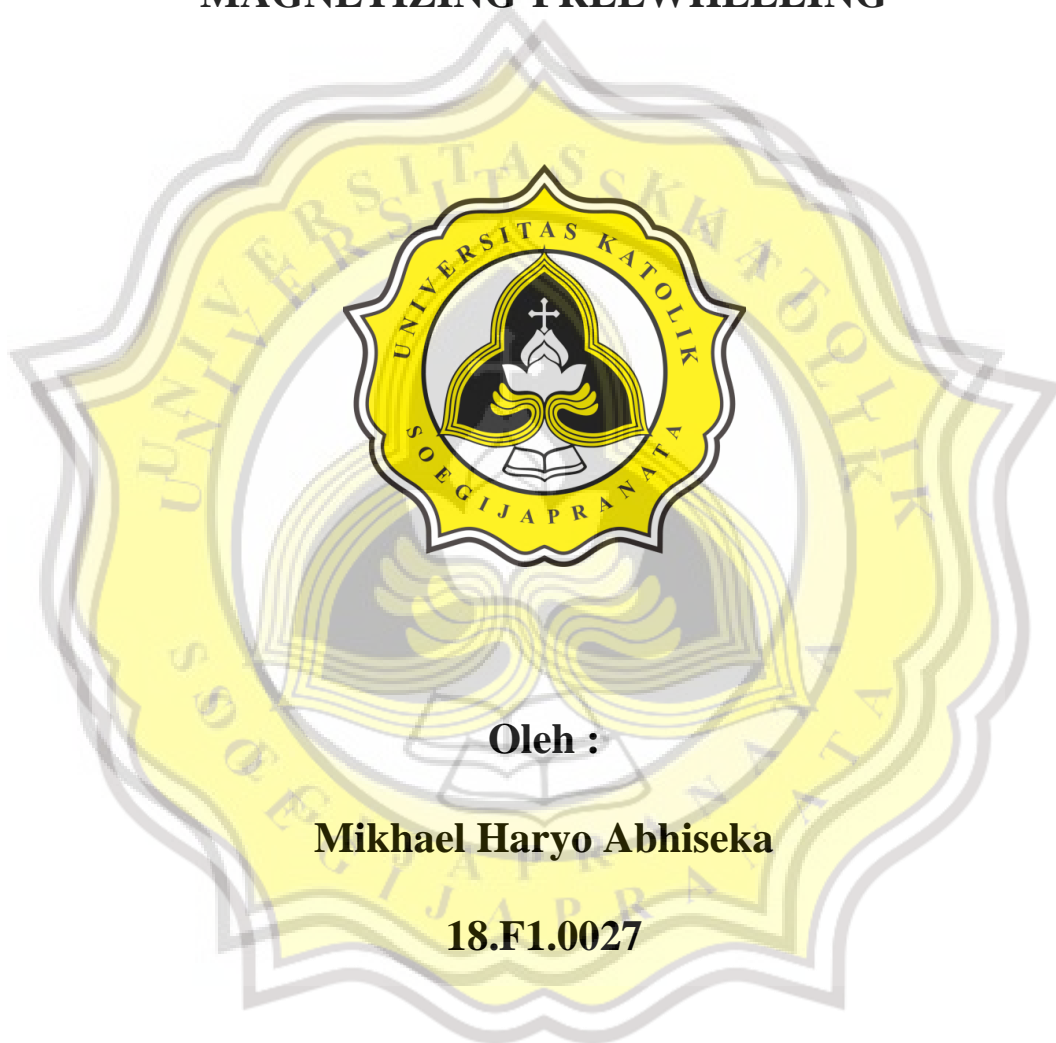


# **LAPORAN TUGAS AKHIR**

## **OPTIMASI PENEREMAN REGENERATIF PADA SWITCHED RELUCTANCE MACHINE DENGAN MENGGUNAKAN METODE MAGNETIZING-FREEWHEELING**



