

Variasi Geometri Pemodelan PM Generator Sinkron 12 Slot 8 Pole $\frac{1}{4}$ Model

Muhamad Rangga Hadisiswoyo, Indrawan Arifianto, Suci Rahmatia, Ricky Elson

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Al Azhar Indonesia, Jakarta, Indonesia
Penulis untuk Korespondensi/E-mail: muhammadranggahs@gmail.com

Abstract

Sebanyak 3 juta penduduk atau sekitar 4,36 % belum di aliri pasokan listrik didaerah pelosok nusantara karena kurangnya infrastruktur yang memadai sehingga sulit untuk PLN menyuplai kedaerah tersebut. Guna mencapai 100% dalam target ratio elektrifikasi, ESFM akan fokus pada Energi Baru Terbarukan (ETB). Pada paper ini bertujuan untuk mendesain 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.

Kata Kunci : PLTB, PMSG, Generator, 12s8p, MagNet Infolytica.

1. Pendahuluan

Listrik merupakan sumber energi yang sangat penting bagi manusia. Pentingnya energi listrik untuk dinikmati masyarakat dari segi kegiatan komersial, kegiatan industri maupun dalam kehidupan sehari-hari rumah tangga. Pentingnya energi listrik untuk dinikmati masyarakat dapat dilihat dari semakin majunya teknologi dan ekonominya dalam suatu negara.

Berdasarkan data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menyatakan target ratio elektrifikasi pada tahun 2018 ditetapkan sebesar 95,35 %. Rasio elektrifikasi ini menggambarkan jumlah rumah tangga yang sudah berlistrik dibandingkan dengan jumlah rumah tangga nasional. Sebanyak 62,5 juta atau sekitar 93,03% rumah tangga teraliri listrik dari PLN, sementara 1,5 juta atau 2,32% rumah tangga mendapat listrik dari off-grid non PLN yang dibangun oleh Pemerintah Daerah, Swasta, Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM, dan rumah tangga berlistrik tanpa kWh meter [1].

Sementara sebanyak 3 juta penduduk atau sekitar 4,36 % belum di aliri pasokan listrik didaerah pelosok nusantara

karena kurangnya infrastruktur yang memadai sehingga sulit untuk PLN menyuplai kedaerah tersebut. Guna mencapai 100% dalam target ratio elektrifikasi, ESFM akan fokus pada Energi Baru Terbarukan (ETB). Lalu ketergantungan masyarakat akan kebutuhan energi listrik pada energi fosil akan berganti energi listrik terbarukan, hal ini disebabkan ketersediaan energi fosil semakin menipis seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik di masyarakat.

Untuk mengatasi masalah tersebut, mulai banyak dikembangkan dan diteliti sumber energi baru terbarukan. Mengingat kebutuhan masyarakat akan energi listrik yang terus meningkat sehingga sangat dibutuhkan pembangkit tenaga listrik untuk menyediakan energi listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Pusat tenaga listrik tersebut seperti Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pusat Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB), Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pusat Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU), Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), dan lain-lain. Setiap daerah memerlukan listrik, khususnya di daerah tertinggal di Indonesia. Oleh karena itu pada paper ini melahirkan rancangan terbaik dalam variasi geometri pemodelan generator sinkron 12 slot 8 pole $\frac{1}{4}$ model, sehingga dapat mendesain generator yang diinginkan. Mendesain Generator Permanen Magnet 12 slot dan 8 pole 3 fasa dirancang $\frac{1}{4}$ model agar lebih cepat dalam proses solving.

2. Landasan Teori

2.1. Pengertian Generator

Generator merupakan mesin listrik yang berfungsi mengkonversikan energi mekanik (gerak) menjadi energi listrik. Generator dapat menghasilkan gaya gerak listrik dengan induksi elektro magnetik yang diubah menjadi tenaga listrik. Pada umumnya generator memiliki keluaran tegangan tiga fasa. Maka dari itu generator merupakan komponen utama pada pembangkit listrik. Sedangkan komponen utama dari sebuah generator adalah, stator dan rotor.

