

Perancangan Motor Stepper Variable Reluctance untuk Menggerakkan Saklar Pemindah

Yangly Pamma Refli*, Budhi Anto**

*Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, **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 : yangly.pamma@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The availability of electrical energy is an important thing needed in every life. To control if there is a power failure happened from the main supply (PLN) a device is needed, so that the reliability of the transmission system is maintained. This tool is known as the transfer switch the cam switch. When there is a disruption to the PLN electricity then the cam switch will automatically be moved to the generator supply, if the PLN electricity has improved then the cam switch is again moved to the PLN contact, and to move the cam switch is used an electric motor. In this research designed a stepper variable reluctance motor as a cam switch driver. Stepper variable reluctance motors are designed using magnet infolytica software with a combination of 6 stator poles and 4 rotor gears. The reluctance 6/4 stepper variable motor is expected to be able to drive the cam switch with a torque of 0.3 Nm and a 30-degree rotor step length. After being analyzed, it was obtained that the optimal dimension values with outer dimension of the stator 122 mm, inner diameter of the stator 72 mm, outer diameter of the rotor 71 mm and the machine length is 44.5 mm with 800 turns. The results of the analysis of the research obtained a machine torque value of 0.192 Nm. When the length of the machine is enlarged to 70 mm then the machine torque is 0.301 Nm, but the large flux density is 1.41 Tesla to 1.64 Tesla.

Keywords : *stepper variable reluctance motor, cam switch, software magnet infolytica*

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik merupakan salah satu faktor penting ditengah perkembangan teknologi yang sangat pesat, sehingga besar kemungkinan terjadinya gangguan pada saat pendistribusian sumber daya ke konsumen. Maka dibutuhkan suplai tambahan untuk mengantisipasi jika suplai dari PLN terputus, suplai tambahan yang digunakan yaitu Genset. Untuk mengontrol perpindahan suplai ketika terjadi pemutusan dari PLN, digunakan saklar pemindah. Saklar pemindah memiliki peranan penting dalam menjamin keandalan pasokan tenaga listrik ke beban. (Anto, 2013)

Saklar pemindah akan digerakkan secara otomatis dan saklar pemindah yang digunakan saklar pemindah jenis baru yaitu *cam switch*. Untuk menggerakkan *cam switch* tersebut dibutuhkan elemen penggerak, untuk elemen penggerak yang digunakan adalah motor stepper *variable reluctance*. Motor stepper jenis *variable reluctance* ini biasanya digunakan untuk aplikasi penggerak elevator, motor listrik dan lain sebagainya.

Pada penelitian ini, peneliti akan merancang dan menganalisis motor stepper *variable reluctance*. Perancangan dan analisis akan dilakukan dengan menggunakan software MagNet Infolytica. Perancangan menggunakan software merupakan salah satu perangkat lunak yang dapat mempermudah para perancang untuk

menganalisis dan menghasilkan alat yang diinginkan dan menghemat biaya.

Software MagNet Infolytica berfungsi untuk membuat pemodelan-pemodelan alat-alat elektromagnetik dengan metode *finite element method*, berguna untuk melihat dan menganalisis berbagai peristiwa-peristiwa fisika dan peristiwa listrik yang terjadi pada alat-alat elektromagnetik yang disimulasikan seperti generator, motor, transformator dan lain sebagainya. Merancang menggunakan software ini dilakukan untuk mengetahui apakah rancangan yang dilakukan dengan perhitungan matematis yang dilakukan sudah dapat menghasilkan nilai kerapatan fluks disetiap mesin yang optimal dan dapat menggerakkan saklar pemindah (*cam switch*).

