sistem PLTB. Generator ini menggunakan pemanfaatan magnet permanen sebagai penghasil

Flux, guna menghasilkan tegangan saat Bilah Generator berputar akibat dorongan angin, dimana bagian stator merupakan tempat kumparan dan rotor terdiri dari magnet utama.

Oleh karena itu diperlukan penelitian untuk membahas performa generator dari pengaruh pembebanan dan kecepatan putar angin terhadap daya yang dihasilkan oleh generator sehingga bisa diketahui seberapa efisien generator dapat bekerja. Perancangan Generator Permanent Magnet sendiri bisa dilakukan dengan bantuan software MagNet Infolytica dimana software ini sendiri menyediakan laboratorium *virtual* dimana pengguna dapat membuat model suatu motor atau generator. Pada penelitian kali ini penulis melakukan penelitian tentang pengaruh yang akan terjadi terhadap performa generator pada saat generator ditambahkan pembebanan dan variasi kecepatan dengan menggunakan bantuan software MagNet sehingga hasil dari simulasi ini bisa digunakan sebagai karakteristik dari generator tersebut.

Penelitian tentang perkembangan Generator Permanen Magnet sudah banyak dilakukan, diantaranya penelitian untuk mengenai nilai Tegangan Dc dn Ke berdasarkan variasi Rpm pada Generator Magnet Permanen (Mardani Yusup, 2018), penelitian yang selanjutnya pada penelitian yang kedua peneliti melakukan sebuah pengujian generator permanent magnet dengan kecepatan putar konstan pada saat pengujian baik pengujian tanpa beban ataupun ketika ditambahkan beban sehingga dalam pengujian ini peneliti bisa mengetahui pengaruh tingginya kecepatan terhadap keluaran daya pada generator (Agus Supardi.,dkk, 2016), perancangan generator 16S10P guna mencari nilai tegangan dan arus dengan variasi putar dari 200 sampai 1000 Rpm (Asy'ari, H., Jatmiko, dan Ardiyatmoko, A. 2015), perancangan generator magnet permanen guna mendapatkan nilai tegangan, arus, torsi denan melihat pada ukuran mesh Meggi Octa S dan Indra Yasri, 2018), perancangan generator menggunakan magnet permanen guna mendapat nilai daya output 100 Watt dengan metode pengujian tanpa beban dan berbeban (M. Choirul Anam, dkk. 2017).

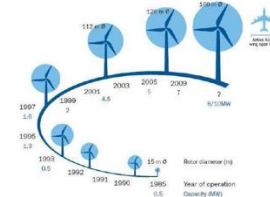
Pada umumnya, penelitian dan pengembangan generator dilakukan dengan parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja dari generator seperti jumlah slot dan pole, jumlah lilitan, bahan material magnet serta kecepatan putar generator itu sendiri.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Wind Turbine

Turbin adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Baik sumbernya berasal dari anfin maupun arus laut, kedua sumber tersebut hasil dari setengah kali massa jenis/kerapatan massa sumber (ρ) dengan luas

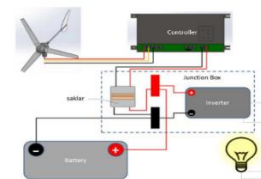
penampang turbin (A) dan pangkat tiga dari kecepatan (V^3) pergerakan sumber (angin maupun arus laut). Dalam pemanfaatannya, turbin angin dibedakan dalam berbagai ketinggian dan kapasitasnya. Hubungan ketinggian berbanding lurus dengan kapasitasnya. Semakin besar ketinggiannya maka akan semakin besar pula kapasitasnya, begitupun sebaliknya.



Gambar 1. Tipe Turbin Angin berdasarkan Kapasitas dan Ketinggiannya
(Sumber : LBN, 2014)

2.2 PLTA

Secara garis besar energi angin dan arus laut mempunyai sistem kerja yang sama yaitu, merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Adapun gambaran sistemnya bisa dilihat pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Sistem Pembangkit Listrik tenaga Angin
(Sumber : LBN, 2014)

Pada gambar diatas, menjelaskan hasil putaran bilah pada turbin akan memutar generator yang kemudian menghasilkan tegangan AC tiga fasa, diwakilkan dengan arah vektor arah angin, yaitu u, v, dan w. Setelah itu, ketiga fase tegangan AC dialirkan ke *controller* (teknologi pengamanan dan konversi energi). Pada controller itu, terdapat *rectifier* yang berfungsi untuk merubah tegangan AC menjadi DC. Dari hasil *rectifier* ini kemudiaan diolah oleh Maximum Power Point Tracker (MPPT) yang berfungsi untuk mengoptimasikan keluaran daya dari generator sebelum dialirkan untuk disimpan ke baterai. Dan terdapat *buck converter* yang berfungsi untuk merubah tegangan DC besar menjadi tegangan DC kecil.

