

Aspek Rancangan Generator Magnet Permanen Fluks Radial Kecepatan Rendah

Meggi Octa Suhada¹⁾, Indra Yasri²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293
*Email : meggi.suhada4510@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) is one of the main wind power generation components that can be developed. In this research will be examined aspect of PMSG design based on MagNet Infolytica Trial Edition software is performed. Aspects of design that will be made refer to the stages to be performed on software Magnete Infolytica. The design using a combination of 18 slots 16 pole draft is then modeled on the MagNet Infolytica Trial Edition software. This generator has expected capacity 400 watts of power and 450 rpm of speed. The following step is to simulate the model design referring to the specifications mentioned at the beginning. By completing all the steps it can be concluded that Design proses on SolidWorks software is targeted for 1 set of slot and pole, then the design model will be extended to become a whole complete design import into the MagNet Infolytica software can be rotated, this proses able to save a lot of time of design, Choosing the correct size of mesh will impact to accuracy of the output waveform, either voltage, current or torque, The initial model simulation results are required some improvements, because of time efficiency matters, and The winding configuration is unique for each of slot and pole combinations. Hopefully by complied to the above overall stages the good result able to achieved.

Keywords : MagNet Infolytica, PMSG, Generator, 18S16P

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi yang pesat pada saat ini telah mendorong masyarakat menjadi ketergantungan dengan listrik. Dengan kondisi sumber daya alam yang semakin menipis, menuntut para peneliti untuk dapat menghasilkan energi terbarukan yang dapat diperoleh dari lingkungan sekitar, misalnya air, gelombang laut, radiasi matahari, panas bumi, angin dan lainnya. Energi angin merupakan salah satu potensi besar untuk dapat dikembangkan. Dengan kecepatan angin yang fluktuatif di Indonesia bukan berarti potensi energi yang terkandung didalamnya tidak dapat dikonversi menjadi energi listrik, tetapi tetap dapat dimanfaatkan dan diperlukan generator yang sesuai dengan karakteristik kecepatan angin tersebut (Pramono et al., 2015).

Salah satu bagian penting dari perangkat sumber listrik energi terbarukan yang dapat dikembangkan adalah generator sinkron magnet permanen / *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). Generator dengan magnet permanen memiliki tingkat efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan generator induksi, karena tidak ada rugi-rugi eksitasi yang dihasilkan sehingga banyak digunakan terutama untuk turbin angin.

Software merupakan salah satu alat untuk mempermudah seorang perancang untuk melakukan analisa dan menghasilkan rancangannya.

Salah satu perangkat lunak yang digunakan dalam pendesaianan generator adalah perangkat lunak *MagNet Infolytica*. Perangkat lunak *MagNet Infolytica* digunakan membuat rancangan generator beserta material-material yang ingin digunakan pada generator. Perangkat lunak *MagNet Infolytica* mampu menganalisa hasil rancangan generator yang telah dibuat untuk mengetahui apakah rancangan generator tersebut sudah sesuai dengan yang diinginkan. Tapi perangkat lunak ini memiliki kekurangan yakni kurangnya *tools* yang digunakan untuk membuat rancangan, sehingga akan lebih baik menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*) seperti SolidWorks terlebih dahulu untuk membuat bagian yang lebih detail dari rancangan generator.

2. LANDASAN TEORI

2.1. Prinsip Kerja PMSG

Prinsip kerja PMSG hampir sama dengan generator sinkron. Penggunaan magnet permanen menghasilkan medan magnet yang tetap sehingga tidak memerlukan pencatutan arus searah untuk dapat menghasilkan medan magnet. Pada PMSG, medan magnet pada *rotor* dihasilkan oleh magnet permanen. Sedangkan fluks diperoleh dari magnet permanen yang telah diberikan perlakuan khusus sehingga arah garis-garis gaya magnet keluar dari kutub magnet secara axial atau radial (Strous, 2010).

