

# Analisis Pengaruh Variasi Lebar Air Gap Pada Motor *Brushless* DC Radial Fluks

Regga Kurniawan<sup>1</sup>, Ermanu Azizul Hakim<sup>2</sup>, Muhammad Irfan<sup>#3</sup>

## Info Artikel dan Penulis

1,2,3 - Program Studi Teknik Elektro,  
Universitas Muhammadiyah Malang  
Jl. Tlogomas No. 246, Malang,  
Indonesia

# Penulis korespondensi: [irfan@umm.ac.id](mailto:irfan@umm.ac.id)

## Kata Kunci:

Motor DC  
Motor Magnet Permanen  
DC Brushless  
Air Gap  
Radial Flux

## Proses Artikel:

Dikirim 8 April 2020  
Direvisi 9 Februari 2021  
Diterima 22 Februari 2021  
Diterbitkan online 22 April 2021

## Abstrak

*Motor Brushless DC merupakan Motor DC tanpa sikat yang mempunyai efisiensi lebih baik. Motor brushless DC magnet permanen sebagai teknologi utama untuk aplikasi seperti penggerak, kompresor, pompa, generator mikro turbin gas, dan sistem kendaraan hibrida listrik. Dibutuhkan pengembangan motor BLDC yang sangat efisien dan spesifik aplikasi membantu meningkatkan motor BLDC dalam industri untuk memperoleh hasil yang optimal, dengan memvariasi lebar air gap pada desain motor. Lebar air gap divariasikan menjadi 0.3 mm, 0.5 mm, 1 mm, dan 1.5 mm. Pengujian variasi lebar air gap menggunakan kecepatan putar 1000 rpm. Hasil pengujian nilai fluks linkage maksimum pada variasi lebar air gap 0.3 mm sebesar 0.0684 Wb. Hasil pengujian nilai torsi tertinggi sebesar 24.57 Nm pada lebar air gap 0.3 mm. Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada variasi lebar air gap 0.3 mm sebesar 83.16%. Dari pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi lebar celah udara berpengaruh pada hasil keluaran nilai torsi dan efisiensi jika lebar air gap diperkecil.*

## Abstract

*Brushless DC Motor is a DC motor without brushes that has better efficiency. Permanent magnet brushless DC motors as the main technology for applications such as drives, compressors, pumps, gas turbine micro generators, and hybrid electric vehicle systems. It takes the development of BLDC motors that are very efficient and application specific to help improve BLDC motors in the industry to obtain optimal results, by varying the width of the air gap on the motor design. The width of the air gap is varied to 0.3 mm, 0.5 mm, 1 mm and 1.5 mm. Testing variations in the width of the air gap using a rotational speed of 1000 rpm. The results of testing the value of the maximum linkage flux in the variation of the width of the air gap 0.3 mm of 0.0684 Wb. The results of testing the highest torque value of 24.57 Nm at a width of 0.3 mm air gap. The highest efficiency value obtained in the width variation of air gap 0.3 mm by 83.16%. From the tests that have been carried out it can be concluded that the variation in air gap width affects the output of the torque value and efficiency if the width of the air gap is reduced.*

Kurniawan, R., Hakim, E. A., & Irfan, M. (2021). Analisis Pengaruh Variasi Lebar Air Gap Pada Motor Brushless DC Radial Fluks. *Journal of Mechatronics and Electrical Engineering*, Vol. 1(1), pp: 1-7, April 2021, doi: <https://doi.org/10.22219/jmee.xxxx.xxxx>

## 1. PENDAHULUAN

Motor BLDC (*Brushless DC Motor*) merupakan Motor DC tanpa sikat yang mempunyai efisiensi lebih baik dan umur lebih panjang. Motor ini menggunakan rotor dengan magnet permanen dan stator menggunakan tambahan belitan untuk menghasilkan medan magnet. Pengembangan motor BLDC yang sangat efisien dan spesifik membantu meningkatkan motor BLDC dalam industri. Motor *brushless* DC magnet permanen sebagai teknologi utama untuk aplikasi seperti penggerak, kompresor, pompa, generator mikro turbin gas, dan sistem kendaraan hibrida listrik [1].