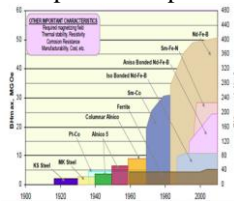
Tahap terakhir dari sistem kerja pembangkit listrik adalah penyimpanan energi listrik yang dihasilkan yang akan digunakan untuk kebutuhan sehari-hari. Energi listrik akan disimpan ke baterai, pada baterai itu sendiri akan terjadi rekasi elektrokimia charging dan discharging. Charging bekerja saat baterai berfungsi sebagai beban dan sumber energinya dari generator, sedangkan discharging bekerja saat baterai berfungsi sebagai sumber energi untuk pengisian beban lainnya. Selain baterai, ada juga teknologi lain yang dinamakan

inverter, berfungsi untuk merubah tegangan DC yang disimpan baterai menjadi tegangan AC.

2.3 Material Magnet Permanen

Magnet adalah benda yang mampu menarik suatu benda lain yang disekitarnya dan setiap magnet mempunyai sifat kemagnetan. Suatu magnet permanen harus mampu menghasilkan densitas fluks (B) magnet yang tinggi dari suatu volume magnet tertentu, stabilitas magnetik yang baik terhadap efek temperatur dan waktu, serta memiliki ketahanan yang tinggi terhadap pengaruh demagnetisasi.

Pada prinsipnya, suatu magnet permanen haruslah memiliki karakteristik minimal dengan sifat kemagnetan remanen B, dan koersivitas intrinsik (Hc) serta temperatur Curie, (Tc) yang tinggi. Perkembangan material magnet permanen sangat cepat sejak 1900-an hingga saat ini, diikuti dengan semakin meningkatnya karakteristik magnet yang dihasilkan. Dari tahun ke tahun semakin banyak jenis dan sifat magnet yang ditemukan. Perkembangan magnet permanen dapat dilihat pada Gambar 3.

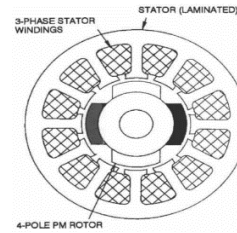


Gambar 3. Perkembangan Material Magnet Permanen (Sumber: Analisis Pengaruh Umbrella terhadap Generator BLDC, 2018)

2.4 Generator Magnet Permanen

Generator adalah bagian penting dalam sebuah sistem turbin angin. Generator adalah mesin yang berfungsi mengubah energi mekanik (kecepatan rotasi dan torsi) menjadi energi listrik (tegangan dan arus). Komponen-komponen penyusun generator antara lain stator, rotor, magnet, coil (kumparan) dan air gap.

Generator magnet permanen memiliki prinsip kerja yang sama dengan generator sinkron tetapi pada kumparan medan magnet diganti dengan magnet permanen. Rotor merupakan bagian berputar yang ada pada generator. Pada generator magnet permanen, rotor merupakan tempat tersusunnya magnet permanen sebagai pembangkit medan magnet yang diperlukan untuk pembangkit listrik. Induksi elektro magnetik yang ada pada generator permanent magnet menggunakan hukum *fareday* yang berbunyi “adanya perubahan fluks magnetik yang melingkupi suatu kumparan akan menimbulkan GGL pada kumparan tersebut”, dibuktikan dengan persamaan 1 [7].



Gambar 4. Generator Magnet Permanen (Sumber : design of brushless permanen-magnet motor, 1994)

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

Keterangan :

e = Tegangan (V)

N = Banyak belitan

dφ = Perubahan *Fluks* magnet (weber)

dt = Perubahan waktu dalam satuan detik

2.5 Fluks Magnetik

Fluks magnetik (φm) adalah ukuran atau jumlah medan magnet (B) yang melewati luas penampang tertentu. Satuan *fluks* magnetik adalah weber (Wb) merupakan turunan dari volt-detik. *Fluks* magnetik yang melalui bidang tertentu sebanding lurus dengan jumlah medan magnet yang melalui bidang tersebut. Dilihat pada persamaan 2 [7].