2.2. Prinsip Kerja Generator Sinkron

Generator (disebut juga alternator) adalah suatu alat atau mesin yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik [2]. Proses ini dikenal dengan pembangkit listrik. Generator sinkron magnet permanen (PMSG) adalah generator yang

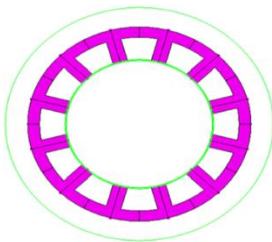
medan eksitasinya dihasilkan oleh magnet permanen bukan kumparan sehingga fluks magnetik dihasilkan oleh medan magnet permanen. Generator ini memiliki keunggulan yang signifikan, menarik minat para peneliti dan biasanya digunakan dalam aplikasi wind turbine [3].

Generator sinkron magnet permanen merupakan mesin listrik berputar dengan 3-fase stator klasik yang seperti generator induksi pada umumnya. Magnet permanen bisa terpasang pada permukaan ataupun tertanam pada rotornya [3]. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator dapat berbentuk arus bolak balik (AC) dan arus searah (DC). Generator AC keluarannya dapat menghasilkan tegangan langsung sementara generator DC harus diolah dulu menggunakan komutator untuk menyearahkan output generator.

2.3. Konstruksi

a. Stator

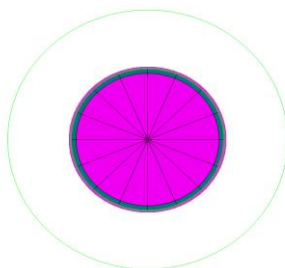
Stator terdiri dari stator core (inti) dan kumparan stator dan diletakkan pada frame depan dan belakang. Stator core dibuat dari beberapa lapis plat besi tipis dan mempunyai alur pada bagian dalamnya untuk menempatkan kumparan stator [4].



Gambar 2.1 Stator

b. Rotor

Rotor berfungsi untuk membangkitkan medan magnet. Rotor berputar bersama poros, karena gerakannya maka disebut generator dengan medan magnet berputar. Rotor terdiri dari : inti kutub (pole core), kumparan medan, slip ring, poros dan lain lain. Inti kutub berbentuk seperti cakram dan didalamnya terdapat kumparan medan [4].



Gambar 2.2. Rotor Dengan Permanen Magnet

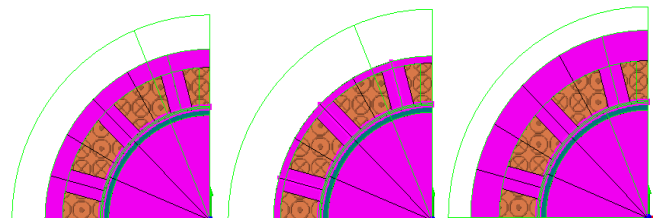
3. Desain Variasi Geometri Generator 12 Slot 8 Pole 1/4 Model

Pada pemodelan variasi tiga model harus inialisasi bahan material untuk setiap bagian dan di tetapkan pada 10 lilitan pada coil u , v , dan w. Pada laporan ini terdapat menggunakan tiga variasi (mm) di stator, teeth, dan rotor yang dihitung panjangnya dari titik tengah generator sampai ujung material dalam bentuk tabel dan model sebagai berikut ini:

- a. Variasi Geometri Stator pada (Tabel 3.1), (Gambar 3.1)
- b. Variasi Geometri Teeth berbentuk umbrella pada (Tabel 3.2), (Gambar 3.2.)
- c. Variasi Geometri Rotor pada (Tabel 3.3), (Gambar 3.3)

Tabel 3.1. Variasi Geometri Stator

Part	size (mm)		
	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Air Box	90	90	90
Stator	75	70	80
Coil	67	67	67
Magnet	49	49	49
Rotor	46	46	46
Air Gap Stator	50	50	50
Air Gap Rotor	49.5	49.5	49.5

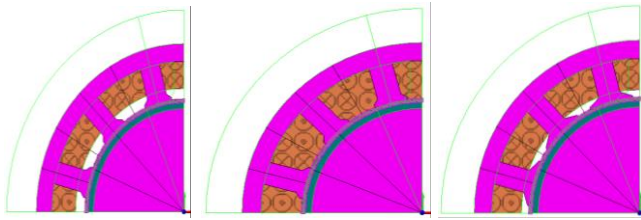


Gambar 3.1. Model Geometri Stator (a. Variasi 1 , b. Variasi 2 dan c. Variasi 3)