Motor BLDC ialah salah satu jenis motor DC yang konstruksinya menggunakan magnet permanen. Motor *brushless* DC berbeda dari motor sinkron AC karena motor lama menggabungkan beberapa cara untuk mendeteksi posisi rotor (atau kutub magnet) untuk menghasilkan sinyal yang mengontrol sakelar elektronik [2]. Motor BLDC tidak menggunakan fungsi *brush* sebagai media eksitasi ke rotornya, namun fungsi tersebut digantikan oleh medan magnet yang telah ditimbulkan oleh magnet permanen pada bagian rotornya. Keuntungan yang paling jelas dari konfigurasi *brushless* ialah penghapusan *brush*, yang memudahkan perawatan dan menghilangkan rugi gesek akibat adanya kontak antara rotor dan *brush* [3]. Motor *brushless* DC radial fluks memiliki beberapa bagian yang terdiri atas stator sebagai penghasil gaya gerak listrik (GGL), rotor berupa magnet permanen sebagai sumber medan magnet, *air gap* antara stator dan rotor [4].

Studi tentang pengembangan dan penerapan motor BLDC masih terus dikerjakan dan menjadi bagian penting dalam dunia elektronika industri. Salah satu area yang menjadi fokus penelitian motor BLDC adalah pentingnya desain

dan analisa celah udara (*air gap*) pada motor magnet. Penelitian yang dilakukan oleh Achmad Abdul Ghoni [3], melakukan simulasi variabel *air gap* pada motor *axial brushless* DC 12 slot stator dan 10 kutub dengan penambahan tebal magnet. Pada variable *air gap* tetap dan penambahan tebal magnet 8 mm simulasinya menghasilkan daya output 11,2 kW, rugi-rugi inti 381,5 W, torsi 44,78 Nm, dan efisiensi 79,39 %. Penambahan tebal magnet memberikan efek samping nilai torsi yang turun seiring semakin tingginya nilai efisiensi.

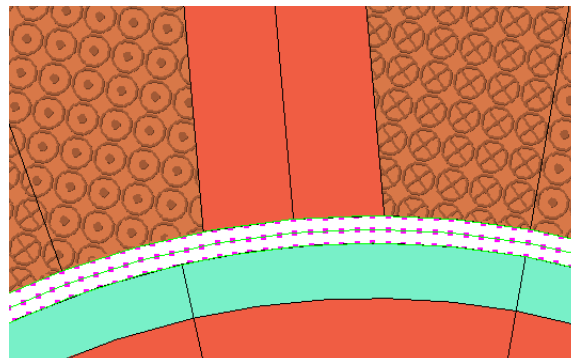
Menurut penelitian M. Ichsan Indiarbi [5], menganalisa desain *air gap* pada generator *axial flux* permanen magnet 12 slot 10 pole. Variasi jarak celah udara yang digunakan dengan interval 0,5 mm yaitu 1 mm – 6 mm. Dengan kecepatan 500 Rpm menginginkan daya berkisar 50 – 100 VA. Hasil dari simulasi menunjukkan nilai tegangan dan daya keluaran semakin kecil jika jarak celah udara diperbesar. Penelitian lain oleh Anizar Indriani [6], melakukan penelitian pengaruh variasi jarak celah udara pada performa generator sinkron fluks radial dengan jarak 1 mm dan 2 mm pada putaran 200 Rpm. Dari pengujian jarak celah udara 1 mm menghasilkan tegangan 43,5 V dan jarak celah udara 2 mm menghasilkan 39,2 V. Semakin kecil jarak celah udara tegangan yang dihasilkan lebih besar.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang telah diuraikan menunjukkan bahwa, variasi lebar *air gap* berpengaruh pada performa dan karakteristik mesin magnet permanen [7]. Maka dari itu perlu dilakukan perbandingan *air gap* untuk mencari desain yang optimal. Pada penelitian ini bertujuan melakukan desain dan analisa sebuah motor *brushless* DC radial fluks 12 slot 8 pole dengan variasi lebar *air gap* menggunakan jarak 0,3 mm, 0,5 mm, 1 mm dan 1,5 mm. Simulasi menggunakan *software Infolytica Magnet* berbasis metode *finite element*.