1. *Fluks Magnetik*

$$B_{max} = Br \cdot \frac{lm}{lm + \delta} \quad (2)$$

2. Luas Medan Magnet

$$A_{magnet} = \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - (\pi f(ro - ri)Nm)}{Nm} \quad (3)$$

3. *Fluks Magnetik Maksimal*

$$\phi_{max} = B_{max} \cdot A \quad (4)$$

4. *Kerapatan Fluks*

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (5)$$

Keterangan :

Br = Densitas *fluks* magnetik (Tesla)

Lm = Tebal Magnet (cm)

δ = Air Gap (cm)

ro = Radius luar magnet (cm)

ri = Radius dalam magnet (cm)

τf = Jarak lebar magnet (cm)

Nm = Jumlah pole

B max = densitas *fluks* maksimum (T)

φ max = *fluks* magnet (Wb)

A = luas magnet (cm²)

2.6 Efisiensi Generator

Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya keluaran atau daya yang dibangkitkan dengan daya masukan generator. Daya Input sendiri didapat dari data torque atau putaran dari rotor yang berputar sesuai dengan kecepatan dan sudut yang telah

ditentukan. Sedangkan daya Output dihasilkan dari arus dan tegangan yang dihasilkan akibat perubahan mekanik energi putar pada generator antara rotor dan stator. Adapun rumus yang digunakan dalam mencari efisiensi generator bisa dilihat dipersamaan 6 dibawah.

$$\omega = \frac{n \cdot 2 \cdot \pi}{60} \quad (6)$$

$$P_{in} = T \cdot \omega \quad (7)$$

$$P_{out} = I \cdot V \quad (8)$$

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (9)$$

$$P_{Losses} = \frac{P_{in} - P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (10)$$

Keterangan :

n = Kecepatan putar (Rpm)

P_{in} = Daya Input (W)

P_{out} = Daya Output (W)

T = Torsi (Nm)

ω = Kecepatan Sudut (rad/s)

I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Langkah Penelitian

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian diantaranya sebagai berikut :

3.1.1 Penentuan Spesifikasi Generator

Dalam penelitian kali ini type generator yang akan dilakukan pengujian adalah type 12 slot 8 pole dan 15 slot 10 pole, dimana generator ini menghasilkan keluaran 3 fasa. Adapun penentuan dan spesifikasi awal dari generator bisa dilihat pada Tabel 1 dan 2 dibawah.

Tabel 1. Ukuran Generator


No	Keterangan	Ukuran
1	Diameter Luar Stator	90 mm
2	Diameter Core Stator	75 mm
3	Diameter Dalam Stator	67 mm
4	Diameter Rotor	46 mm
5	Diameter Luar Magnet	49 mm
6	Diamter Dalam Magnet	46 mm
7	Tebal Magnet	3 mm
8	Air Gap	1 mm
9	Tebal Generator	40 mm

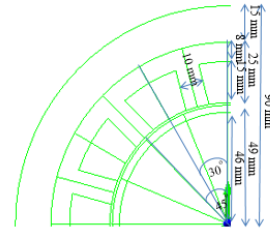
Tabel 2. Parameter Awal Generator

PARAMETER AWAL GENERATOR PERMANENT MAGNET			
VARIABEL	SIMBOL	NILAI	
Banyak Slot	Ns	12	15
Banyak Pole	Np	8	10
Jumlah Lilitan	Nc	100	100
Panjang Stator	Ls	23 mm	23 mm
Lebar slot stator	Bs	30 mm	20 mm
Lebar celah udara	Geq	1 mm	1 mm
Tebal Magnet	Hm	3 mm	3 mm

Bahan Magnet	Br	1.375 T	1.375 T
Jumlah Fase	Nph	3	3
Sudut Slot	°	30	24
Sudut Magnet	°	45	36

3.1.2 Perancangan Generator

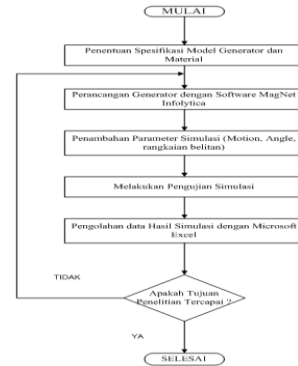
Pemodelan merupakan langkah awal dalam perancangan generator magnet permanen, pada tahap ini dilakukan pembuatan sketsa dari generator, yang berisi gambaran 2D pada software MagNet. Generator yang dimodelkan adalah generator linear rotor yang memiliki 12 slot dan 15 slot konduktor. Penggambaran model pada software MagNet dapat menggunakan toolbar  atau pada menu "Draw". Sehingga pemodelan yang dibuat menjadi sketsa garis seperti Gambar 5 dibawah.