Tabel 3.2. Variasi Geometri Teeth berbentuk umbrella

Part	size (mm)		
	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Air Box	90	90	90
Stator	75	75	75
Coil	67	67	67
Magnet	49	49	49
Rotor	46	46	46
Air Gap Stator	50	50	50
Air Gap Rotor	49.5	49.5	49.5

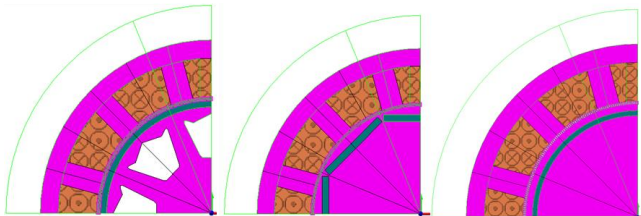
Air Gap Coil	55	Tidak Ada	53.5
--------------	----	-----------	------



Gambar 3.2. Model Geometri Stator Teeth berbentuk umbrella (a. Variasi 1, b. Variasi 2 dan c. Variasi 3)

Tabel 3.3. Variasi Geometri Rotor

Part	size (mm)		
	Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3
Air Box	90	90	90
Stator	75	75	75
Coil	67	67	67
Magnet	49	45	46
Rotor	46	49	49
Air Gap Stator	50	50	50
Air Gap Rotor	49.5	49.5	49.5
	Air Gap pada Rotor		



Gambar 3.3. Model Geometri Rotor (a. Variasi 1, b. Variasi 2 dan c. Variasi 3)

Sehingga pada model geometri permanen magnet 12 slot 8 pole ada tiga model yaitu model stator, model teeth, dan model rotor, yang salah satu model ada tiga variasi.

4. Hasil dan Analisa

Pada mendesain variasi geometri untuk menentukan nilai sudut mekanik seperti pada persamaan mekanik, kemudian dilanjutkan dengan menentukan nilai sudut listrik yang ditampilkan sebagai berikut :

$$\theta_{mechanic} = \frac{360}{\text{Multiplicity from slot and pole generation}} \quad (4.1)[5]$$

$$\theta_{electric} = \frac{Pole}{2} \times \theta_{mechanic} \quad (4.2)[5]$$

Dari persamaan diatas bahwa sudut mekanik jika di putar ¼ bagian maka bergerak 90° sedangkan pada sudut elektrik jika sudut mekanik diputar 90° maka akan menghasilkan 360° secara elektrik. Lalu beri data sudut mekanik dan elektrik setelah di solve maka mendapatkan hasil simulasi aliran fluxnya dalam bentuk weber (Wb) dan didapat juga hasil kerapatan flux. Pada sudut mekanik per 3° dimulai dari 0° hingga 90° rotor terhadap coil u, v, dan w. Sehingga mendapatkan 31 data. Secara detailnya bisa dilihat pada Tabel 4.1 yang merupakan model geometri stator dengan variasi 1 dalam satuan (Weber).

Tabel 4.1 Variasi 1 (Model Geometri Stator)

NO	MECHA ANGLE	ELECTRIC ANGLE	FLUX LINKAGE (Wb)		
			U	V	W
0	0	0	0.005652	0.000161	-0.0058
1	3	12	0.004915	0.001644	-0.00631
2	6	24	0.003969	0.003071	-0.00662
3	9	36	0.002835	0.004219	-0.00664
4	12	48	0.001406	0.00517	-0.00633
5	15	60	-7.32E-05	0.005892	-0.0058
6	18	72	-0.00155	0.006408	-0.00507
7	21	84	-0.00297	0.006705	-0.00412
8	24	96	-0.00412	0.006705	-0.00297
9	27	108	-0.00507	0.006406	-0.00155
10	30	120	-0.00581	0.005904	-7.55E-05
11	33	132	-0.00634	0.005179	0.001405
12	36	144	-0.00664	0.004225	0.002835
13	39	156	-0.00664	0.003076	0.003984
14	42	168	-0.00633	0.001646	0.00494
15	45	180	-0.00581	0.000163	0.005671
16	48	192	-0.00509	-0.00132	0.006203
17	51	204	-0.00414	-0.00276	0.006524
18	54	216	-0.003	-0.00391	0.006524
19	57	228	-0.00156	-0.00485	0.006203
20	60	240	-7.38E-05	-0.00558	0.005673
21	63	252	0.001414	-0.00611	0.00495
22	66	264	0.002853	-0.00644	0.004006
23	69	276	0.004003	-0.00644	0.002856
24	72	288	0.004947	-0.00611	0.001417
25	75	300	0.00567	-0.00558	-7.06E-05
26	78	312	0.0062	-0.00485	-0.00156
27	81	324	0.006521	-0.00391	-0.00299
28	84	336	0.00652	-0.00276	-0.00414
29	87	348	0.006198	-0.00132	-0.00509

