



**ANALISIS DESAIN MOTOR BLDC MAGNET PERMANEN
UNTUK MENGURANGI TORSI *COGGING* DENGAN
METODE TAGUCHI BERBASIS KOMPUTASI**

SKRIPSI

IDRIS MARBAWI

1910314005

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

2024



**ANALISIS DESAIN MOTOR BLDC MAGNET PERMANEN
UNTUK MENGURANGI TORSI *COGGING* DENGAN
METODE TAGUCHI BERBASIS KOMPUTASI**

SKRIPSI

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

IDRIS MARBAWI

1910314005

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAKARTA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO

2024

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

Skripsi diajukan oleh:

Nama : Idris Marbawi
NRP : 1910314005
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Desain Motor BLDC Magnet Permanen Untuk
Mengurangi Torsi *Cogging* dengan Metode Taguchi
Berbasis Komputasi

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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 B. H. Sitorus, S.T., M.T.

Penguji Utama



Fajar Rahayu Ikhwanul., S.T., M.T.

Penguji Lembaga



Ferdyanto, S.T., M.T.

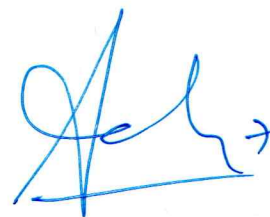
Penguji I (Pembimbing)



Dr. Ir. Muchamad Oktaviandri, S.T.,

M.T., IPM., ASEAN.Eng.

Plt. Dekan Fakultas Teknik



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

CEC.

Ka. Prodi Teknik Elektro

Ditetapkan di : Jakarta
Tanggal Ujian : 9 Januari 2024

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**ANALISIS DESAIN MOTOR BLDC MAGNET PERMANEN UNTUK
MENGURANGI TORSI *COGGING* DENGAN METODE TAGUCHI
BERBASIS KOMPUTASI**

**Idris Marbawi
NIM 1910314005**

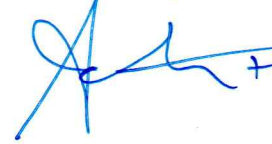
Disetujui Oleh

Pembimbing I



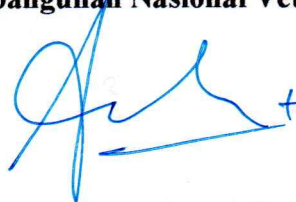
Ferdyanto, S.T., M.T.

Pembimbing II



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

**Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta**



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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini merupakan hasil karya sendiri, semua sumber yang telah dikutip maupun dirujuk telah dinyatakan dengan benar.

Nama : Idris Marbawi
NIM : 1910314005
Program Studi : Sarjana Teknik Elektro

Jika dikemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan saya ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Jakarta, 9 Januari 2024

Penulis,



Idris Marbawi

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Idris Marbawi
NIM : 191031405
Program Studi : Teknik Elektro

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Hak Bebas Royalti Nonekklusif (*Non Exclusive Royalti Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISIS DESAIN MOTOR BLDC MAGNET PERMANEN UNTUK
MENGURANGI TORSI *COGGING* DENGAN METODE TAGUCHI
BERBASIS KOMPUTASI**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) dengan Hak Bebas Royalti ini, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan Skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Jakarta
Pada tanggal: 9 Januari 2024
Yang menyatakan



Idris Marbawi

ANALISIS DESAIN MOTOR BLDC MAGNET PERMANEN UNTUK MENGURANGI TORSI *COGGING* DENGAN METODE TAGUCHI BERBASIS KOMPUTASI

Idris Marbawi

ABSTRAK

Motor listrik merupakan sebuah mesin elektromagnet yang sering digunakan dalam berbagai industri dan produk otomotif. Salah satu jenis motor listrik yang umum digunakan dalam kendaraan listrik adalah *Permanen Magnet Brushless DC Motor* (PM-BLDC), motor tanpa sikat yang menggunakan permanen magnet. Meskipun efisien, motor dengan magnet permanen sering mengalami getaran yang dapat mengganggu kinerjanya. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan desain motor BLDC eksisting dengan fokus pada mengurangi torsi cogging yang ada. Pada awalnya, desain eksisting memiliki tingkat torsi cogging sebesar 0.21482 Nm. Proses optimalisasi dilakukan dengan melakukan modifikasi pada beberapa parameter desain kunci, seperti celah udara, ketebalan magnet, jenis magnet, dan lebar *slot opening*. Simulasi optimalisasi menggunakan perangkat lunak berbasis *finite element method* dengan menerapkan metode Taguchi untuk mengurangi jumlah eksperimen konfigurasi faktor desain dari 625 menjadi 25. Melalui analisis rata-rata (*analysis of mean*) dan analisis ragam (*analysis of variance*), proses optimalisasi berhasil menghasilkan penurunan signifikan pada nilai torsi cogging sebesar 9.98% dan peningkatan efisiensi sebesar 0.6%. Hasil dari desain BLDC magnet permanen yang telah teroptimisasi menunjukkan nilai torsi cogging sebesar 0.115072 Nm dan efisiensi sebesar 86,64% pada kecepatan operasional motor 1500 rpm. Nilai dari daya yang dibutuhkan pada motor BLDC magnet permanen setelah di optimalisasi menurun pada rpm rendah hingga rpm level tertentu. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan motor listrik yang lebih efisien dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi.