## 2. METODE

### 2.1. Metode Finite Element

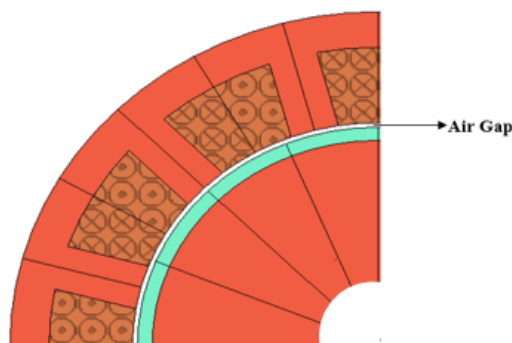
*Finite Element Method (FEM)* merupakan metode yang dapat menghitung distribusi fluks dari medan elektromagnetik secara efektif. Metode ini dapat menganalisa distribusi fluks magnetik dari magnet permanen [8]. Salah satu *software* berbasis FEM ialah *Software MagNet Infolytica*. Parameter *output* dari desain motor dapat diketahui dengan menggunakan *software* tersebut. Penerapan *finite element* berupa titik-titik berwarna ungu ada pada *airgap* dengan melingkari diameter rotor untuk membaca gerakan ketika motor berputar pada saat pengujian. Gambar 1 menunjukkan penerapan *finite element*.



Gambar 1. Penerapan Finite Element

### 2.2. Desain Air Gap

*Air gap* merupakan celah udara antara rotor dan startor yang menyebabkan rotor tidak bergesekan dengan stator saat rotor berputar. Celah udara pada motor listrik berfungsi untuk tempat mengalirnya fluks dari rotor ke stator yang dihasilkan oleh kutub-kutub medan magnet. Lebar celah udara atau *air gap* mempengaruhi efisiensi pada motor. Desain *air gap* seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Air Gap

### 2.3. Ukuran Struktur Stator dan Rotor

Rotor ialah bagian motor yang bergerak atau berputar. Perputaran rotor disebabkan karena adanya medan magnet. Komponen utama motor terdiri dari poros rotor, kumparan rotor, dan *slip ring* [9]. Pada rotor juga terdapat magnet permanen yang disusun secara tertentu. Posisi rotor terhadap stator dibedakan menjadi dua, yaitu *inner* rotor dan *outer* rotor. Stator merupakan bagian motor yang tidak berputar. Bentuk stator ialah sebuah rangka silinder dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak. Stator berfungsi untuk tempat menerima induksi magnet dari rotor. Stator memiliki komponen-komponen utama yaitu rangka stator, inti stator, alur dan gigi, kumparan stator [10]. Pada desain motor radial fluks 12 slot 8 pole perhitungan ukuran kerangka stator dan rotor saling berkaitan, tiap bagian pada stator dan rotor untuk menentukan jumlah maksimal lilitan yang dipasang pada gigi stator. Lilitan terdiri atas beberapa kumparan, yang dipasang pada gigi stator. Setiap kumparan terdiri dari satu atau lebih lilitan menurut besar tegangan. Saat kumparan stator dihubungkan dengan sumber tiga fasa, stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Ukuran stator dan rotor untuk mendapatkan jumlah maksimal lilitan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [2]:

- a. Menghitung derajat slot,  $\theta_s$  dan derajat pole,  $\theta_p$  menggunakan persamaan 1:

$$\theta_s = \frac{(2.\pi)}{N_s} \quad \text{dan} \quad \theta_p = \frac{(2.\pi)}{p} \quad (1)$$

- b. Menghitung Slot *pitch*,  $\tau_s$  dan Coil *pitch*,  $\tau_c$  menggunakan persamaan 2:

$$\tau_s = r_{si} \cdot \theta_p = \frac{D_r}{2} \cdot \theta_p \quad \text{dan} \quad \tau_c = \text{coil span} \cdot \tau_s \quad (2)$$