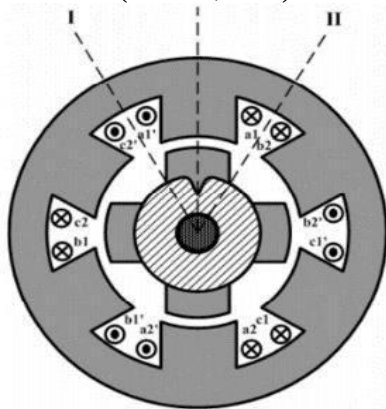
2. LANDASAN TEORI

Motor Stepper Variable Reluctance (MSVR)

Motor stepper *variable reluctance* merupakan salah satu jenis motor stepper. Motor ini memiliki struktural yang paling mudah untuk dipahami. Motor ini terdiri dari beberapa gigi rotor dan kutub stator. Pada motor ini bagian yang bergerak disebut rotor, sedangkan bagian yang diam disebut stator. Motor ini bekerja dengan mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

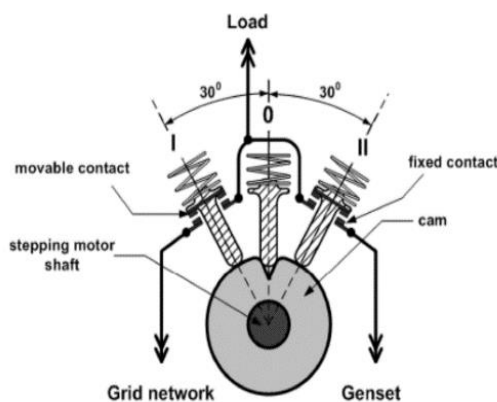
Pada kutub stator terdapat lilitan yang dialiri arus DC, sedangkan rotor hanya berupa laminasi inti. Motor ini bekerja ketika lilitan stator diberi arus DC, kemudian

kutub-kutub menjadi termagnetisasi dan gigi-gigi rotor yang terdiri dari lapisan-lapisan laminasi tertarik oleh kutub yang dialiri arus. (Hartono, 2014)



Gambar 1 Kombinasi Motor Stepper Variable Reluctance dengan Cam Switch (Anto, 2015)

Pada Gambar 1, merupakan kombinasi dari motor stepper variable reluctance dengan cam switch yang akan dilakukan. Motor stepper yang akan dirancang harus dapat menggerakkan saklar pemindah yaitu cam switch. Motor stepper yang akan dirancang sangat cocok dengan saklar pemindah yang digunakan, karena motor stepper VR yang dirancang memiliki panjang langkah rotasi sebesar 30°. Cam switch dapat bergerak 30 derajat berlawanan jarum jam dan 30 derajat searah jarum jam. Jika motor yang dirancang menggerakkan cam switch searah jarum jam, maka pasokan listrik yang diterima beban berasal dari Genset. Dan jika motor yang dirancang menggerakkan cam switch 30 derajat berlawanan jarum jam, maka pasokan listrik yang diterima beban berasal dari PLN (Anto, 2013). Untuk konstruksi cam switch yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Cam Switch (Anto, 2015)

Perhitungan Matematis Dimensi Utama MSVR

Langkah pertama yang harus dilakukan sebelum memulai perancangan yaitu mengetahui spesifikasi seperti yang terdapat pada Tabel 1, agar motor yang dirancang memiliki dimensi yang optimal dan hasil simulasi sesuai dengan yang diharapkan.

Tabel 1 Spesifikasi MSVR 6/4

Kecepatan putar (N)	20 RPM
Tegangan (V_{dc})	12 Vdc
Daya listrik (P_i)	0.8 watt
Torka beban (T_e)	0.3 Nm
Jumlah Kutub Stator (p_s)	6
Jumlah Gigi Rotor (p_r)	4
Jumlah Fasa	3

Dimensi utama dari MSVR biasanya didefinisikan sebagai D^2L , dimana D (diameter sebelah dalam stator) dan L (panjang mesin). (Roy, 2017)

$$D^2L = \frac{T_e}{B_g \times g \times k \times k_i} \quad (1)$$

Keterangan :

- B_g = Kerapatan Fluk Celah Udara (wb)
- g = Specific Electric Loading (A/m)
- k = Konstanta Mesin
- k_i = Stacking Factor
- T_e = Torsi beban (Nm)

Untuk mesin listrik skala kecil, nilai g berada dikisaran 10000 sd 40000 A/m. Nilai ac tergantung isolasi yang digunakan dan nilai g yang besar memiliki rugi tembaga yang lebih tinggi, serta kenaikan suhu yang tinggi. (Irasari, 2013)

Dimensi Stator dan Rotor

Untuk perhitungan matematis stator dan rotor dapat dihitung sebagai berikut: (Roy, 2017)

- **Stator Tooth Pitch, θ_s**

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

Keterangan : Dengan sudut kutub stator (β_s) dan sudut slot stator (σ_s), dapat digunakan dengan perbandingan rasio.