2.2. Perhitungan Matematis Dimensi Utama PMSG

Dimensi utama dari PMSG biasanya didefinisikan sebagai produk D^2L , yang mendefinisikan L = Panjang Intidan D = Diameter Celah Udara. Produk ini terutama ditentukan oleh *specific electric loading* (ac) dan *spesifik magnetic loading* (B_g), yang dapat diselesaikan dengan rumus berikut (Hamdi, 1996).

$$D^2L = \frac{Q}{1,11 \cdot \pi^2 \cdot ac \cdot k_w \cdot n_s \cdot 10^{-3}} \quad (2.1)$$

Dimana:

Q = Daya semu listrik (KVA) $\rightarrow Q = P / \cos \theta$
 P = Keluaran daya listrik (KW)
 k_w = Faktor belitan
 n_s = Rotasi per detik (rps)
 $\cos \theta$ = Power faktor

Untuk mesin listrik skala kecil nilai ac berada dikisaran 10000 – 40000 A/m. Pilihan ac tergantung pada jenis isolasi yang digunakan. Nilai ac yang besar menghasilkan rugi tembaga yang lebih tinggi dan kenaikan suhu yang tinggi. *Specific magnetic loading* (B_g) adalah kerapatan fluks rata-rata diatas celah udara pada mesin. Total fluks magnetik di celah udara dari mesin disebut *total magnetic loading*. B_g tidak begitu bervariasi dari satu mesin ke mesin lain, karena sifat jenuh baja inti yang hampir sama.

Pemisahan nilai D dan L dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kecepatan perifer *rotor* dan momen inersia. Untuk PMSG dengan kecepatan rendah, semakin rendah kecepatan semakin besar diameter yang dibutuhkan untuk mengakomodasi semakin banyaknya jumlah kutub. Perhitungan D dan L difasilitasi dengan memilih ratio koefisien $K_L = L/D$ yang dimulai dari 0,14 – 0,5 untuk PMSG *direct-couple* (Irasari et al., 2013). Semua nilai awal dari persamaan diatas adalah $Q = 470$ VA, $D = 120$ mm, $k_w = 0,945$, $n_s = 7,5$ rps, $ac = 10.000$ A/m, $B_g = 0,9$ T, $\cos \theta = 0,85$ emisahan nilai D dan L dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kecepatan perifer *rotor* dan momen inersia. Untuk PMSG dengan kecepatan rendah, semakin rendah kecepatan semakin besar diameter yang dibutuhkan untuk mengakomodasi semakin banyaknya jumlah kutub. Perhitungan D dan L difasilitasi dengan memilih ratio koefisien $K_L = L/D$ yang dimulai dari 0,14 – 0,5 untuk PMSG *direct-couple* (Irasari et al., 2013). Semua nilai awal dari persamaan diatas adalah $Q = 470$ VA, $D = 120$ mm, $k_w = 0,945$, $n_s = 7,5$ rps, $ac = 10.000$ A/m, $B_g = 0,9$ T, $\cos \theta = 0,85$.

2.3. Ukuran Stator dan Rotor

Dimensi *stator* dan *rotor* adalah saling terkait sehingga perhitungannya adalah dilakukan secara simultan. Dimensi *stator* mengacu pada gambar 2.1. Dimensi tiap bagian ini dihitung dengan persamaan berikut:

1. Derajat *slot*, θ_s

$$\theta_s = \frac{(2 \cdot \pi)}{N_s} \quad (2.2)$$

2. Derajat *pole*, θ_p

$$\theta_p = \frac{(2 \cdot \pi)}{p} \quad (2.3)$$

Dimana θ_s = Derajat *slot*, θ_p = Derajat *pole*, N_s = Jumlah *slot* dan p = Jumlah *pole* (Strous, 2010).

3. *Slot pitch*, τ_s

$$\tau_s = r_{si} \cdot \theta_p \quad (2.4)$$

Dengan r_{si} = jari-jari dalam *stator* yaitu 60 mm.

4. *Coil pitch*, τ_c

$$\tau_c = \text{coil span} \cdot \tau_s \quad (2.5)$$

Nilai dari *coil span* adalah 1 yang didapat dari *coil span* = $\text{int} (N_s/p)$. Dimana N_s = Jumlah *slot*.

5. Lebar gigi *stator*, W_{ts}

$$W_{ts} = \frac{p \cdot B_g \cdot A_{pr}}{N_s \cdot L_i \cdot B_{ts}} \quad (2.6)$$

Nilai $B_{ts} = 1,55$ T dan A_{pr} = area kutub *rotor* (Irasari et al., 2013).