Gambar 5. Ukuran Komponen Model

3.1.3 Pengujian Generator

Tahapan selanjutnya dalam penelitian ini adalah pengujian generator yang telah selesai dirancang dimana pengujian ini dilakukan dengan pengujian generator tanpa beban yang bertujuan untuk mendapatkan nilai V_{dc}, selanjutnya pengujian tanpa beban dengan variasi Rpm 200, 400, 600, 800, 1000, dan yang terakhir pengujian generator dengan variasi beban 10, 20, 30, 40, dan 50 Ohm dan variasi Rpm.



Gambar 6. Flowchart Pembuatan Sistem

3.2 Alat dan Bahan

Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan beberapa alat dan bahan yang mendukung diantaranya :

a. Laptop

Laptop digunakan untuk melakukan pengerjaan simulasi pada software MagNet serta untuk membaca sumber-sumber referensi yang didapat dari jurnal-jurnal dan sumber lainnya.

b. Software MagNet Infolytica



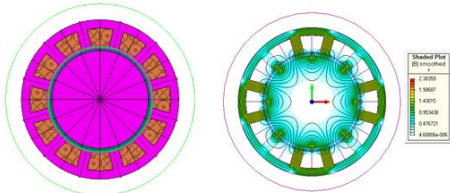
Gambar 7. Software MagNet Infolytica

Software MagNet merupakan software berbasis Finite Element Method (FEM), yang digunakan untuk merancang Permanen Magnet baik Generator ataupun Motor Listrik lainnya.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan Hasil Solving

Setelah melakukan beberapa tahapan pengujian software MagNet dapat menampilkan hasil perhitungan medan magnet (B) dalam bentuk visualisasi gambar. Hasil perhitungan medan magnet jika divisualisasikan akan seperti Gambar 8. Gradasi warna yang ditunjukkan pada gambar menunjukkan nilai medan magnet di titik tersebut, medan magnet terbesar ditandai dengan warna merah sampai medan magnet terkecil ditandai warna putih.



Gambar 8. Gradasi Aliran Fluks Magnetik

Sehingga dengan menggunakan persamaan 2 nilai medan magnet maksimal yaitu :

$$\begin{aligned} B_{max} &= Br \cdot \frac{tm}{tm + \delta} \quad [1] \\ &= 1.375 \cdot \frac{0.3}{0.3 + 0.1} \\ &= \mathbf{1.03125 \text{ T}} \end{aligned}$$

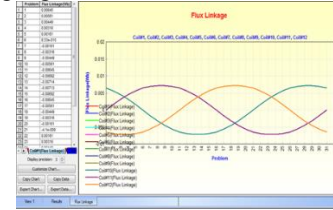
Kemudian didapatkan nilai luas medan magnet yang mengalir dengan persamaan 3 diatas.

$$\begin{aligned} A_{magnet} &= \frac{\pi(ro^2 - ri^2) - (rf(ro - ri)Nm)}{Nm} \quad [1] \\ &= \frac{3.14(4.9^2 - 4.6^2) - (0.3(4.9 - 4.9)8)}{8} \\ &= \frac{3.14(24.01 - 21.16) - (0.3(0.3)8)}{8} \\ &= \frac{(3.14 \times 2.85) - (0.72)}{8} \\ &= \mathbf{1.03 \text{ cm}^2} \end{aligned}$$

luas magnet pada PMG-12S8P, sedangkan dengan perhitungan yang sama pada PMG-15S10P luas magnet adalah $\mathbf{0.8 \text{ cm}^2}$. Sehingga kita bisa mengetahui nilai maksimal kerapatan fluks magnetik yang terjadi di masing-masing generator dengan persamaan 4.

$$\begin{aligned} \phi_{max} &= B_{max} \cdot A_{magnet} \quad [1] \\ \phi_{max} &= 1.03125 \text{ T} \times 1.03 \\ \phi_{max} &= \mathbf{0.0001062 \text{ Webber}} \end{aligned}$$

Merupakan nilai fluks maksimal pada generator 12S8P, sedangkan nilai maksimal kerapatan fluks pada 15S10P adalah $\mathbf{0.000825 \text{ Webber}}$. Selain itu setiap generator juga akan menghasilkan grafik *fluks linkage* yang selanjutnya dari grafik tersebut bisa diolah untuk mencari tegangan.