- **Untuk menghitung berapa luas motor (A), maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut: (Anto, 2011)**

$$T_e = \frac{1}{6} \times \mu_0 \times A \times \frac{(2NI)^2}{2g} \quad (3)$$

Keterangan :

- T_e = Torka Beban (Nm)

μ_0 = Permeabilitas Vakum ($4\pi \times 10^{-7}$ H/M)

N = Jumlah Lilitan (800 lilitan)

I = Arus (1A)

g = Airgap (mm)

- Untuk mengetahui panjang mesin dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut : (Roy, 2017)

$$L = \frac{W_{s_{pole}}}{1.618 \times \sin \frac{1}{2} \beta_s} \quad (4)$$

Keterangan:

L = Panjang Mesin (mm)

$W_{s_{pole}}$ = Lebar Kutub Stator (mm)

1.618 = Golden Rasio

D_2 = Diameter Sebelah Dalam Stator (mm)

- Untuk mengetahui lebar kutub di stator, $W_{s_{pole}}$ (Roy, 2017)

$$W_{s_{pole}} = \sqrt{A \times 1.618 \times \sin \frac{1}{2} \beta_s} \quad (5)$$

- Untuk mencari nilai R_2 (jari-jari sebelah dalam stator), (Roy, 2017)

$$R_2 = \frac{W_{s_{pole}}}{2 \times \sin \frac{1}{2} \beta_s} \quad (6)$$

- Mencari nilai R_1 (jari-jari sebelah dalam lubang slot), (Roy, 2017)

$$R_1 = R_2 + (1.5 \times W_{s_{pole}}) \quad (7)$$

- Lebar yoke, y_s (Kumar, 2013)

$$y_s = \frac{W_{s_{pole}}}{2} \quad (8)$$

Keterangan : lebar yoke stator dan rotor pada motor ini setengah dari lebar kutub

- Diameter luar stator, D_0 (Kumar, 2013)

$$D_0 = 2 \times (R_1 + \frac{1}{2} W_{s_{pole}}) \quad (9)$$

- Rotor Tooth Pitch, θ_r (Roy, 2017)

$$\theta_r = \frac{2\pi}{N_r} \quad (10)$$

Keterangan: Dengan sudut kutub rotor (β_r) dan sudut slot rotor (σ_r), dapat digunakan dengan perbandingan rasio. Dan nilai diameter poros rotor (D_{sh}) = 2 cm.

- Diameter luar rotor, D_r (Kumar, 2013)

$$D_r = D_2 - (2 \times \text{airgap}) \quad (11)$$

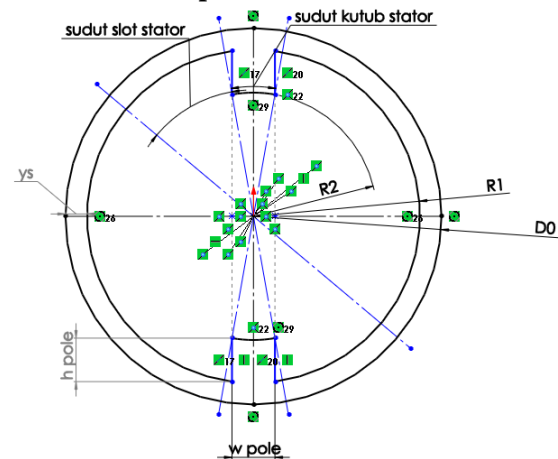
- Lebar gigi rotor, $w_{r_{pole}}$ (Roy, 2017)

$$w_{r_{pole}} = \frac{D_r \times \beta_r}{2} \quad (12)$$

- Lebar yoke rotor, y_r (Kumar, 2013)

$$y_r = \frac{w_{r_{pole}}}{2} \quad (13)$$

Ukuran Coil/ kumparan Stator



Gambar 3 Desain MSVR

Luas slot diperhitungkan, agar dapat mengetahui berapa jumlah lilitan maksimum yang dapat dililitkan dan berapa luas slot minimum yang dapat digunakan. Pada Gambar 3 merupakan bagian-bagian yang harus dihitung terlebih dahulu dengan persamaan yang 1-18.