Nilai dari *coil span* = 1

- c. Menghitung area kutub rotor,  $A_{pr}$  menggunakan persamaan 3:

$$A_{pr} = \tau_r \cdot L_i \quad (3)$$

- d. Menghitung rotor pole *pitch*,  $\tau_r$  dan stator pole *pitch*,  $\tau_p$  menggunakan persamaan 4:

$$\tau_r = \tau_p \cdot 0,75 \quad \text{dan} \quad \tau_p = \frac{\pi.D}{p} \quad (4)$$

- e. Menghitung panjang inti efektif,  $L_i$  menggunakan persamaan 5:

$$L_i = L \cdot k_{stack} \quad (5)$$

$k_{stack}$  ialah faktor penumpukan stator laminasi berkisar 0,9-0,95 untuk tebal laminasi 0,35-0,5 mm.

- f. Menghitung luas lubang slot  $A_s$ , menggunakan persamaan 6:

$$A_s = \left( \left( \frac{(\pi \cdot D_e) - W_{ts} \cdot Z}{Z} \right) + \left( \frac{(\pi \cdot D_c) - W_{ts} \cdot Z}{Z} \right) \cdot \left( \frac{D_e}{2} - \frac{D_c}{2} \right) \right) \quad (6)$$

Nilai  $D_e = D_{os} - 2 \cdot Y_s$

- g. Menghitung area slot terisi lilitan  $A_o$ , dan jumlah lilitan yang dapat terisi  $N_s$  menggunakan persamaan 7:

$$A_o = A_s \frac{S_f}{100} \quad \text{and} \quad N_s = \frac{A_o}{\frac{\pi \cdot (d \cdot 10^{-3})^2}{4}} \quad (7)$$

Dimana  $D_i$  adalah Diameter luar area magnet (mm)  $D_a$  adalah Diameter dalam area magnet (mm)  $L_m$  adalah Ketebalan permanen magnet (mm)  $\theta_p$  adalah Derajat pole ( $rad/s$ )  $\theta_s$  adalah Derajat slot ( $rad/s$ )  $D_{os}$  adalah Diameter luas stator (mm)  $D_{is}$  adalah Diameter dalam stator (mm) dan  $W_{ts}$  adalah lebar gigi stator (mm)

Spesifikasi material motor yang digunakan pada desain motor ditunjukkan pada Tabel 1. Perhitungan desain stator dan rotor pada motor 12 slot 8 pole berdasarkan ketentuan parameter awal, tabel parameter perhitungan stator

dan rotor adalah pada Tabel 2. Hasil perhitungan sesuai persamaan (1) sampai dengan (7) akan digunakan sebagai referensi, untuk mengetahui desain stator, rotor, dan jumlah maksimal lilitan yang digunakan.

Tabel 1. Pengaturan Material Motor

Parameter	Nilai
Material stator dan rotor	M27: USS Motor – 26 Gage
Material permanen magnet	NdFeb 48/11
Material lilitan	Copper : 5.77e7 Siemens/m
Material air box dan air gap	AIR (udara)

Tabel 2. Parameter perhitungan Stator dan Motor

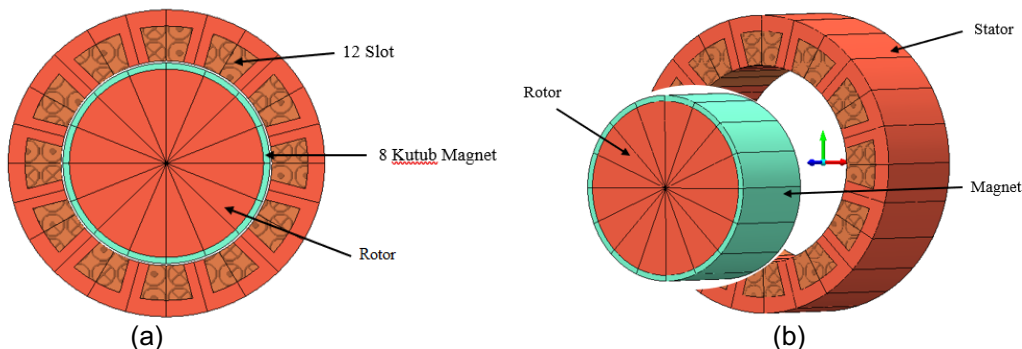
Parameter	Nilai
Diameter luas stator ( $Dos$ )	150 mm
Diameter dalam stator ( $Dis/D/Dc$ )	100 mm
Diameter dalam slot ( $De$ )	134 mm
Lebar airgap Stator ( $lg$ )	1 mm
Panjang inti ( $L$ )	60 mm
Stator laminasi ( $kstack$ )	0.95 mm
Lebar gigi stator ( $Wts$ )	10 mm
Jumlah <i>teeth notch</i>	2 notch
Tebal yoke stator ( $Ys$ )	8 mm
Jumlah slot ( $Z$ )	12 Slot
Diameter coil	1,3 m <sup>2</sup>
Diameter rotor ( $Dr$ )	98 mm
Diameter luar area magnet ( $Di$ )	98 mm
Diameter dalam area magnet ( $Da$ )	90 mm
Lebar airgap Rotor ( $lg$ )	0.3 mm, 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm
Ketebalan permanen magnet ( $Lm$ )	4 mm
Panjang inti ( $L$ )	60 mm
Jumlah pole ( $2p$ )	8 pole