6. Menghitung area kutub *rotor*, A_{pr}

$$A_{pr} = \tau_r \cdot L_i \quad (2.7)$$

7. *Rotor pole pitch*, τ_r

$$\tau_r = \tau_p \cdot 0,75 \quad (2.8)$$

8. *Stator pole pitch*, τ_p

$$\tau_p = \frac{\pi \cdot D}{p} \quad (2.9)$$

9. *Effective core lenght*, L_i

$$L_i = L \cdot k_{stack} \quad (2.10)$$

k_{stack} adalah faktor penumpukan *stator* laminasi = 0,9 – 0,95 untuk 0,35 – 0,5 mm ketebalan laminasi (Puji Irasari).

10. *Rotor diameter* D_r ,

$$D_r = D - 2 \cdot l_g \quad (2.11)$$

Dengan l_g = panjang celah udara = 1 mm

11. *Stator yoke* Y_s ,

$$Y_s = \frac{\phi}{2 \cdot L_i \cdot B_{ts}} \quad (2.12)$$

Nilai dari kerapatan fluks di gigi *stator* B_{ts} adalah kisaran 1,5 – 1,7 T. Nilai yang lebih tinggi bisa menyebabkan kejenuhan (Irasari et al., 2013).

2.4. Rancangan Rangkaian Magnet

Kutub magnet memiliki polaritas, dimana polaritas dapat di atur sesuai dengan kebutuhan, namun untuk rancangan ini dengan jumlah kutub 16, perlu dihitung luas area perkutub agar didapatkan nilai fluks rata-rata dicelah udara, sesuai dengan rancangan magnet permanen, maka dapat diselesaikan dengan persamaan :

1. Luas area perkutub, S_m

$$S_m = \pi \cdot \frac{D_i + D_a}{2} \cdot \frac{1}{P} \cdot L_h \quad (2.13)$$

2. Luas ekuivalen gap, S_g

$$S_g = \pi \cdot \frac{D_i + D_c}{2} \cdot \frac{1}{N_s} \cdot L_a \quad (2.14)$$

3. Koefisien permeance, P_c

$$P_c = \frac{L_m \cdot S_g}{\sigma_g \cdot S_m} \cdot \frac{k_f}{k_r} \quad (2.15)$$

Nilai koefisien kebocoran fluks (k_f) merupakan rasio dari toral fluks magnet yang dihasilkan dari magnet pada rangkaian tertentu dengan fluks *linkage* yang terdapat pada celah udara, nilai dari koefisien kebocoran fluks (k_f) berada pada rentang 1,05 – 2. Koefisien kebocoran emf (*electromotive force*) (k_r) merupakan rasio dari total mmf *magnetomive force* yang terdapat pada celah udara, nilai dari koefisien kebocoran emf berada pada rentang nilai 1 – 1,2 (Itomi, 1992).

Menghitung nilai kemiringan kurva demagnetisasi (μ_r) di kuadran II untuk material magnet baik magnet NdFeB dan juga magnet Ferite. Nilai B_r merupakan nilai kerapatan fluks remanen (T), sedangkan H_c merupakan nilai dari *coercive force* (A/m).

4. Kemiringan kurva demagnetisasi, μ_r

$$\mu_r = \frac{B_r}{H_c} \cdot \frac{10^7}{4 \cdot \pi} \quad (2.16)$$

Titik pengoperasian generator harus selalu ada diatas garis demagnetisasi magnet. Oleh karena itu, titik pengoperasian (B_d) diberikan pada titik pertemuan *permeance*.

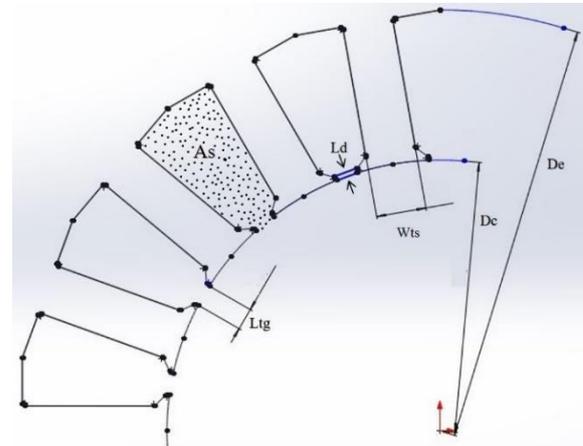
5. Kerapatan fluks di titik pengoperasian generator, B_d