30	90	360	0.005667	0.000164	-0.00582
----	----	-----	----------	----------	----------

Setelah mendapatkan nilai flux linkage dilanjutkan dengan mencari nilai tegangan fasa 3 coil dengan rumus :

Tegangan pada masing-masing kumparan

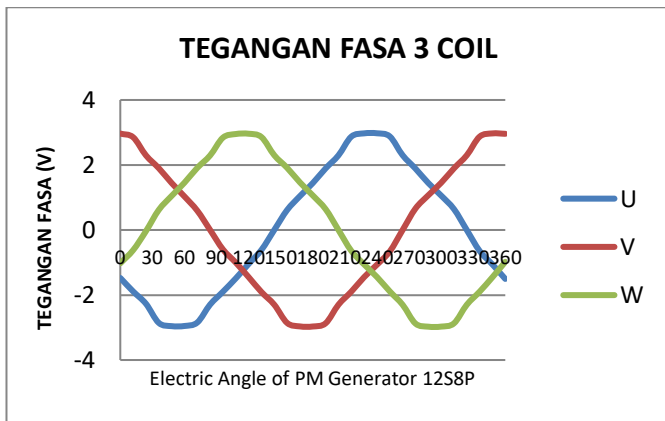
$$E_{coil} = \frac{\Delta \lambda}{\Delta t}$$

Perubahan Flux linkage (Wb) $\lambda_2 - \lambda_1$

Rentang waktu = 0.5 ms = 0.0005 sekon

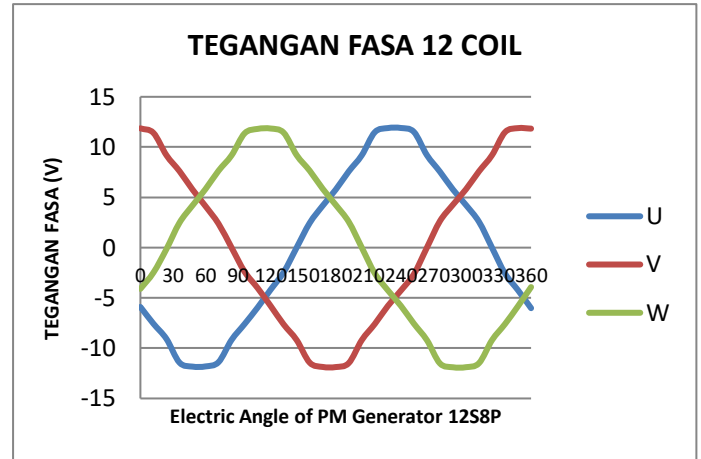
(4.3)[6]

Dimana tegangan pada tiap kumparan didapatkan dari nilai perubahan fluks linkage tiap satuan waktu (milisekon). Setelah mendapatkan data nilai tegangan fasa 3 coil di 31 data maka akan mendapatkan grafik nilai tegangan fasa 3 coil pada Gambar 4.1 sebagai berikut :