Kata kunci: BLDC, torsi cogging, efisiensi, optimalisasi, taguchi

PERMANENT MAGNET BLDC MOTOR DESIGN ANALYSIS TO REDUCE COGGING TORQUE USING COMPUTING BASED TAGUCHI METHOD

Idris Marbawi

ABSTRACT

An electric motor is an electromagnetic machine commonly utilized across various industries and automotive products. One prevalent type of electric motor employed in electric vehicles is the Permanent Magnet Brushless DC Motor (PM-BLDC), a brushless motor employing permanent magnets. However, despite its efficiency, permanent magnet motors often experience vibrations that can disrupt their performance. This research aims to optimize the existing BLDC motor design, with a specific focus on reducing the existing cogging torque. Initially, the existing design exhibited a cogging torque level of 0.21482 Nm. The optimization process involved modifications to several key design parameters, such as air gap, magnet thickness, magnet type, and slot opening width. The optimization simulation employed finite element method-based software and implemented the Taguchi method to reduce the number of experimental design factor configurations from 625 to 25. Through an analysis of means and variance, the optimization process successfully achieved a significant reduction in cogging torque by 9.98% and an increase in efficiency by 0.6%. The results of the optimized permanent magnet BLDC design indicated a cogging torque value of 0.115072 Nm and an efficiency of 86.64% at an operational motor speed of 1500 rpm. The power required by the permanent magnet BLDC motor after optimization decreased at low RPMs up to a certain level. This research provides a substantial contribution to the development of more efficient electric motors suitable for various applications.

Keywords: *BLDC, cogging torque, efficiency, optimization, taguchi*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyusun skripsi ini dengan lancar dan tanpa kendala yang berarti. Penyusunan skripsi ini dilakukan sebagai syarat akademis yang wajib dipenuhi dalam kurikulum di program studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta. Adapun judul dari penelitian ini yaitu “Analisis Desain Motor BLDC Magnet Permanen Untuk Mengurangi Torsi *Cogging* dengan Metode Taguchi Berbasis Komputasi”. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan modifikasi desain motor listrik tipe *Permanent Magnet Brushless DC Motor* dalam upaya meredam torsi *cogging* dengan mempertimbangkan nilai efisiensi dan daya motor.

Dalam proses pembuatan skripsi ini penulis banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada

1. Allah SWT. Yang telah memberikan rahmat dan kelancaran bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dorongan serta motivasi kepada penulis untuk bisa menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Ferdianto S.T., M.T. sebagai dosen pembimbing I skripsi yang telah memberikan bimbingan dan motivasi serta banyak saran yang sangat bermanfaat.
4. Bapak Ir. Achmad Zuchriadi P., S.T., M.T., CEC. sebagai dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan saran serta masukkan yang sangat bermanfaat.
5. Teman-teman Program Studi S1 Teknik Elektro Fakultas Teknik yang memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.

Jakarta, Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Rumusan Masalah.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	6
2.1 Penelitian Relevan.....	6
2.2 Motor Listrik dan <i>Brushless DC Motor</i>	10
2.1.2 Stator	11

2.2.2 Rotor.....	12
2.3 Torsi Pada Motor BLDC Magnet Permanen.....	14
2.4 Torsi <i>Cogging</i>	15
2.5 Pengurangan Nilai Torsi <i>Cogging</i>	15
2.5.1 Lebar celah udara	16
2.5.2 Ketebalan magnet.....	16
2.5.3 Jenis magnet	17
2.5.4 Lebar opening slot stator	17
2.6 <i>Finite Element Analysis</i>	17
2.7 Metode Taguchi	18
2.7.1 <i>Analysis of mean</i>	19
2.7.2 <i>Analysis of variance</i>	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1. Kerangka Penelitian	21
3.1.1 Identifikasi masalah	21
3.1.2 Studi Literatur	21
3.1.3 Pembatasan Masalah	22
3.1.4 <i>Parameter Set Up</i>	22
3.1.5 <i>Running Simulation</i>	23
3.1.6 Pengumpulan Data	23
3.1.7 Pengolahan dan Analisis Data.....	25
3.1.8 Kesimpulan dan Saran.....	25
3.2 Perangkat Penelitian.....	25
3.2.1 Perangkat Keras	25
3.2.2 Perangkat Lunak.....	25
3.3 Tempat Penelitian.....	26