$$B_d = \frac{P_c \cdot B_r}{P_c + \mu_r} \quad (2.17)$$

6. Kerapatan fluks rata-rata dalam celah udara, B_g

$$B_g = \frac{B_d \cdot S_m}{k_f \cdot S_g} \quad (2.18)$$

2.5. Rancangan Kumparan Stator



Gambar 1. Bentuk rancangan *stator*.

Luas untuk ukuran satu buah slot perlu dihitung, karena dengan mengetahui luas lubang slot maka dapat diketahui berapa jumlah lilitan yang dapat di isi dalam satu buah slot. Untuk dapat mengetahui luas lubang slot (A_s), maka dapat selesaikan dengan rumus (Itomi, 1992):

1. Luas lubang slot, A_s

$$A_s = \pi \frac{D_e^2 - D_c^2}{4} \cdot \frac{1}{N_s} - L_tg \cdot Lt - \frac{\pi \cdot D_c - Ltg \cdot N_s}{N_s} \cdot Lt - W_{ts} \cdot \frac{D_e - D_c - 2 \cdot Lt}{2} \quad (2.19)$$

2. Luas area slot (A_0) yang dapat terisi oleh lilitan

$$A_0 = A_s \cdot \frac{S_f}{100} \quad (2.20)$$

Dimana :

- Db = Diameter luar *stator*
- Dc = Diameter dalam *stator*
- De = Diameter dalam lubang *slot*
- Dr = Diameter *rotor*
- Di = Diameter luar magnet
- Da = Diameter dalam magnet
- l_g = Air gap *stator* dan *rotor*
- Lm = Tebal magnet
- Lt = Tinggi *teeth*
- Ltg = Jarak antar *slot*
- Lh = Panjang magnet
- La = Panjang inti *stator* dan *rotor*

Dengan besar nilai *coil fill factor* (S_f) ditentukan berdasarkan cara melilit kumparan pada *teeth stator*. Nilai *fill factor* (S_f) = faktor ruang kawat dalam (%) pada umumnya 30% -50%. (Irasari et al., 2013). Besar nilai *fill factor* (S_f) juga akan dipengaruhi oleh adanya keterbatasan proses yaitu pada umumnya masih melilit dengan

menggunakan tangan dan juga pengaruh adanya insulator (Itomi, 1992).

3. Jari-jari kawat penghantar, r_{cu}

$$r_{cu} = \sqrt{\frac{A0 \cdot Sf}{2 \cdot nc \cdot \pi}} \quad (2.21)$$

4. Jumlah lilitan (Z) yang dapat diisi dalam slot :

$$Z = \frac{A0}{\frac{\pi \cdot (d \cdot 10^{-3})^2}{4}} \quad (2.22)$$

2.6. Persamaan Tegangan, Daya Keluaran, dan Torsi

Besarnya kerapatan fluks magnet celah udara (B_g) berpengaruh langsung pada besarnya EMF yang dibangkitkan. Untuk tegangan induksi yang dibangkitkan, tegangan efektif dan tegangan 3 fasa, didapat dengan rumus (Ashraf et al., 2013):

1. Tegangan induksi antar fasa, E_{ph}

$$E_{ph} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot k_w \cdot n_c \cdot \Phi \frac{N_s}{N_{ph}} \quad (2.24)$$

2. Frekuensi PMSG (f)

$$f = \frac{n \cdot p}{120} \quad (2.25)$$

3. Torsi generator (T)

Besarnya nilai torsi dan daya keluaran yang didapat dihitung dengan persamaan (Kenjo dan Nagamori, 1985).