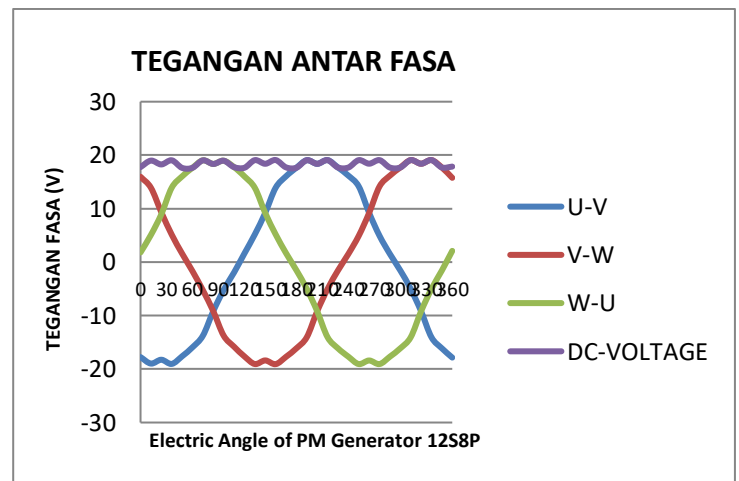
Gambar 4.1. Data Tegangan Fasa 3 Coil (Variasi 1 (Model Geometri Stator))

Setelah mendapatkan nilai tegangan fasa 3 coil maka untuk mendapatkan nilai tegangan fasa 12 coil hanya dikalikan empat untuk bergerak 360⁰ pada mechanical angel melalui rotor. Setelah mendapatkan data nilai tegangan fasa 12 coil di 31 data maka akan mendapatkan grafik nilai tegangan fasa 12 coil pada Gambar 4.2 sebagai berikut :



Gambar 4.2. Data Tegangan Fasa 12 Coil (Variasi 1 (Model Geometri Stator))

Setelah mendapatkan nilai tegangan fasa 12 coil merupakan tegangan fasa generator full model. Maka untuk mendapatkan nilai tegangan antar fasa dapat dari selisih tegangan antar fasa coil U, coil V, coil W dan didapat nilai tegangan DC rata-rata. Nilai tegangan DC didapatkan dari nilai tegangan fasa absolut tertinggi pada setiap sudut elektrik yang menghasilkan tegangan antar fasa. Setelah mendapatkan data nilai tegangan antar fasa di 31 data maka akan mendapatkan grafik nilai tegangan antar fasa pada Gambar 4.3. sebagai berikut :



Gambar 4.3. Data Tegangan Antar Fasa (Variasi 1 (Model Geometri Stator))

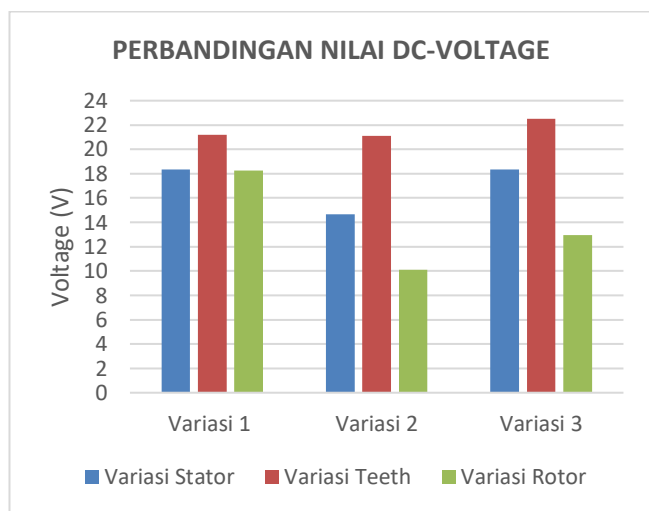
Dari data tegangan DC pada Tabel 4.7 didapatkan nilai tegangan DC rata-rata sebesar 18.345 V. Dari nilai rata-rata tersebut dapat dihitung nilai konstanta Ke (Konstanta Buck EMF) yaitu nilai tegangan tiap satu putaran dengan rumus :