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dan hasil simulasi motor BLDC radial fluks 12 slot 8 pole dengan variasi lebar *air gap* pada kecepatan 1000 Rpm menggunakan *software MagNet Infolytica*. Pengolahan data hasil keluaran diolah menggunakan *software Microsoft Excel*. Penelitian ini memvariasikan lebar air gap dengan jarak 0.3 mm, 0.5 mm, 1 mm, dan 1.5 mm. Pengambilan data dimulai saat detik 0 sampai 0,03s karena pada saat sampai detik 0,03 sudah terbentuk 1 gelombang penuh.

#### 3.1. Hasil Desain Motor Brushless DC Radial Fluks

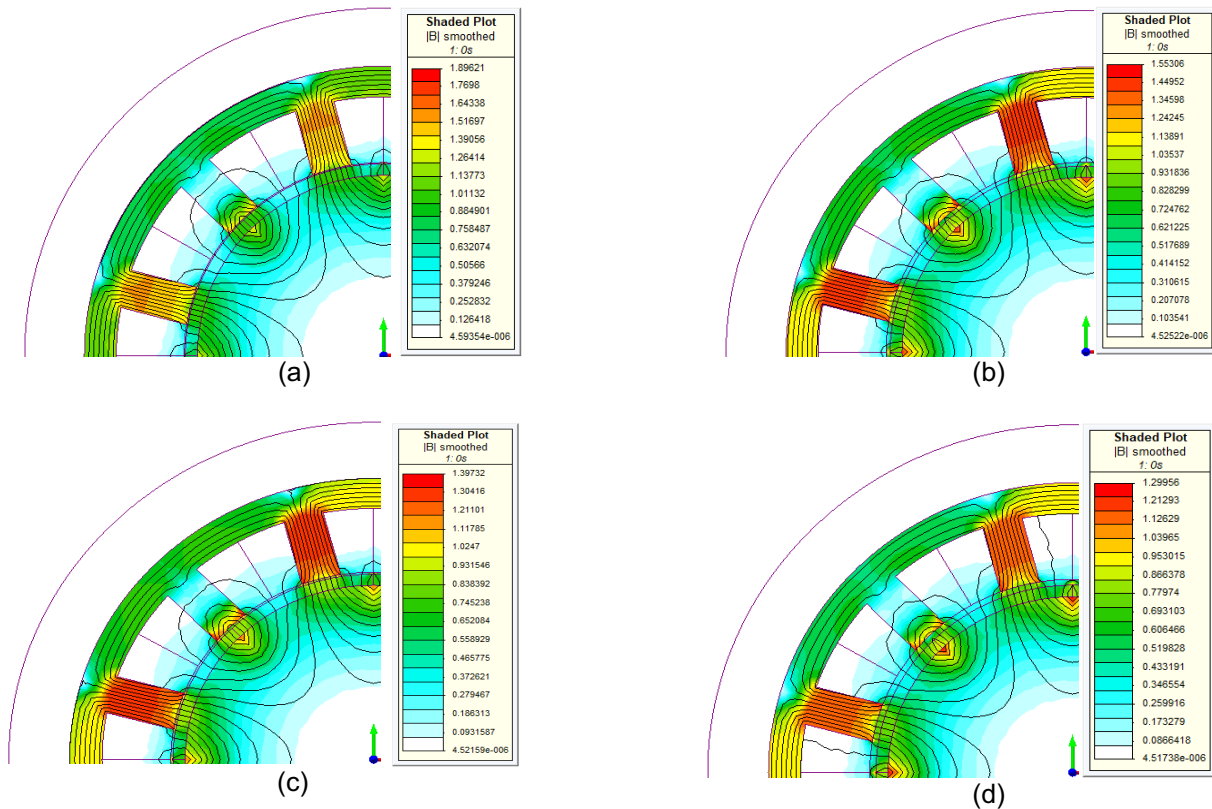
Pemodelan motor ini disimulasikan dengan menggunakan *software MagNet Infolytica* yang sudah berbasis *Finite Element Method (FEM)* sehingga dapat menghasilkan desain yang optimal. Pada model motor ini memvariasikan lebar celah udara (*Air Gap*) dengan jarak 0.3 mm, 0.5 mm, 1 mm, dan 1.5 mm. Pada desain motor *brushless DC radial 12 slot 8 pole* menggunakan jenis rotor yaitu *inner rotor*. Hasil pemodelan motor dapat dilihat desain motor dengan slot yang dilengkapi lilitan seperti terlihat pada Gambar 3 (a) tampilan 2D desain motor brushless DC radial fluks 12 slot 8 pole dan (b) Tampilan 3D.