Gambar 9. Gelombang Fluks Linkage 12S8P

4.2 Pembahasan Hasil Solving Tanpa Beban

Dalam tahapan pengujian tanpa beban didapatkan nilai tegangan Vdc dengan pengujian variasi Rpm. Namun dalam hal ini kecepatan setiap generator bisa ditentukan dengan persamaan 12 dibawah.[8]

$$N_s = \frac{120 f}{p} \quad (12)$$

$$N_s = \frac{120 \cdot 50}{8}$$

$$N_s = \mathbf{750 \text{ Rpm}}$$

Adalah kecepatan konstan generator PMG-12S8P, sedangkan untuk PMG-15S10P kecepatan konstantnya adalah $\mathbf{600 \text{ Rpm}}$. Untuk menentukan nilai Vdc dari setiap generator dilakukan perhitungan dengan persamaan 13 sampai 14 dibawah.[9]

a. Gaya Gerak Listrik Kumparan

$$E_{coil 1} = \frac{\lambda_3 - \lambda_0}{\Delta t} \quad (13)$$

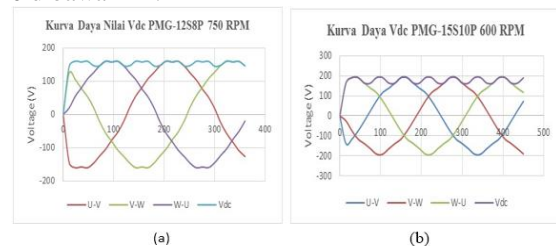
b. Tegangan Kumparan Full Model

$$E_{coil} = E_{coil} \times 4 \quad (14)$$

c. Tegangan Antar Fasa

$$E_{coil U-V} = E_U - E_V \quad (15)$$

Sehingga grafik tegangan Vdc dengan kecepatan konstan dari kedua generator bisa dilihat pada Gambar 10 dibawah ini.

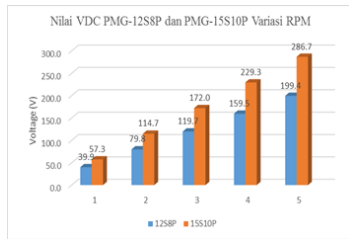


(a)

(b)

Gambar 10. a. Kurva Daya Vdc PMG-12S8P dan b. Kurva Daya Vdc PMG- 15S10P

Nilai tegangan Vdc sendiri didapatkan dari nilai tegangan fasa *absolut* tertinggi pada setiap sudut rotasi, sehingga nilai rata-rata tegangan Vdc yang dihasilkan semakin naik seperti ditunjukkan pada Gambar 11 dibawah hal ini dikarenakan karena generator berputar dengan kecepatan yang semakin besar.

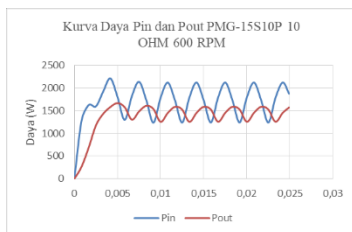


Gambar 11. Grafik nilai Vdc dengan Variasi Rpm

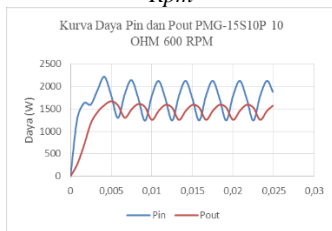
4.3 Pembahasan Hasil Solving dengan Beban

Simulasi selanjutnya adalah pengujian generator dengan penambahan beban pada kondisi variasi Rpm, hal ini bertujuan agar mengetahui berapa nilai efisiensi dan rugi-rugi daya, dimana pada pembebanan ini setiap resistor diberikan nilai 10, 20, 30, 40, 50 Ohm, sedangkan pada variasi Rpm sendiri akan dilakukan pengujian dengan nilai 200, 400, 600, 800 dan 1000 Rpm hal ini bertujuan untuk melihat pengaruh yang akan terjadi pada nilai Daya Input (Pin) serta Daya Output (Pout) yang dihasilkan selain dengan kecepatan konstan dari masing-masing generator.

Untuk mencari nilai Daya Input(Pin) sendiri digunakan persamaan 8, dimana nilai Torque diambil dari hasil Motion yang mana motion sendiri adalah gerakan yang terus menerus /konstan yang berfungsi agar induksi dari satu penghantar yang berputar (rotor) dapat memotong induksi dari penghantar tetap (stator) atau yang disebut dengan perpotongan medan magnet atau perpotongan fluks magnetik (garis-garis medan magnet). Sedangkan untuk mencari nilai Daya Output (Pout) menggunakan persamaan 9, dimana daya output sendiri dihasilkan dari arus dan tegangan yang dihasilkan dari perputaran rotor. Gambar 12 dan Gambar 13 dibawah ini merupakan Kurva Daya Input dan Daya Output dari masing-masing generator dengan kecepatan konstan sesuai dengan persamaan 4.1.