- Luas penampang kawat, a (Umanand, 2001)

$$a = \frac{I}{J} \quad (14)$$

Keterangan :

J = kerapatan arus (10 A/mm²)

- Mencari luas slot, (Umanand, 2001)

$$\text{luas slot} = \frac{\sigma_s}{2} \times (R_1^2 - R_2^2) \quad (15)$$

- Mencari nilai copper area, (Umanand, 2001)

$$\text{copper area} = k_w \times \frac{1}{2} \text{luas slot} \quad (16)$$

Keterangan :

Copper area = luas tembaga

k_w yang digunakan pada penelitian ini 0.3

- Besar jumlah lilitan maksimum (N_m), (Umanand, 2001)

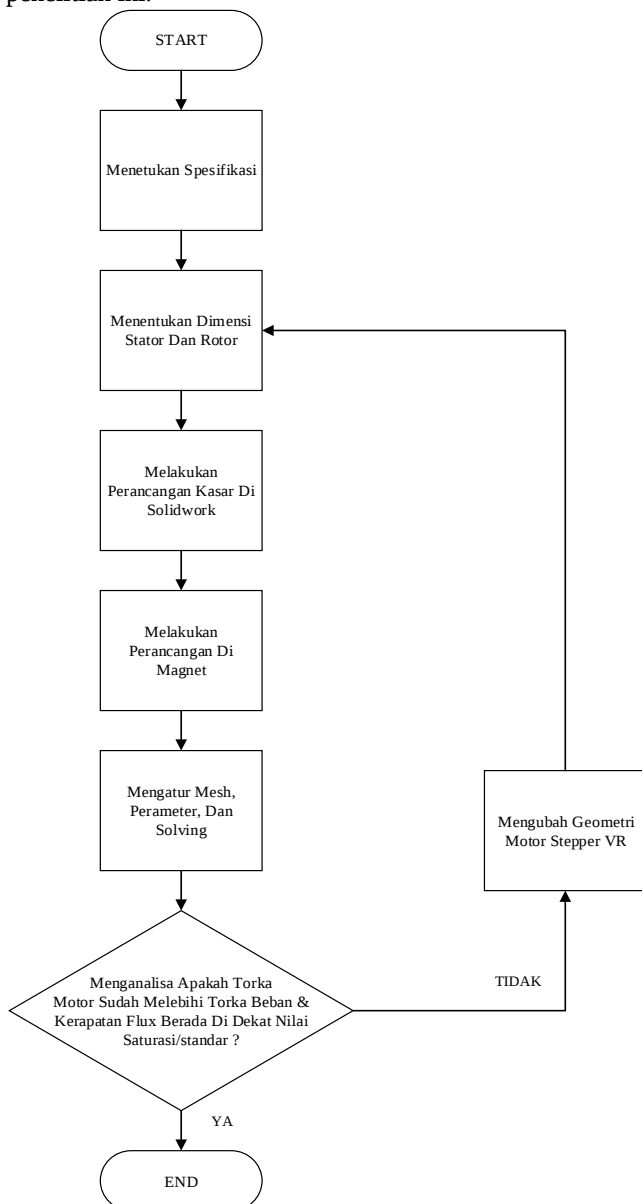
$$N_m = \frac{\text{copper area}}{a} \quad (17)$$

- Mencari luas slot, (Umanand, 2001)

$$\text{luas slot min} = \frac{2 \times N \times I}{k_w \times J} \quad (18)$$

3. METODE RANCANGAN MOTOR STEPPER VARIABLE RELUCTANCE

Sebelum memulai perancangan dengan menggunakan *software* MagNet infolytica, peneliti terlebih dahulu harus memahami konsep perancangan yang akan dilakukan dan memahami fungsi-fungsi dari *tools icon* dalam *software* tersebut, agar saat perancangan tidak melakukan pengerjaan yang berulang-ulang sehingga waktu yang digunakan menjadi lebih efisien. Gambar 4 merupakan konsep yang akan dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 4 Flowchar Perancangan Motor Stepper Variable Reluctance