Gambar 3. Tampilan Desain Motor Brushless DC Radial Fluks 12 Slot 8 pole (a) Tampilan 2D (b) Tampilan 3D

### 3.2. Pengaruh Lebar Air Gap Pada Fluks Linkage

Lebar air gap mempengaruhi tingkat daya kekuatan magnetiknya. Parameter tingkat kekuatan daya magnet dan juga tingkatan panas yang dihasilkan diperoleh dari tabel *shaded plot*. Pada tabel *shaded plot* tingkat kekuatan parameter yang berwarna putih paling bawah menunjukkan daya magnetnya melemah sedangkan warna merah paling atas menunjukkan daya magnet semakin kuat [11]. Gambar 4 berturut-turut adalah fluks linkage dengan lebar *air gap* 0,3 mm, lebar *air gap* 0,5 mm, 1 mm, dan lebar *air gap* 1,5 mm.

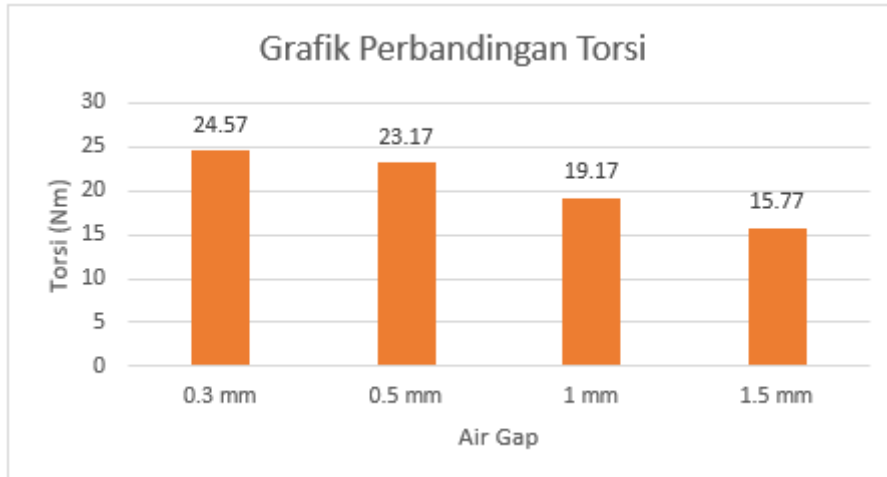


Gambar 4. Fluks Linkage dengan variasi lebar Air Gap. (a) 0,3 mm, (b) 0,5 mm, (c) 1 mm, (d) 1,5 mm