Gambar 12. Kurva Daya Pin dan Pout PMG-12S8P 750 Rpm



Gambar 12. Kurva Daya Pin dan Pout PMG-15S10P 600 Rpm

Sehingga dari nilai daya tersebut kita bisa mengetahui nilai efisiensi dengan persamaan 10.

$$\eta_{generator} = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\% \quad [1]$$

$$\eta_{generator} = \frac{1275.6}{1502.8} * 100\%$$

$$\eta_{generator} = 85\% \text{ efisiensi 12S8P}$$

Sedangkan pada PMG-15S10P dengan kecepatan tetap 600 Rpm nilai efisiensi sebesar 81 %, dibawah ini merupakan Tabel nilai Pin dan Pout serta Efisiensi dari generator dengan kecepatan tetap masing-masing generator.

Tabel 3. Data Rata-Rata Pin dan Pout serta Efisiensi PMG-12S8P dan PMG-15S10P

DATA DAYA PIN DAN POUT PMG-12S8P 750 RPM					
No	Beban (Ohm)	Average Pin (Watt)	Average Pout (Watt)	Efisiensi	Daya Losses
1	10	1503	1276	84.9%	15.1%
2	20	930	815	87.6%	12.4%
3	30	692	605	87.5%	12.5%
4	40	558	488	87.4%	12.6%
5	50	466	399	85.5%	14.5%
DATA DAYA PIN DAN POUT PMG-15S10P 600 RPM					
No	Beban (Ohm)	Average Pin (Watt)	Average Pout (Watt)	Efisiensi	Daya Losses
1	10	1676	1351	81%	19.4%
2	20	1147	964	84%	16.0%
3	30	859	739	86%	14.0%
4	40	707	604	85%	14.6%
5	50	602	493	82%	18.0%

Selanjutnya untuk hasil Pin dan Pout dengan variasi beban dan Rpm akan disajikan pada Tabel 2 dan 3 dibawah ini.

Tabel 4. Data Daya Rata-Rata Pin dan Pout PMG-12S8P

RATA-RATA DAYA INPUT PMG-12S8P					
RPM	10 Ohm	20 Ohm	30 Ohm	40 Ohm	50 Ohm
200	143	83.5	71.2	68.8	67.8
400	503.1	302.8	218.1	172.8	157.4
600	1014.5	630.0	466.3	371.4	308.7
800	1674.3	1048.1	786.7	637.1	536.1
1000	2282.5	1536.9	1175.5	952.8	810.5
RATA-RATA DAYA OUTPUT PMG-12S8P					
RPM	10 Ohm	20 Ohm	30 Ohm	40 Ohm	50 Ohm
200	121.6	68.8	48.5	36.5	29.5
400	436.9	268.2	186.8	146.1	120.2
600	853.8	541.8	411.2	316.3	262.2
800	1418.4	921.8	676.3	553.1	453.7
1000	1890.3	1316.4	1004.5	814.2	694.6

Tabel 5. Data Daya Rata-Rata Pin dan Pout PMG-15S10P

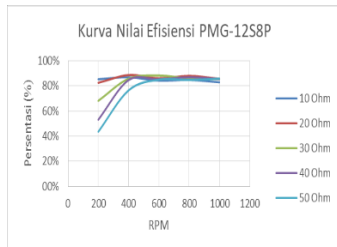
RATA-RATA DAYA INPUT PMG-15S10P					
RPM	10 Ohm	20 Ohm	30 Ohm	40 Ohm	50 Ohm
200	265.4	161.7	121.7	111.5	104.4
400	921.4	557.2	420.8	339.1	286.5
600	1676.0	1147.0	859.3	706.8	601.5
800	2726.9	1935.4	1423.9	1159.5	1002.1
1000	3303.2	2604.4	2134.4	1720.3	1468.3
RATA-RATA DAYA OUTPUT PMG-15S10P					
RPM	10 Ohm	20 Ohm	30 Ohm	40 Ohm	50 Ohm
200	221.1	132.5	97.6	75.9	61.2
400	760.9	480.6	349.2	281.3	236.6
600	1350.6	963.7	739.2	603.9	493.3
800	2218.4	1661.7	1213.0	997.3	873.5
1000	2605.7	2196.6	1818.4	1465.9	1255.0

Tabel 6. Data Nilai Efisiensi Variasi Beban dan Rpm

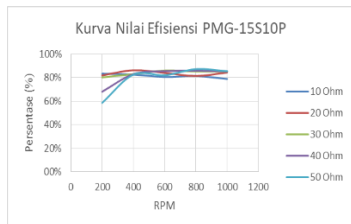
NILAI EFISIENSI PMG-12S8P						
RPM	10 Ohm	20 Ohm	30 Ohm	40 Ohm	50 Ohm	Average
200	85.3%	82.4%	68.1%	53.0%	43.4%	66.5%
400	86.8%	88.6%	85.7%	84.6%	76.4%	84.4%
600	84.2%	86.0%	88.2%	85.1%	84.9%	85.7%
800	84.7%	88.0%	86.0%	86.8%	84.6%	86.0%
1000	82.8%	85.7%	85.4%	85.4%	85.7%	85.0%
Rata-rata						81.5%