$$K_e = \frac{V_{DC \text{ rata-rata}}}{\omega} \quad (4.4)[6]$$

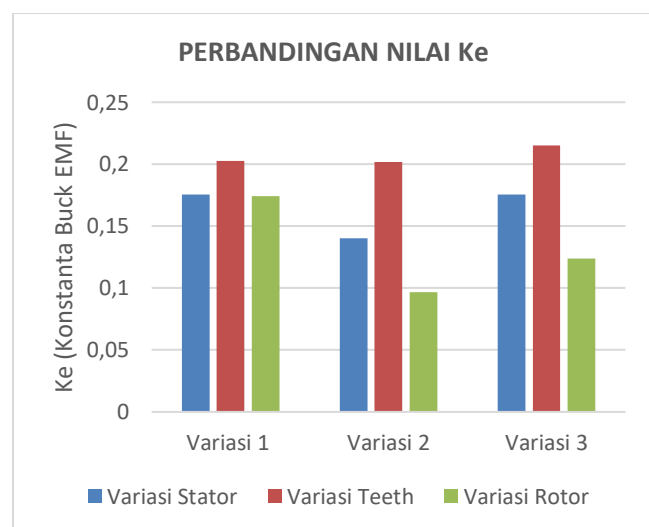
Nilai ω didapat pada rumus sebagai berikut:

$$\omega = RPM. 2 \pi. f \quad (4.5)[6]$$

Nilai f didapat $\frac{1}{T}$, nilai T dimana rentang waktu dalam setiap 3° adalah 0.5 ms sehingga untuk memutar 360° atau satu putaran membutuhkan 120 pergerakan maka didapatkan satu perioda selama 60 ms atau 0.06 s. Jika $60 \text{ ms} = 0,06 \text{ s}$, sehingga nilai $\frac{1}{T} = 16,6667 \text{ Hz}$. Jika nilai RPM adalah 1000 RPM, maka nilai ω adalah 104,6667 rad/s. Setelah mendapat nilai ω , maka nilai K_e (konstanta buck EMF (*Electro Motif Force*)) bisa didapat dengan nilai 0,175. Setelah mendapatkan nilai K_e dengan cara yang sama untuk mencari nilai K_e pada variasi lainnya. Setelah mendapatkan nilai K_e dan DC-VOLTAGE rata-rata di sembilan variasi di 3 model, maka bisa menampilkan grafik perbandingan di Sembilan variasi tersebut sebagai berikut pada Gambar 4.4. dan Gambar 4.5. :



Gambar 4.4. Pebandingan Nilai DC-VOLTAGE



Gambar 4.5. Pebandingan Nilai Ke (Konstanta Buck EMF)

5. Kesimpulan

Generator Permanen Magnet 12 slot dan 8 pole 3 fasa dirancang $\frac{1}{4}$ model agar lebih cepat dalam proses *solving*, namun hasil simulasi setara dengan hasil full model karena disimulasikan menggunakan fungsi *Boundary Condition*. Generator Permanen Magnet 12 slot dan 8 pole yang dirancang memiliki ketiga variasi yaitu : variasi stator , variasi teeth, dan variasi rotor. Coil pada stator mempengaruhi tegangan keluaran, dimana semakin banyak lilitan maka semakin besar tegangan yang dihasilkan, dan sebaliknya.. Generator Permanen Magnet 12 slot dan 8 pole disimulasikan dengan putaran per 3° dari 0° sampai 90° sehingga didapatkan 31 data. 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. Dalam hasil data simulasi perbandingan nilai K_e (Konstanta Buck EMF) ketiga variasi yang terbesar adalah variasi teeth yang bernilai 0,202519, 0,201568 , dan 0,2151.

References

- [1] <http://ebtke.esdm.go.id/post/2018/04/27/1945/menjuju.ra.sio.elektifikasi.99.persen.pada.2019..Retrieved> April 27, 2018.HUMAS EBTKE (**internet**).
- [2] Jati, D.W., Sukmadi, T., Karnoto, 2011. Perancangan Generator Fluks Aksial Putaran Rendah Magnet Permanen Jenis Neodymium (NdFeB) Dengan Variasi Celah Udara.
- [3] Azka, M., 2013. Analisa Perancangan dan Simulasi Generator Sinkron Magnet Permanen Dengan Rotor Berlubang.
- [4] Febri Nuryanto, Acuk.,2012,MEMBUAT GENERATOR PERMANEN KECEPATAN RENDAH.Universitas Muhammadiyah Surakarta:Surakarta.
- [5] Windarto J, Sudjadi, Karnoto, Sukmadi T, Santoso I and Desmiarti A.2018. Effect of Geometry Generator Variation Design 12 Slot 8 Pole on Power Efficiency Design. J Electr Eng Electron Technol:Semarang (**Jurnal**).
- [6] Anonim, 2014, Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin, Lentera Angin Nusantara, Ciheras, Jawa Barat.