



**OPTIMALISASI DESAIN *YOKELESS AND SEGMENTED ARMATURE*  
*AXIAL FLUX PERMANENT MAGNETS* UNTUK MEMINIMALISIR  
*COGGING TORQUE* DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM***

**SKRIPSI**

**YUSAK HAMONANGAN RIATMAJA**

**2210314074**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO**

**2026**



**OPTIMALISASI DESAIN *YOKELESS AND SEGMENTED ARMATURE  
AXIAL FLUX PERMANENT MAGNETS* UNTUK MEMINIMALISIR  
*COGGING TORQUE* DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM***

**SKRIPSI**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar  
Sarjana Teknik**

**YUSAK HAMONANGAN RIATMAJA**

**2210314074**

**UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO**

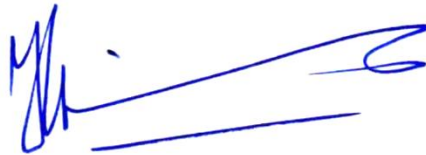
**2026**

## HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi yang diajukan oleh:

Nama : Yusak Hamonagn Riatmaja  
NIM : 2210314074  
Program Studi : S1 – Teknik Elektro  
Judul Skripsi : OPTIMALISASI DESAIN YOKELESS AND SEGMENTED ARMATURE AXIAL FLUX PERMANENT MAGNETS UNTUK MEMINIMALISIR COGGING TORQUE DENGAN METODE GENETIC ALGORITHM

telah berhasil dipertahankan di hadapan tim penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta.



**Dr. Henry Binsar Hamonangan Sitorus, S.T., M.T.**

**Penguji Utama**



**Luh Krisnawati, S.T., M.T.**

**Penguji Lembaga**



**Dr. Eng. Ir. Teguh Firmansyah,  
S.T., M.T., IPM**

**Dekan Fakultas Teknik**



**Ir. Ferdyanto, S.T., M.T.**

**Penguji I (Pembimbing)**



**Luh Krisnawati, S.T., M.T.**

**Koordinator Program Studi  
Teknik Elektro**

Ditetapkan di: Jakarta

Tanggal Ujian: 13 Januari 2026

**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING SKRIPSI**

**OPTIMALISASI DESAIN *YOKELESS AND SEGMENTED ARMATURE*  
*AXIAL FLUX PERMANENT MAGNETS* UNTUK MEMINIMALISIR  
*COGGING TORQUE* DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM***

**Yusak Hamonangan Riatmaja**  
NIM. 2210314074

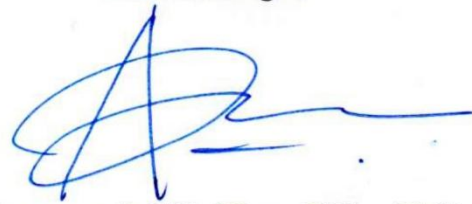
Disetujui oleh,

**Pembimbing I**



**Ir. Ferdyanto, S.T., M.T.**

**Pembimbing II**



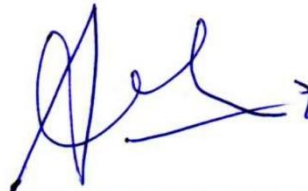
**Ir. Armansyah S.T., M.sc., M.Sc., Ph.D.**

**Mengetahui,**

**Kepala Program Studi Teknik Elektro**

**Fakultas Teknik**

**Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta**



**Ir. Achmad Zuchriadi P., S.T., M.T.**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan semua sumber yang dikutip ataupun digunakan sebagai rujukan telah saya nyatakan benar.

Nama : Yusak Hamonangan Riatmaja  
NIM : 2210314074  
Program Studi : S1 – Teknik Elektro

Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 13 Januari 2026

Yang menyatakan,



The image shows a handwritten signature in blue ink over a yellow revenue stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '2000', 'METERAI TEMPEL', and the alphanumeric code 'DFCA2ANX114916758'.