$$\omega = \frac{n \cdot 2 \cdot \pi}{60} \quad (2.26)$$

$$K_e = \frac{V_{dc}}{\omega} \text{ dimana } K_t = K_e \quad (2.27)$$

$$T = K_t \cdot I \quad (2.28)$$

4. Daya generator (P)

Besarnya Daya (P) pada PMSG dapat dihitung dengan rumus (Hanselman, 2006) :

$$P_{in} = T \cdot \omega \quad (2.31)$$

$$P_{out} = V \cdot I \quad (2.32)$$

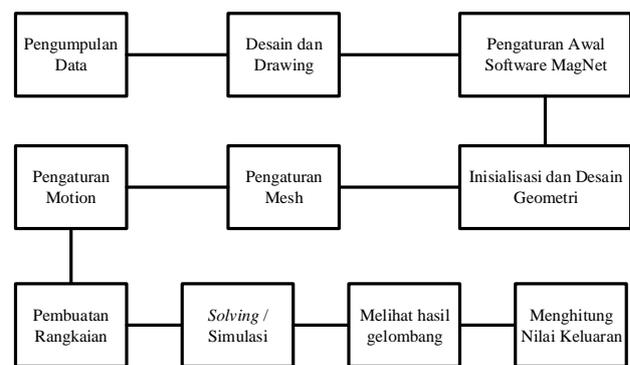
5. Efisiensi generator (η)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.33)$$

3. METODE RANCANGAN GENERATOR SINKRON MAGNET PERMANEN

Untuk dapat melakukan penelitian menggunakan *software* MagNet Infolytica, terlebih dahulu harus memahami alur dalam menggunakan *software* ini, untuk menghindari pekerjaan yang sia-sia, maka secara garis besar langkah-langkah untuk melakukan simulasi dengan *software* MagNet dapat dilihat pada gambar 2 berikut.

Metode yang ada sudah disederhanakan untuk menghindari pengerjaan yang berulang-ulang, sehingga dalam menggunakan *software* ini dapat memberikan efisiensi waktu selama memulai tahapan merancang hingga selesai simulasi dan melakukan perhitungan. Tahapan-tahapan ini belumlah sempurna, karena masih banyak cara lain agar dapat memberikan efisiensi waktu yang lebih baik. Namun dengan tahapan-tahapan ini sudah bisa menjadi rujukan untuk penggunaan *software* bagi seorang pemula.



Gambar 2. Tahapan-tahapan simulasi generator dengan *software* MagNet Infolytica Trial Edition.

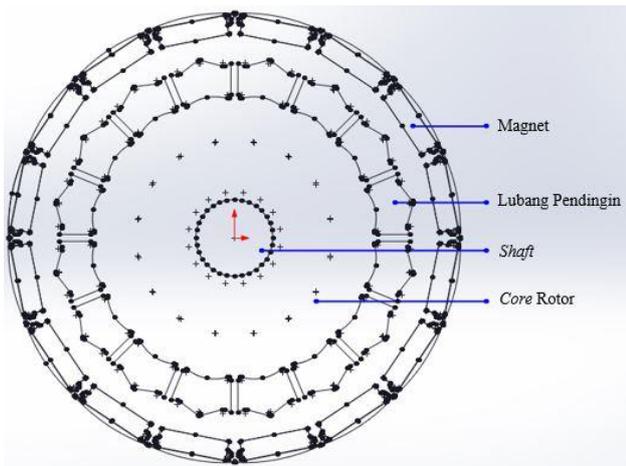
4. PENJABARAN TAHAPAN SIMULASI GENERATOR PMSG

4.1. Pengumpulan Data

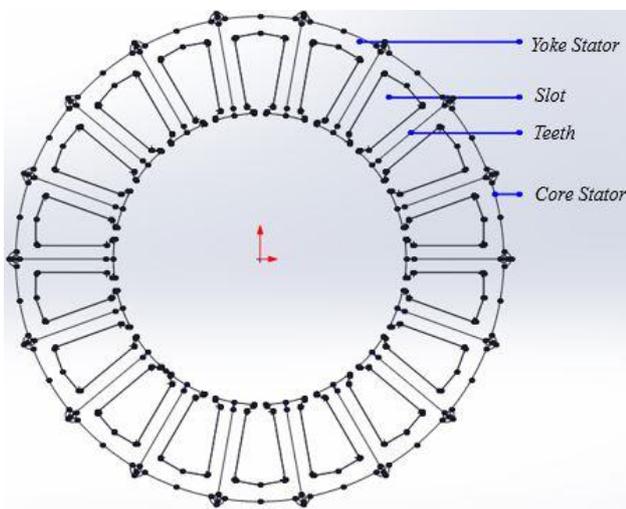
Pengumpulan data terlebih dahulu dilakukan sebelum memulai sebuah penelitian. Data didapat dari berbagai sumber baik itu secara kualitatif atau kuantitatif. Dengan menggunakan sumber yang ada, maka didapat hasil yang dibutuhkan untuk dapat melakukan sebuah penelitian. Pada penelitian ini menggunakan model rancangan PMSG 18S16P memiliki diameter luar *stator* (D_b) 200 mm diameter dalam *stator* (D_c) 120 mm, panjang magnet (L_h) 18 mm, tebal magnet (L_m) 5 mm, tebal yoke (Y_s) 8 mm dan panjang inti (L_a) 47 mm, bentuk rancangan model 3D yang digambar pada *software* SolidWorks.