Diketahui hasil simulasi yang telah dilakukan dengan kecepatan 1000 Rpm dengan variasi lebar *air gap* diperoleh nilai shade plot pada lebar *air gap* 0,3 mm dengan nilai sebesar 1,89621, pada lebar *air gap* 0,5 mm dengan nilai sebesar 1,55306, pada lebar *air gap* 1 mm dengan nilai sebesar 1,39732, dan pada lebar *air gap* 1,5 mm dengan nilai sebesar 1,29956. Hasil nilai fluks linkage dari simulasi dan pengolahan data yang telah dilakukan diperoleh nilai fluks linkage pada variasi lebar *air gap* 0,3 mm sebesar 0,0684 Wb, lebar *air gap* 0,5 mm sebesar 0,0652 Wb, lebar *air gap* 1 mm sebesar 0,0588 Wb, dan lebar *air gap* 1,5 mm sebesar 0,0534 Wb. Nilai fluks linkage maksimum diperoleh nilai sebesar 0,0684 Wb pada *air gap* 0,3 mm.

### 3.3. Perbandingan Torsi Variasi Lebar Air Gap

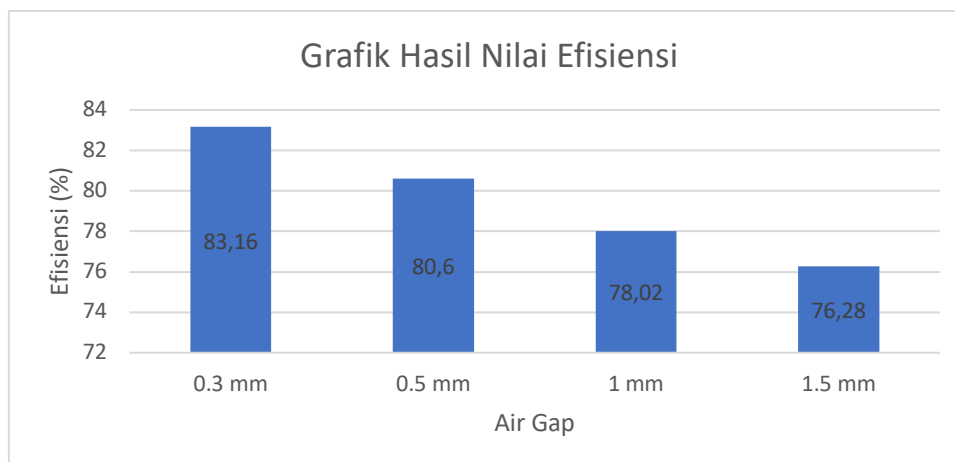
Pemodelan motor *brushless* DC radial fluks 12 Slot 8 Pole dengan kecepatan 1000 rpm untuk variasi lebar *air gap* 0,3 mm, 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm. Hasil simulasi diperoleh nilai keluaran torsi pada lebar *air gap* 0.3 mm sebesar 24,57 Nm, nilai torsi air gap 0.5 mm sebesar 23,17 Nm, nilai torsi air gap 1 mm sebesar 19,17 Nm, dan nilai torsi air gap 1.5 mm sebesar 15,77 Nm. Dari hasil nilai keluaran torsi dengan variasi lebar *air gap* 0.3 mm, 0.5 mm, 1 mm, dan 1.5 mm. Diperoleh perbandingan nilai torsi, nilai maksimum diperoleh sebesar 24,57 Nm pada lebar *air gap* 0,3 mm dan nilai minimum sebesar 15,77 Nm pada lebar *air gap* 1,5 mm. Grafik perbandingan torsi pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Nilai Torsi Dengan Variasi Lebar Air Gap

### 3.4. Nilai Efisiensi Variasi Air Gap

Hasil simulasi diperoleh nilai efisiensi pada pemodelan motor BLDC radial fluks 12 slot 8 pole dengan variasi lebar air gap 0.3 mm, 0.5 mm, 1 mm, dan 1.5 mm pada kecepatan 1000 Rpm. Hasil nilai efisiensi dengan variasi lebar air gap diperoleh nilai efisiensi pada lebar air gap 0.3 mm sebesar 83,16%, lebar air gap 0.5 mm sebesar 80,6%, lebar air gap 1 mm sebesar 78,02%, dan lebar air gap 1.5 mm sebesar 76,28%. Diketahui Nilai efisiensi variasi lebar air gap nilai maksimum dimiliki oleh lebar air gap 0,3 mm sebesar 83,16% dan nilai minimum oleh lebar air gap 1,5 mm sebesar 76,28%. Grafik nilai efisiensi dengan variasi lebar air gap pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil Nilai Efisiensi Variasi Lebar Air Gap