4. HASIL DAN ANALISIS

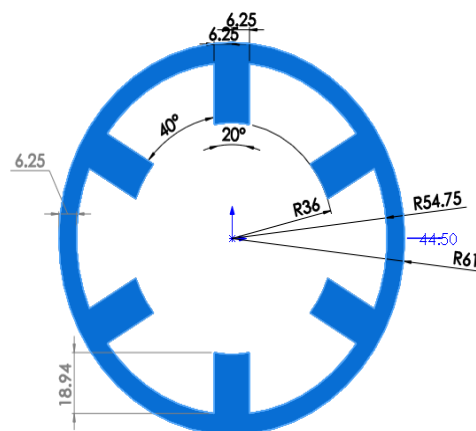
Langkah pertama setelah mendapatkan spesifikasi motor, maka dilakukan perhitungan dimensi secara matematis dengan menggunakan sumber yang ada,

sehingga didapatkan hasil yang dibutuhkan pada perancangan ini. Penelitian motor stepper *variable reluctance* 6/4 memiliki dimensi seperti pada Tabel 2,

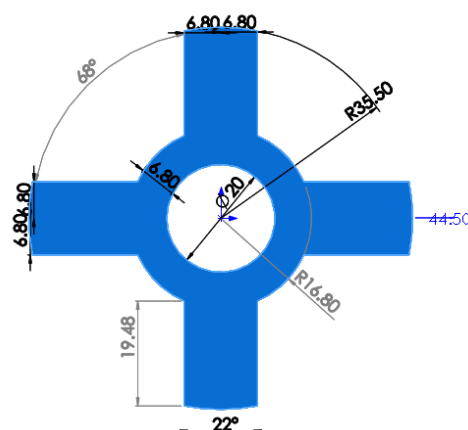
Tabel 2 Parameter MSVR 6/4

Diameter luar stator (D_0)	122 mm
Diameter sebelah dalam stator (D_2)	72 mm
Tebal yoke stator (y_s)	6.25 mm
Tinggi kutub stator (h_s)	18.94 mm
Diameter luar rotor (D_r)	71 mm
Tebal yoke rotor (y_r)	6.8 mm
Tinggi gigi rotor (h_r)	19.48 mm
Shaft rotor (D_{sh})	20 mm
Jumlah lilitan per fasa (N)	800
Airgap (g)	0.5 mm
Panjang mesin (L)	44.5 mm

Setelah mendapatkan dimensi motor stepper yang akan dirancang, maka dimensi yang diperoleh akan dirancang menggunakan *software* Solidwork terlebih dahulu, dengan tujuan untuk mempermudah perancangan yang akan dilakukan pada *software* MagNet Infolytica. Hasil rancangan dengan *software* Solidwork dapat dilihat seperti pada Gambar 5 untuk bagian stator dan Gambar 6 untuk bagian rotor.

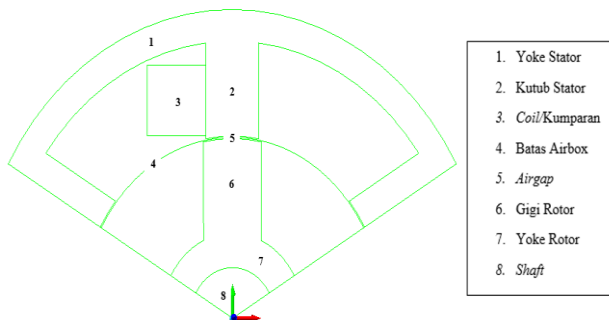


Gambar 5 Rancangan Stator MSVR



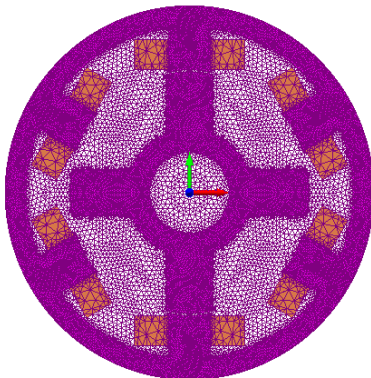
Gambar 6 Rancangan Rotor MSVR

Kemudian atur satuan yang akan digunakan pada perancangan yang dilakukan. Pada penelitian ini menggunakan *millimeter*, hasil rancangan yang telah dilakukan di *software* Solidwork dipindahkan ke *software* MagNet dengan cara klik *import* pada menu *file* supaya hasil rancangan dapat berbentuk 3D seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Rancangan Awal *Software* MagNet Infolytica