4.2. Design and Drawing

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, maka selanjutnya data yang didapat akan di *design* pada *software* CAD, pada penelitian ini menggunakan *software* SolidWorks dengan tujuan agar mempermudah dalam merancang bagian-bagian yang memiliki ketelitian yang sulit dilakukan pada *software* MagNet Infolytica Trial Edition. Untuk tampilan hasil rancangan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Rancangan model rotor.



Gambar 4. Rancangan model stator.

4.3. Pengaturan Awal Software MagNet Infolytica

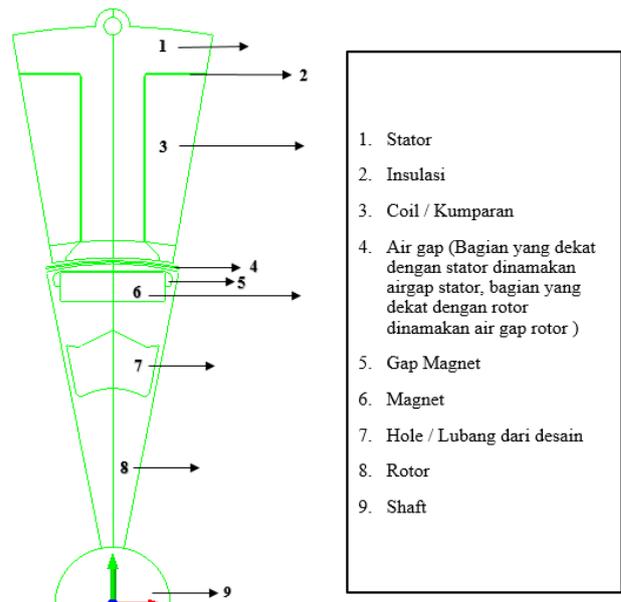
Langkah awal yang harus dilakukan adalah mengatur nilai satuan yang akan digunakan, apakah itu *meter*, *centimeter*, *milimeter*, atau yang lainnya. Pada penelitian ini menggunakan satuan *milimeter* (mm). Hasil rancangan yang di buat pada *software* SolidWorks akan di *import* ke *software* MagNet Infolytica agar hasil rancangan

dapat di bentuk ke model 3D sehingga nantinya siap untuk disimulasikan.

4.4. Inisialisasi dan Rancangan Geometri

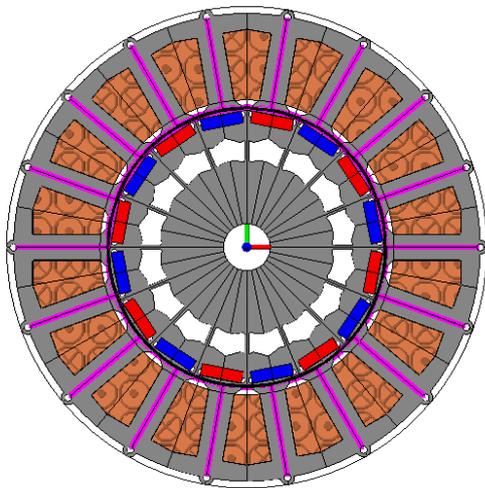
Inisialisasi merupakan salah satu langkah untuk memberikan penamaan terhadap komponen-komponen yang akan dibuat pada *software* MagNet Infolytica. Inisialisasi pada rancangan PMSG 18S16P ni terdiri dari komponen material inti, materil magnet, material *coil*, serta material-material lain yang akan digunakan pada simulasi nantinya. Bentuk rancangan saat akan di *import* ke *software* magnet dapat dilihat pada gambar 5 berikut.