## 4. KESIMPULAN

Pada pekerjaan ini telah dihasilkan simulasi pemodelan motor brushless DC radial fluks 12 slot 8 pole permanen magnet dengan menganalisa pengaruh variasi lebar air gap. Variasi lebar air gap menggunakan lebar air gap 0,3 mm, 0,5 mm, 1 mm, dan 1,5 mm dengan kecepatan 1000 Rpm. Pengujian menggunakan metode finite element sehingga diperoleh beberapa hasil keluaran berupa fluks linkage, torsi dan efisiensi. Berdasarkan dari analisa pemodelan simulasi dan juga pengujian yang telah dilakukan maka lebar air gap yang optimal digunakan untuk motor brushless DC radial fluks adalah dengan ukuran lebar air gap 0,3 mm. Ini menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran celah udara pada desain motor pada penelitian ini, semakin efisien kinerja yang dihasilkan.

### Daftar Pustaka

- [1] S. Ganesh, S. S. Sankar, and N. Selvagesan, "Design and analysis of BLDC motor for aerospace application using FEM," in *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies, (ICICT)*, 2018, pp. 1137–1142.
- [2] T. Kenjo and S. Hagmori, *Permanent-Magnet and Brushless DC Motors*. Oxford University Press, 1985.
- [3] A. A. Ghoni, H. Suryoatmojo, and M. Ashari, "Desain dan Analisis Variabel Air Gap pada Motor Axial Flux Brushless DC



- Berbasis 3D Finite Element Method Untuk Aplikasi Kendaraan Listrik,” *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 2, pp. 26–30, 2015.
- [4] R. E. Quintal-Palomo, M. Gwozdziwicz, and M. Dybkowski, “Modelling and co-simulation of a permanent magnet synchronous generator,” *COMPEL - Int. J. Comput. Math. Electr. Electron. Eng.*, vol. 38, no. 6, pp. 1904–1917, 2019.
- [5] M. I. Indiarbi, “Analisa desain airgap (celah udara) pada axial flux permanent magnet generator untuk aplikasi turbin angin,” Universitas Muhammadiyah Malang, 2019.
- [6] A. Indriani, “Analisis Pengaruh Variasi Jumlah Kutub dan Jarak Celah Magnet Rotor Terhadap Performan Generator Sinkron Fluks Radial,” *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 9, no. 2, 2015.
- [7] M. Kasim, P. Irasari, M. F. Hikmawan, P. Widiyanto, and K. Wirtayasa, “Effect of air gap variation on the performance of single stator single rotor axial flux permanent magnet generator,” in *AIP Conference Proceedings*, 2017, vol. 1813.
- [8] A. A. Yusuf and M. Irfan, “A Design of Coreless Permanent Magnet Axial Flux Generator for Low Speed Wind Turbine,” in *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 2018, pp. 637–641.
- [9] Y. Wan, S. Cui, S. Wu, and L. Song, “Electromagnetic Design and Losses Analysis of a High-Speed Permanent Magnet Synchronous Motor with Toroidal Windings for Pulsed Alternator,” *Energies*, vol. 11, no. 562, pp. 1–21, 2018.
- [10] M. C. Anam, M. Irfan, and Nurhadi, “Perancangan Generator 100 Watt Menggunakan Software Elektromagnetik Infolytica,” *Kinet. Game Technol. Inf. Syst. Comput. Network, Comput. Electron. Control*, vol. 2, no. 1, pp. 27–36, 2017.
- [11] O. Barré and B. Napame, “Concentrated windings in compact permanent magnet synchronous generators: Managing efficiency,” *Machines*, vol. 4, no. 1, pp. 1–32, 2016.