Inisialisasi adalah pemberian nama dan material pada komponen-komponen yang dijelaskan pada Gambar 7 yang dilakukan dengan *software* MagNet. Pemberian nama dan material pada motor stepper *variable reluctance* terdiri dari stator, *airbox*, rotor. *Software* MagNet Infolytica menggunakan metode *Finite Element Methode* (FEM). FEM merupakan metode untuk memecahkan masalah medan elektromagnetik yang kompleks, terutama bagian yang berkaitan dengan sifat non linier bahan. FEM atau *mesh* dapat dilihat pada Gambar 8 yaitu, memiliki area volume kecil.

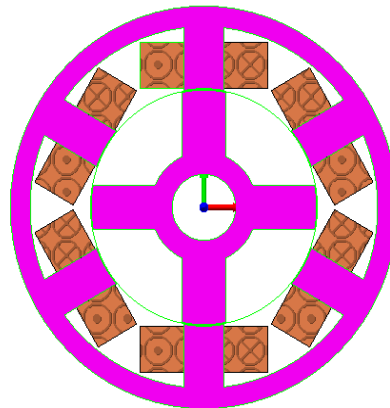


Gambar 8 Tampilan Mesh MSVR 6/4

Pemilihan ukuran *mesh* penting untuk dipilih, karena memiliki pengaruh terhadap hasil simulasi yang akan didapat. Semakin kecil ukuran *mesh* yang digunakan, maka hasil yang didapat semakin akurat, akan tetapi waktu simulasi akan lama jika ukuran *mesh* yang digunakan kecil. Bagian motor yang akan diberi *mesh* yaitu stator dan rotor dengan ukuran *mesh* yang sama yaitu 0.5 mm, namun untuk *airbox* dengan *mesh* 1 mm.

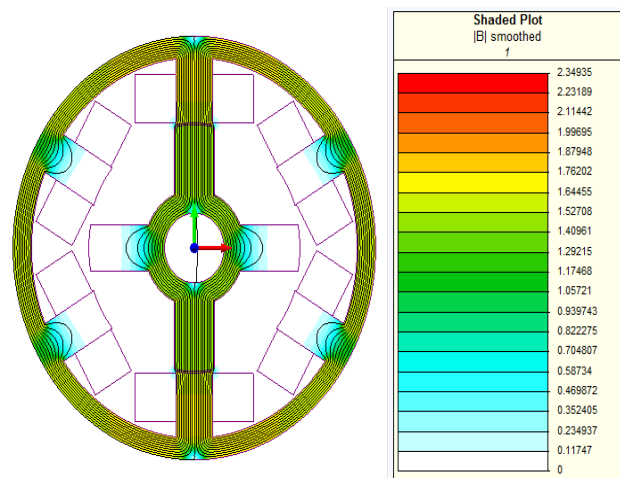
Pengaturan selain *mesh*, ada juga pengaturan parameter serta pengaturan *set adaption* dan *set solver*. Pengaturan parameter diperlukan untuk dapat melihat hasil perubahan torka mesin ketika berada di posisi nol

derajat dan posisi 30 derajat. Pengaturan ini dilakukan pada model motor stepper *variable reluctance* dan pada model rotor. Sedangkan pengaturan *set* pada menu *solve* diperlukan untuk mendapatkan hasil simulasi yang akurat, akan tetapi membutuhkan waktu *solving* yang lama.



Gambar 9 MSVR 6/4 dengan *Software* Magnet Infolytica

Pada Gambar 9 merupakan hasil akhir dari rancangan motor stepper *variable reluctance* 6/4 yang dirancang. Dari hasil rancangan seperti Gambar 9, maka didapatkan hasil simulasi kerapatan fluks di setiap bagian motor seperti Gambar 10.