NILAI EFISIENSI PMG-15S10P						
RPM	10 Ohm	20 Ohm	30 Ohm	40 Ohm	50 Ohm	Average
200	83.3%	81.9%	80.2%	68.1%	58.6%	74.4%
400	82.6%	86.2%	83.0%	83.0%	82.6%	83.5%
600	80.6%	84.0%	86.0%	85.4%	82.0%	83.6%
800	81.4%	81.4%	85.2%	86.0%	87.2%	84.2%
1000	78.9%	84.3%	85.2%	85.2%	85.5%	83.8%
Rata-rata						82 %

Dari Tabel 2 sampai Tabel 4 bisa kita analisa bahwa pengaruh kecepatan putar pada generator sangat mempengaruhi nilai pada daya input dan daya output dimana semakin besar kecepatan putar pada generator semakin besar pula tegangan yang dihasilkan, namun penambahan beban (resistor) yang semakin besar juga mempengaruhi nilai keluaran dimana nilai keluaran semakin menurun hal ini dikarenakan adanya perubahan beban pada kecepatan putar yang tetap. Gambar 13 dan 14 dibawah merupakan kurva nilai efisiensi generator dengan kecepatan putar yang berbeda-beda dan beban yang berbeda.



Gambar 13. Kurva Efisiensi PMG-12S8P



Gambar 14. Kurva Efisiensi PMG-15S10P

Selain terdapatnya nilai efisiensi pastinya terdapat juga nilai yang hilang pada keluaran generator terhadap daya masuk pada generator atau biasa disebut Rugi-rugi Daya, cara menghitung rugi-rugi daya pada generator dengan menggunakan persamaan 11 pada bab dua.

$$P_{Losses} = \frac{P_{input} - P_{output}}{P_{input}} * 100\% \quad [1]$$

$$Daya_{Losses} = \frac{1503 - 1276}{1503} * 100\%$$

$$Daya_{Losses} = 15.1\%$$

Sedangkan pada nilai rata-rata Rugi-rugi daya yang terdapat pada PMG-12S9P dan PMG-15S10P selama pengujian dengan variasi kecepatan dan variasi beban bisa dilihat pada Tabel. 5 dibawah ini.

Tabel 7. Data Nilai Losses PMG-12S8p dan PMG-15S10P

NILAI DAYA LOSSES PMG-12S8P						
RPM	10 Ohm	20 Ohm	30 Ohm	40 Ohm	50 Ohm	Average
200	14.7%	17.6%	31.9%	47.0%	56.6%	33.5%
400	13.2%	11.4%	14.3%	15.4%	23.6%	15.6%
600	15.8%	14.0%	11.8%	14.9%	15.1%	14.3%
800	15.3%	12.0%	14.0%	13.2%	15.4%	14.0%
1000	17.2%	14.3%	14.6%	14.6%	14.3%	15.0%
Rata-rata						18.5%

NILAI DAYA LOSSES PMG-15S10P						
RPM	10 Ohm	20 Ohm	30 Ohm	40 Ohm	50 Ohm	Average
200	16.7%	18.1%	19.8%	31.9%	41.4%	25.6%
400	17.4%	13.8%	17.0%	17.0%	17.4%	16.5%
600	17.4%	13.8%	17.0%	17.0%	17.4%	16.5%
800	19.4%	16.0%	14.0%	14.6%	18.0%	16.4%
1000	18.6%	14.1%	14.8%	14.0%	12.8%	14.9%
Rata-rata						18.0%

Tabel 8. Parameter Akhir PMG-12S8P dan PMG-15S10P

PARAMETER AKHIR GENERATOR PERMANENT MAGNET PMG-12S8P & PMG-15S10P			
VARIABEL	SYMBOL	NILAI	
Banyak Slot	Ns	12	15
Banyak Pole	Np	8	10
Jumlah Lilitan	N	100	100
Panjang Stator	Ls	23 mm	23 mm
Lebar slot stator	Bs	30 mm	20 mm
Lebar celah udara	Geq	1 mm	1 mm
Tebal Magnet Permanet	Hm	3 mm	3 mm
Kecepatan Konstan	Ns (Putar)	750 Rpm	600 Rpm
Jumlah Fase	Nph	3 Fase	3 Fase
PARAMETER ELEKRIS			
Rapat Fluks	Br	1.03 T	1.03T
Luas Medan Magnet	Amagnet	1.03 cm ²	0.8 cm ²
Nilai Fluks Magnet	Φ _{max}	0.0001062 Wb	0.0000825 Wb
Nilai rata-rata Vdc	V	149.5	172
Daya Input	Pin	830 W	998 W
Daya Output	Pout	716 W	830 W
Efisiensi	Ng	86.6 %	83.6 %
Daya Losses	P _{Losses}	13.4 %	16.4 %