Dengan merancang komponen *stator* dan *rotor* satu bagian saja, akan mempermudah peneliti untuk melakukan proses simulasi sehingga lebih menghemat waktu semenjak memulai dari awal simulasi, hingga *output* hasil simulasi diketahui.



Gambar 5. Rancangan awal model PMSG 18S16P.

Hasil akhir rancangan dapat dilihat pada gambar 6 berikut.



Gambar 6. Model rancangan PMSG 18S16P pada software MagNet Infolytica.

4.5. Pengaturan Mesh

Software MagNet Infolytica menggunakan metode simulasi *Finite-Element Methode* (FEM) yang dimana metode ini memecahkan masalah medan elektromagnetik yang kompleks, sehingga mampu diselesaikan dengan model analisis, terutama bagian yang berkaitan dengan sifat non-linear bahan. Metode ini pada dasarnya mendeskripsikan bagian penampang melintang (*cross section*) mesin (atau *volume* pada kasus analisis 3D) menjadi area *volume* kecil yang disebut *finite element* atau *mesh* (Anam et al., 2016).

Dengan mempertimbangkan waktu simulasi dan akurasi hasil yang didapat, maka pemilihan ukuran *mesh* penting untuk dipilih, semakin kecil ukuran *mesh* yang digunakan, semakin akurat data yang didapat, namun membutuhkan simulasi yang cukup lama. Berdasarkan pengalaman bagian yang akan diberikan *mesh* adalah komponen *stator*, *rotor*, magnet dan *air gap*, namun untuk *air gap* nilai *mesh* ditetapkan 0,5 mm. Untuk komponen *stator* dan *rotor* memiliki ukuran yang sama. Untuk ukuran *mesh* tiap komponen dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Pengaruh ukuran *mesh* terhadap waktu dan tegangan kaluaran.

Komponen	Kombinasi 1			Kombinasi 2			Kombinasi 3		
	Mesh	Waktu	V0	Mesh	Waktu	V0	Mesh	Waktu	V0
Stator	2 mm			2 mm			1 mm		
Rotor	2 mm	17 m	125.43	2 mm	19 m	125.29	1 mm	20 m	125.38
Magnet	1 mm	15 d		0.5 mm	30 d		0.5 mm	15 d	
Air Gap	0.5 mm			0.5 mm			0.5 mm		

4.6. Pengaturan Motion

Membuat *motion* merupakan suatu *tools* pada software MagNet Infolytica yang digunakan untuk menggerakkan komponen yang diinginkan pada rancangan

yang akan disimulasikan. Bagian komponen yang diputar adalah bagian *rotor* (*rotor core*, magnet dan *shaft*). Setelah memilih komponen yang akan diputar, selanjutnya mengatur kecepatan rotasi sesuai dengan kecepatan putar yang diinginkan.

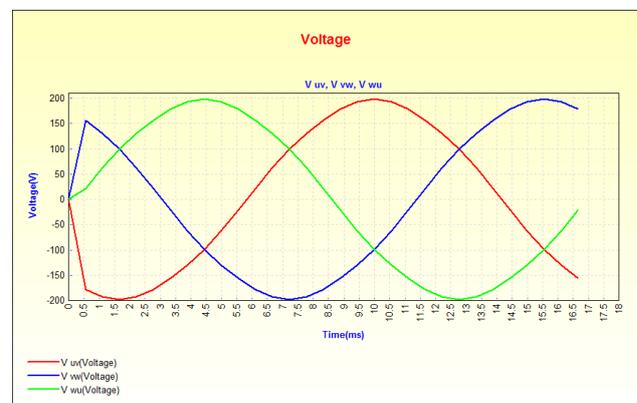
Pada penelitian ini kecepatan yang akan diuji adalah 150, 300, 450, 600 dan 750 rpm. Namun nilai rpm akan diubah kedalam *degree per second* untuk menyesuaikan dengan *input* parameter yang ada pada software MagNet Infolytica.