3.4 Jadwal Penelitian.....	26
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Hasil Simulasi Desain Motor Awal.....	27
4.2 Simulasi Faktor Desain	29
4.3 Proses Optimalisasi	32
4.3.1 <i>Analisis of Mean</i>	32
4.3.2 <i>Analisis Of Variance</i>	41
4.3.3 Pemilihan Faktor Desain	47
4.4 Hasil Optimalisasi	49
BAB 5 PENUTUP.....	53
5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	
RIWAYAT HIDUP	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu</i>	6
Tabel 3. 1 Parameter awal motor BLDC magnet permanen	22
Tabel 3. 2 Orthogonal array L25	23
Tabel 3. 3 Variabel faktor desain	25
Tabel 3. 4 Jadwal Penelitian.....	26
Tabel 4. 1 Hasil simulasi desain awal motor BLDC magnet permanen	27
Tabel 4. 2 kombinasi variabel dalam orthogonal array	30
Tabel 4. 3 Hasil simulasi faktor desain orthogonal array.....	31
Tabel 4. 4 pengelompokkan ANOM berdasarkan variabel.....	32
Tabel 4. 5 ANOM variabel A pada efisiensi.....	33
Tabel 4. 6 ANOM variabel B pada efisiensi	34
Tabel 4. 7 ANOM variabel C pada efisiensi	34
Tabel 4. 8 ANOM variabel D pada efisiensi.....	34
Tabel 4. 9 ANOM pada efisiensi.....	35
Tabel 4. 10 ANOM variabel A pada torsi cogging	36
Tabel 4. 11 ANOM variabel B pada torsi cogging	36
Tabel 4. 12 ANOM variabel C pada torsi cogging	36
Tabel 4. 13 ANOM variabel D pada torsi cogging	37
Tabel 4. 14 ANOM pada torsi cogging.....	37
Tabel 4. 15 ANOM variabel A pada output power	38
Tabel 4. 16 ANOM variabel B pada output power	39
Tabel 4. 17 ANOM variabel C pada output power	39
Tabel 4. 18 ANOM variabel D pada output power.....	39
Tabel 4. 19 ANOM pada output power.....	40
Tabel 4. 20 Sum of square [A] pada efisiensi	41
Tabel 4. 21 Sum of square [A] pada torsi cogging	42
Tabel 4. 22 Sum of square [A] pada output power	42
Tabel 4. 23 Sum of square [B] pada efisiensi	42
Tabel 4. 24 Sum of square [B] pada torsi cogging.....	43
Tabel 4. 25 Sum of square [B] pada output power	43
Tabel 4. 26 Sum of square [C] pada efisiensi	43

Tabel 4. 27 Sum of square [C] pada torsi cogging.....	44
Tabel 4. 28 Sum of square [C] pada output power	44
Tabel 4. 29 Sum of square [D] pada efisiensi	44
Tabel 4. 30 Sum of square [D] pada torsi cogging	45
Tabel 4. 31 Sum of square [D] pada output power	45
Tabel 4. 32 Analysis of variance pada ketiga parameter output	45
Tabel 4. 33 Hasil optimalisasi.....	48
Tabel 4. 34 Hasil simulasi desain optimalisasi	49
Tabel 4. 35 Parameter motor BLDC magnet permanen setelah optimalisasi	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jenis kendaraan listrik	2
Gambar 2. 1 Stator desain awal BLDC magnet permanen	12
Gambar 2. 2 (a) Spoke type Permanent Magnet (b) Interior Permanent Magnet (c) Surface mounted Permanent Magnet Sumber:[23]	13
Gambar 2. 3 Desain awal rotor BLDC magnet permanen	13
Gambar 2. 4 Skema motor BLDC magnet permanen[26].....	14
Gambar 2. 5 Medan magnet yang terlihat pada Ansys Electronics Desktop	18
Gambar 3.1 Flowchart penelitian.....	21
Gambar 4. 1 Machine type section.....	28
Gambar 4. 2 Parameter input dan desain satu dimensi motor BLDC magnet permanen.....	28
Gambar 4. 3 Validasi simulasi desain	29
Gambar 4. 4 Torsi <i>Cogging</i> motor BLDC magnet permanen.....	29
Gambar 4. 5 Grafik ANOM efisiensi.....	35
Gambar 4. 6 Grafik ANOM torsi <i>cogging</i>	38
Gambar 4. 7 Grafik ANOM <i>output power</i>	40
Gambar 4. 8 Persentase pengaruh perubahan faktor desain pada Efisiensi	46
Gambar 4. 9 Persentase pengaruh perubahan faktor desain pada Torsi <i>Cogging</i> ..	46
Gambar 4. 10 Persentase pengaruh perubahan faktor desain pada <i>Output power</i> ..	47
Gambar 4. 11 Perbandingan torsi <i>cogging</i> desain awal dan optimalisasi	49
Gambar 4. 12 Perbandingan Efisiensi desain awal dan optimalisasi.....	50
Gambar 4. 13 Perbandingan <i>Output power</i> desain awal dan optimalisasi.....	51

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian	60
Lampiran 2. Perhitungan data	62
Lampiran 3. Lembar Konsultasi.....	64