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian pada masing-masing permanen magnet generator pada PMG-12S8P dan PMG-15S8P. Ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil, antara lain :

1. Nilai tegangan Vdc yang dihasilkan dari masing-masing generator tanpa beban dengan kecepatan masing-masing generator adalah 149.5 Volt untuk PMG-12S8P, sedangkan untuk PMG-15S10P adalah 171.8 Volt.

2. Generator menghasilkan rata-rata Vdc dengan variasi kecepatan putar adalah 119.6 Volt pada PMG-12S8P, dan 172 Volt pada PMG-15S10P.
3. Nilai rata-rata Daya Input (Pin) dan Daya Output (Pout) yang dihasilkan oleh generator dengan kecepatan konstan dan variasi beban pada PMG-12S8P adalah 830 W (Pin), dan 716 W (Pout) dengan kecepatan 750 Rpm, sedangkan pada PMG-15S10P sebesar 998 W (Pin) dan 830 W (Pout) pada 600 Rpm.
4. Sedangkan pengujian dengan variasi kecepatan putar (Rpm) dan penambahan beban pada masing-masing generator mendapatkan nilai rata-rata Pin sebesar 641 W dan Pout 553 W pada PMG-12S8P, sedangkan pada PMG-15S10P menghasilkan Pin sebesar 1110 W dan Pout 926.1 W.
5. Efisiensi generator pada saat mencapai Daya Maksimal adalah 82.8 % pada PMG-12S8P sedangkan pada PMG-15S10P sebesar 78.9 %.

5.2. Saran

Pada penelitian ini ada beberapa kekurangan yang mesti diperbaiki lagi untuk penelitian kedepannya. Berikut saran-saran yang dapat dilakukan dalam pengembangan penelitian selanjutnya yang sejenis.

1. Penentuan ukuran mesh pada bagian berputar (rotor, magnet, airbox rotor, dan airgap) harus sangat diperhatikan semakin kecil nilainya semakin akurat perhitungannya.
2. Dalam perancangan generator magnet permanent ini dapat dikembangkan teknologi Cogging Less sehingga bisa mengurangi fluktuasi gaya magnet dengan lilitan sehingga generator bisa berputar pada Rpm rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andika dan Hamzah, A., (2018). *Perancangan dan Pembuatan Generator Fluks Radial Tiga Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah*, Universitas Riau, Jom FTEKNIK Vol 5(1).
- [2] Chapman, J. Stephen (2012). *Electric Machinery Fundamentals Fifth Edition*, New York : McGraw-Hill Companies.
- [3] Fizari, A.J., Indra, T dan Nugroho, N.D.S.,(2018). *Analisa Pengaruh Variasi Umbrella Terhadap Tegangan Output pada Generator BLDC 12 Slot 8 Pole*, Laporan Kerja Praktik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [4] Fitzgerald, A.E., Kingsley, J.R Charles, dan Umans, D. Stephen. (2003), *Electric Machinery*, New York : McGraw-Hill Companies.
- [5] Hadiyanti, Norma (2016). *Pengaruh Variasi Material Magnet Permanen Terhadap Gaya Gerak Listrik Pada Generator Magnet Permanent 12 Slot 8 Kutub*, Skripsi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [6] Hanselman, Duane (2006). *Brushless Permanent Magnet Motor Second Edition*. University of Maine Orono, ME. Magna Phisies Publishing.
- [7] J.R Hendershot Jr and TJE Miller, (1994). *Desaign of Brushless Permanent Magnet Motors*, Ohio, Magna Phisies Publishing and Claredon Press.
- [8] Suhada, M.O., dan Yasri, I., (2018). *Aspek Rancangan Generator Magnet Permanen Fluks Radial Kecepatan Rendah*, Universitas Riau, Jom FTEKNIK Vol 5(1).
- [9] Yusup, M (2018). *Perhitungan Back Emf pada Permenan Magnet Generator 12 Slot 8 Pole dengan Variasi RPM menggunakan Software MagNet*, Laporan Kerja Praktik, Universitas Teknologi Yogyakarta, Yogyakarta.