Yusak Hamonangan Riatmaja

## **HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai *civitas academica* Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yusak Hamonangan Riatmaja

NIM : 2210314074

Program Studi : S1 – Teknik Elektro


menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

### **OPTIMALISASI DESAIN *YOKELESS AND SEGMENTED ARMATURE AXIAL FLUX PERMANENT MAGNETS* UNTUK MEMINIMALISIR *COGGING TORQUE* DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM***

Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola (dalam bentuk pangkalan data, merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis dan pemilik hak cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Jakarta, 13 Januari 2026

Yang menyatakan,



Yusak Hamonangan Riatmaja

# OPTIMALISASI DESAIN *YOKELESS AND SEGMENTED ARMATURE AXIAL FLUX PERMANENT MAGNETS* UNTUK MEMINIMALISIR *COGGING TORQUE* DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM*

Yusak Hamonangan Riatmaja

## ABSTRAK

Peningkatan penggunaan kendaraan listrik (*Electric Vehicle/EV*) mendorong inovasi teknologi motor penggerak yang efisien dan memiliki kepadatan daya tinggi, seperti *Yokeless and Segmented Armature Axial Flux Permanent Magnet* (YASA AFPM). Meskipun memiliki keunggulan bobot yang ringan dan torsi tinggi, YASA AFPM memiliki kelemahan berupa torsi *cogging* yang menyebabkan getaran dan kebisingan, terutama pada kecepatan rendah. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalisir torsi *cogging* pada YASA AFPM melalui optimalisasi geometri magnet dan stator tanpa mengurangi kinerja motor secara signifikan. Metode yang digunakan menggabungkan simulasi *3D Finite Element Analysis* (FEA) dengan metode *Response Surface Methodology* (RSM) untuk pemodelan matematis dan *Genetic Algorithm* (GA) untuk proses optimasi. Parameter desain yang divariasikan meliputi pergeseran sudut magnet dalam ( $\alpha$ ) dan luar ( $\beta$ ), lebar celah udara ( $g$ ), serta bukaan slot stator ( $b_0$ ). Desain optimal ini berhasil menurunkan torsi *cogging* secara signifikan dari 0.6215 Nm pada model awal (*baseline*) menjadi 0.1168 Nm, atau setara dengan reduksi sebesar 81.31%. Meskipun terdapat sedikit penurunan efisiensi dari 93.4% menjadi 92.9% akibat pelebaran celah udara, kinerja motor secara keseluruhan dinilai tetap sangat baik dengan profil torsi yang jauh lebih halus, menjadikan desain ini lebih ideal untuk aplikasi kendaraan listrik.

**Kata kunci:** *Electric Vehicle (EV), Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), Axial Flux Permanent Magnet (AFPM), Yokeless and Segmented Armature (YASA),*

# **OPTIMIZATION OF YOKELESS AND SEGMENTED ARMATURE AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET DESIGN TO MINIMIZE COGGING TORQUE USING GENETIC ALGORITHM**

**Yusak Hamonangan Riatmaja**

## **ABSTRACT**

*The increasing adoption of Electric Vehicles (EVs) drives innovation in efficient and high-power-density traction motors, such as the Yokeless and Segmented Armature Axial Flux Permanent Magnet (YASA AFPM) motor. Despite its advantages in lightweight construction and high torque density, the YASA AFPM suffers from cogging torque, which causes vibrations and noise, particularly at low speeds. This study aims to minimize cogging torque in YASA AFPM by optimizing the magnet and stator geometry without significantly compromising motor performance. The methodology integrates 3D Finite Element Analysis (FEA) simulation with Response Surface Methodology (RSM) for mathematical modeling and Genetic Algorithm (GA) for the optimization process. The varied design parameters include inner ( $\alpha$ ) and outer ( $\beta$ ) magnet shifting angles, air gap length ( $g$ ), and stator slot opening ( $b_0$ ). This optimal design successfully reduced the cogging torque significantly from 0.6215 Nm in the baseline model to 0.1168 Nm, equivalent to a reduction of 81.31%. Although there is a slight decrease in efficiency from 93.4% to 92.9% due to the air gap widening, the overall motor performance is considered excellent with a much smoother torque profile, making this design more suitable for electric vehicle applications.*

**Keywords:** *Electric Vehicle (EV), Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM), Axial Flux Permanent Magnet (AFPM), Yokeless and Segmented Armature (YASA).*

## KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yesus Kristus karena telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “OPTIMALISASI DESAIN *YOKELESS AND SEGMENTED ARMATURE AXIAL FLUX PERMANENT MAGNETS* UNTUK MEMINIMALISIR *COGGING TORQUE* DENGAN METODE *GENETIC ALGORITHM*”. Penulisan skripsi disusun sebagai salah satu syarat akademis dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Elektro Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jakarta.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang mendalam kepada seluruh pihak yang telah rela meluangkan waktu untuk kebersamai, mendukung, membantu, memberikan kritik, mendoakan, dan mempercayai penulis selama proses pengerjaan skripsi ini, kepada:

1. Keluarga yang penulis sayangi, Papa, Mama, serta kedua adik penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan pada jalan yang telah penulis tentukan.
2. Bapak Ir. Ferdianto, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan arahan, ilmu, serta motivasi yang berharga dalam penyelesaian skripsi ini
3. Bapak Ir. Armansyah, S.T., M.Sc., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 2 yang senantiasa meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, masukan dan saran demi kesempurnaan skripsi ini.
4. Bapak Ir. Achmad Zuchriadi P., S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Veteran Jakarta yang telah memberikan dukungan, fasilitas, serta pelayanan akademik bagi penulis.
5. Eugenia Yoansa Nugroho selaku kekasih yang senantiasa kebersamai, memberikan dukungan moral, doa, dan semangat yang luar biasa kepada penulis.
6. Seluruh rekan Teknik Elektro Angkatan 2022 terutama Fayyadh Dzakwan, Adichandra Putra Ariesta, Putri Setyarini, Muhammad Rafli Aulia, Helmi Faiz Baihaqi, Arya Kusuma Nugraha, Irbab Maulana Manaf, Albert Ronald Wijoyo, Kumara Hisyam Achmad, Achmad Pandu Ayli, Zefanya Adrian Connery Sinurat, Ahmad Rafli Himawan, Rafi Dzikra, Fahrurizqi Ilham, Rubio Azza Arafah, dan Ahmad Fauzan Ritonga terima kasih atas solidaritas, bantuan, dan kenangan yang telah mewarnai perjalanan penulis di bangku perkuliahan.

7. Ridwan Bambang Rianto, S.T., Ridwan Daris Naufal, S.T., Naufal Dary Dewanto, S.T., dan Fajar Nurdianzah, S.T., terima kasih telah meluangkan waktu untuk berbagi ilmu, memberikan kritik, serta menjadi teladan bagi penulis selama proses pengerjaan skripsi.
8. Kevin Yesaya Christian Djiun, Falens Nicanor, Naazhira Rihadatul A'isy, Edelheid Maria Manting, dan Athena Permata Galilea, sebagai sahabat penulis. Terima kasih telah menjadi *support system* dan senantiasa mendengarkan keluh kesah penulis di tengah proses penyusunan skripsi.
9. Yusak Hamonangan Riatmaja, terima kasih untuk diri saya sendiri atas segala kesabaran, kerja keras, dan keberanian, dan menjadi rekan kerja terbaik bagi tubuh dan pikiran hingga akhirnya sampai pada titik ini.

Namun, penulis sadar bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi menyempurnakan penelitian di tahap berikutnya. Akhir kata, penulis berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak di kemudian hari.

Jakarta, Januari 2026  
Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS ...</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Penelitian Terdahulu .....	5
2.2 YASA AFPM .....	8
2.2.1 Stator pada YASA AFPM.....	9
2.2.2 Rotor pada YASA AFPM .....	10
2.3 Torsi pada YASA AFPM.....	11
2.4 Torsi <i>cogging</i> pada YASA AFPM.....	12
2.5 Pengurangan torsi <i>cogging</i> .....	14
2.5.1 Segmentasi magnet .....	15
2.5.2 Pergeseran sudut $\alpha$ dan $\beta$ .....	15
2.5.3 <i>Air gap</i> (jarak celah udara).....	16
2.5.4 Slot opening .....	17
2.6 3D <i>Finite Element Analysis</i> (3D FEA).....	17
2.7 <i>Genetic Algorithm</i> (GA) .....	19
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>22</b>