Gambar 10 Kerapatan Fluks MSVR 6/4

Dari hasil simulasi yang diperoleh maka nilai kerapatan fluks disetiap bagian motor sekitar 1,64 wb sampai dengan 1,41 wb. Nilai kerapatan fluks yang diperoleh dapat diterima dan dapat digunakan, dikarenakan nilai kerapatan fluks tidak berada jauh dari nilai saturasi dan tidak melampaui nilai saturasi. Untuk nilai saturasi inti yang digunakan pada rancangan ini sekitar 1,94 wb dan bahan material inti yang digunakan untuk stator dan rotor yaitu *carpenter:silicon steel*.

Akan tetapi hasil simulasi untuk torka mesin masih berada jauh dari yang dibutuhkan, nilai yang didapat dari perhitungan matematis sebesar 44,5 mm dengan torka mesin yang didapat sekitar 0,192 Nm, maka dilakukan

pengujian terhadap panjang mesin (L). Tetapi nilai panjang mesin (L) harus kecil dibandingkan diameter sebelah dalam stator (D_2), karena nilai kecepatan putar motor kecil yaitu 20 RPM.

Tabel 3 Pengujian Panjang Mesin terhadap Torka Mesin

Panjang mesin (mm)	Torka mesin (Nm)
44.5	0.192
50	0.215
55	0.237
60	0.258
65	0.28
70	0.301

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan untuk mendapatkan nilai torka mesin yang melebihi torka beban yaitu dengan panjang mesin 70mm. Pada Tabel 3 terdapat perubahan panjang mesin terhadap torka mesin

5. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi rancangan motor stepper *variable reluctance* dengan tegangan 12 Vdc dan kecepatan putar 20 rpm dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Motor stepper *variable reluctance* dengan kombinasi 6 kutub stator dan 4 gigi rotor telah berhasil dirancang menggunakan *software* magnet infolytica dengan dimensi luar 122 mm, diameter sebelah dalam 72 mm dan panjang mesin 44.5 mm.
- Motor stepper *variable reluctance* 6/4 yang dirancang dengan panjang mesin 44.5 mm memiliki nilai torka mesin sebesar 0.192 Nm dan kerapatan fluks di bagian mesin sekitar tesla 1.41 hingga 1.64 tesla.
- Untuk dapat menggerakkan *cam switch* torka mesin harus melebihi torka beban, sehingga panjang mesin diperbesar sampai 70 mm dengan nilai torka mesin sebesar 0.301 Nm.
- Software* magnet infolytica menggunakan metode FEM, sehingga dalam pe rancangan *mesh* yang digunakan harus diperhatikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anto, B. (2011). *Pemodelan dan Simulasi Berbasis Matlab/Simulasi Terhadap Gerakan Rotor motor Stepper 3-Fasa Jenis Variable Reluctance*. Jurnal sains, teknologi dan industri Vol. 10 No.1.
- Anto, B., Suwitno, & Wahono, A. (2015). *Motorized Transfer Switch With Variable Reluctance Stepping Motor Actuator*. *Proceeding of Ocean, Mechanical and Aeroospace Science and Engineering*, Vol. 2-1.
- Hartono, P., & Fauzi, M. N. (2014). *Pengendali Otomatis 3-Axis Berbasis Pc Pada Simulasi Proses Las*. ISSN 0126-3463 Vol.36.
- 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*. ISSN 1978-2365. Vol.12 Nol. 1 juni 2013 : 55-66.
- Kumar, T., & Nagarajan, A. (2013). *Design Of Switched Reluctance Motor For Elevator Application*. *Journal of Asian Scientific Research* 3(3):258-267.
- Roy, D., Mainuddin, S., & Sengupta, M. (2017). *Design, Analysis, Fem Validation And Fabrication Of A Switched Reluctance Motor*. *National Power Electronics Conference, Collage of Engineering Pure, India*.
- Umanand, L., & Bhat, S. (2001). *Design Of Magnetic Components For Switched Mode Power Converters*. New Delhi: New Age Intelnational (P). Handboox.