4.7. Pembuatan Rangkaian

Langkah dalam pembuatan rangkaian adalah dengan mengklik pada menu bar *Window – New Circuit Window*. Tahapan pembuatan rangkaian merupakan tahapan untuk menyusun *coil* yang ada untuk menjadi sebuah rangkaian yang terhubung di tiap fasanya. Untuk melakukan simulasi uji tanpa beban dan simulasi uji beban R memiliki rangkaian yang berbeda.

4.8. Solving / Simulasi

Langkah pertama untuk mendapatkan hasil dari rancangan generator adalah dengan mengklik *solve* pada menu bar, setelah itu mengklik *Transient 2D with Motion* untuk mensimulasikan hasil rancangan, yang nantinya hasil data simulasi yang didapatkan akan dimasukkan ke Microsoft Excel untuk diolah lebih lanjut.



Gambar 7. Hasil simulasi gelombang keluaran tegangan antar fasa

4.9. Menghitung Nilai Keluaran

Nilai keluaran tegangan antar fasa akan di masukkan ke Microsoft Excel agar dapat diolah dan pada rancangan ini menghasilkan tegangan antar fasa rata-rata sebesar 125,65 volt saat dilakukan simulasi uji tanpa beban, dan arus 2,42 ampere saat simulasi uji beban R sebesar 65,2 ohm untuk kapasitas generator 400 watt dengan kecepatan 450 rpm (Suhada, 2018).

5. KESIMPULAN

Berdasarkan tahapan-tahapan simulasi rancangan generator magnet permanen fluks radial 18S16P dengan kapasitas 400 watt dengan kecepatan 450 rpm dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Selama merancang pada *software* SolidWorks cukup membuat hasil rancangan untuk 1 bagian *slot* dan *pole*, karena hasil rancangan yang di *import* ke *software* MagNet Infolytica dapat di *rotate*, sehingga lebih hemat waktu.
2. Pemilihan ukuran besaran *mesh* mempengaruhi akurasi hasil gelombang keluaran, baik tegangan, arus maupun torsi.
3. Tahapan-tahapan simulasi diatas belumlah sempurna, karena untuk dapat mengefisiensikan waktu selama proses merancang, simulasi dan perhitungan harus menggunakan program *Visual Basic Application* (VBA).
4. Untuk konfigurasi belitan, setiap jenis kombinasi *slot* dan *pole* memiliki konfigurasi belitan yang berbeda (Hendershot and Miller, 1994).

DAFTAR PUSTAKA

- Anam, M.C., Nurhadi, Irfan, M., 2016. Perancangan Generator 100 Watt Menggunakan Software Elektromagnetik Infolytica.
- Ashraf, M.M., Malik, T.N., Zafar, S., Raja, U.N., 2013. Design and Fabrication of Radial Flux Permanent Magnet Generator for Wind Turbine Applications.
- Hamdi, E.S., 1996. Design of Small Electrical Machine. Willey.
- Hanselman, D.C., 2006. Brushless Permanent Magnet Motor Design, Second Edition. Magna Physics Publishing, Ohio, USA.
- Hendershot, J.R., Miller, T.J.E., 1994. Design of Brushless Permanent-Magnet Machines. Magna Physic Publishing & Oxford University Press, USA.
- Irasari, P., Alam, H.S., Kasim, M., 2013. Analytical Design Method of 3 Kw, 200 RPM Permanent Magnet Generator for Renewable Energy Power Plant Applications. Research Center for Electrical Power and Mechatronics, Indonesian Institute of Sciences 12.
- Itomi, H., 1992. Manual Desain Motor Praktis. Toshiba.
- Kenjo, T., Nagamori, S., 1985. Permanent-Magnet and Brushless DC Motors. Oxford University, New York.
- Pramono, B.W., Warindi, Hidayat, A., 2015. Perancangan Mini Generator Turbin Angin 200 W Untuk Energi Angin Kecepatan Rendah.
- Strous, I.T.D., 2010. Design of a Permanent Magnet Radial Flux Concentrated Coil Generator for a Range Extender Application.
- Suhada, M.O., 2018. Analisa Rancangan Generator Magnet Permanen Fluks Radial Kecepatan Rendah Berbasis MagNet 7.5.