3.1 Diagram Alir .....	22
3.1.1 Studi literatur .....	22
3.1.2 Rumusan masalah .....	23
3.1.3 Parameter Set Up .....	23
3.1.4 Modifikasi interior desain .....	25
3.1.5 Proses optimalisasi.....	26
3.1.6 Evaluasi hasil optimasi .....	28
3.2 Perangkat Penelitian.....	29
3.2.1 Perangkat keras .....	29
3.2.2 Perangkat Lunak .....	29
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>30</b>
4.1 Hasil Simulasi <i>Baseline Model</i> .....	30
4.2 Simulasi Faktor <i>Design</i> .....	33
4.3 Proses Optimalisasi .....	36
4.3.1 Efek linier.....	36
4.3.1 Efek kuadratik.....	37
4.3.2 Efek interaksi .....	37
4.3.3 Formulasi fungsi untuk GA .....	38
4.3.4 Analisis pengaruh parameter terhadap torsi <i>cogging</i> .....	39
4.3.5 Genetic Algorithm.....	41
4.4 Hasil Optimasi .....	43
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>	<b>51</b>
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Konfigurasi YASA AFPM pada in-wheel.....	2
<b>Gambar 2.1</b> Topologi YASA AFPM.....	8
<b>Gambar 2.2</b> Topologi YASA AFPM.....	9
<b>Gambar 2.2</b> Segmented armature stator .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Rotor YASA AFPM .....	11
<b>Gambar 2.5</b> Segmentasi magnet dan pergeseran sudut magnet .....	16
<b>Gambar 2.6</b> <i>Air gap</i> dan <i>slot opening</i> .....	17
<b>Gambar 2.7</b> 3D YASA AFPM pada ANSYS Electronics Desktop.....	18
<b>Gambar 3.1</b> <i>Flowchart</i> penelitian.....	22
<b>Gambar 3.2</b> <i>Flowchart</i> Simulasi .....	24
<b>Gambar 3.3</b> <i>Flowchart Genetic Algorithm</i> .....	27
<b>Gambar 4.1</b> <i>Baseline</i> YASA AFPM pada ANSYS Electronics Desktop.....	31
<b>Gambar 4.2</b> Hasil <i>validation check</i> .....	32
<b>Gambar 4.3</b> Hasil torsi <i>cogging baseline</i> model .....	33
<b>Gambar 4.4</b> Grafik pengaruh pergeseran sudut terhadap torsi <i>cogging</i> .....	39
<b>Gambar 4.5</b> Grafik pengaruh <i>air gap</i> terhadap torsi <i>cogging</i> .....	40
<b>Gambar 4.6</b> Grafik pengaruh <i>slot opening</i> terhadap torsi <i>cogging</i> .....	41
<b>Gambar 4.7</b> Hasil konvergensi GA .....	42
<b>Gambar 4.8</b> Grafik tegangan terhadap rpm .....	43
<b>Gambar 4.9</b> Grafik arus terhadap rpm.....	44
<b>Gambar 4.10</b> Grafik <i>power input</i> terhadap rpm .....	45
<b>Gambar 4.11</b> Grafik <i>power output</i> terhadap rpm .....	45
<b>Gambar 4.12</b> Grafik efisiensi terhadap rpm .....	46
<b>Gambar 4.13</b> Hasil optimasi torsi <i>cogging</i> .....	47
<b>Gambar 4.14</b> Hasil simulasi 3D FEA <i>flux vector</i> .....	49
<b>Gambar 4.15</b> Hasil simulasi 3D FEA <i>flux fields</i> .....	50

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Penelitian terdahulu .....	5
<b>Tabel 3.1</b> Parameter geometri baseline penelitian .....	25
<b>Tabel 3.2</b> Rentang parameter yang diuji.....	25
<b>Tabel 3.3</b> Konfigurasi GA .....	28
<b>Tabel 4.1</b> Hasil mesh desain awal YASA AFPM.....	30
<b>Tabel 4.2</b> Hasil simulasi desain awal YASA AFPM.....	31
<b>Tabel 4.3</b> Variasi RSM.....	34
<b>Tabel 4.4</b> Hasil torsi cogging dari variasi RSM .....	35
<b>Tabel 4.5</b> Efek linier parameter .....	36
<b>Tabel 4.6</b> Efek kuadratik parameter .....	37
<b>Tabel 4.7</b> Efek interaksi antar parameter.....	38
<b>Tabel 4.9</b> Hasil parameter output dari hasil optimasi.....	43
<b>Tabel 4.10</b> Hasil simulasi 3D FEA YASA AFPM .....	48
<b>Tabel 4.11</b> Parameter optimal untuk YASA AFPM.....	48

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1** Pembuatan baseline model
- Lampiran 2** Simulasi 3D FEA
- Lampiran 3** Jumlah mesh
- Lampiran 4** Tabel profile set up
- Lampiran 5** Mesh pada YASA AFPM
- Lampiran 6** Mesh pada Air Gap YASA AFPM
- Lampiran 7** Script Genetic Algorithm
- Lampiran 8** Tabel Konvergen Genetic Algorithm
- Lampiran 9** Lembar konsultasi pembimbing 1 dan 2