**Oleh :**

**Mikhael Haryo Abhiseka**

**18.F1.0027**

**TEKNIK ELEKTRO  
TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA  
SEMARANG**

**2022**

# **LAPORAN TUGAS AKHIR**

## **OPTIMASI PENGGEREMAN REGENERATIF PADA SWITCHED RELUCTANCE MACHINE DENGAN MENGGUNAKAN METODE MAGNETIZING-FREEWHEELING**

**Diajukan dalam Rangka Memenuhi  
Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar S1 Teknik Elektro**



**Oleh :**

**Mikhael Haryo Abhiseka**

**18.F1.0027**

**TEKNIK ELEKTRO  
TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA  
SEMARANG**

**2022**

**PERNYATAAN**  
**KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)**

Memperhatikan Surat Keputusan Rektor Universitas Katolik Soegijapranata Nomor.:0047/SK.Rek/X/2013 tanggal 07 Oktober 2013, tentang Pernyataan Laporan Tugas Akhir, maka bersama ini Laporan Tugas Akhir Saya yang berjudul "*OPTIMASI PENEREMAN REGENERATIF PADA SWITCHED RELUCTANCE MACHINE DENGAN MENGGUNAKAN METODE MAGNETIZING-FREEWHEELING*", tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Tugas Akhir ini sebagian atau seluruhnya merupakan hasil plagiasi, maka saya rela untuk dibatalkan, dengan segala akibat hukumnya sesuai peraturan yang berlaku pada Universitas Katolik Soegijapranata dan / atau peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Semarang, 21 OKTOBER 2022

Yang menyatakan,

  
METERAI  
TEMPEL  
371CAJX893473347

**MIKHAEL HARYO ABHISEKA**

**NIM. 18.F1.0027**

## HALAMAN PENGESAHAN



Judul Tugas Akhir: : OPTIMASI Pengereman Regeneratif pada Switched  
Reluctance Machine dengan menggunakan Metode  
Magnetizing-Free Wheeling

Diajukan oleh : Mikhael Haryo Abhiseka

NIM : 18.F1.0027

Tanggal disetujui : 21 Oktober 2022

Telah setuju oleh

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi M.T.

Penguji 1 : Dr. Ir. Florentinus Budi Setiawan M.T.

Penguji 2 : Dr. Leonardus Heru Pratomo S.T., M.T.

Penguji 3 : Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi M.T.

Ketua Program Studi : Dr. Leonardus Heru Pratomo S.T., M.T.

Dekan : Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi M.T.

Halaman ini merupakan halaman yang sah dan dapat diverifikasi melalui alamat di bawah ini.  
[sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=18.F1.0027](http://sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=18.F1.0027)

## HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mikhael Haryo Abhiseka  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Laporan Tugas Akhir

Menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Katolik Soegijapranata Semarang Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah yang berjudul **“OPTIMASI Pengereman Regeneratif pada Switched Reluctance Machine dengan menggunakan Metode Magnetizing-FreeWheeling”**. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Katolik Soegijapranata berhak menyimpan, mengalihkan media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir ini selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Semarang, 21 Oktober 2022

Yang menyatakan,



Mikhael Haryo Abhiseka

## ABSTRAK

*Switched Reluctance Machine* (SRM) merupakan motor listrik modern yang cocok untuk kendaraan listrik. Ini banyak digunakan pada kendaraan listrik karena memiliki konstruksi rotor yang sederhana dan rentang kecepatan yang lebar yang dapat dioperasikan pada suhu tinggi sehingga cocok untuk kendaraan listrik. Pengereman Konvensional menyebabkan energi yang hilang pada kendaraan listrik. Pengereman regeneratif memanfaatkan kelebihan energi kinetik yang terbuang saat melakukan pengereman konvensional dan kemudian mengalirkannya kembali ke baterai untuk diisi ulang. Pengereman regeneratif pada SRM memanfaatkan torsi negatif. Kondisi kecepatan rendah akan sangat tidak efektif untuk SRM karena nilai torsi negatif menjadi kecil. Makalah ini akan mengusulkan metode pengereman menggunakan strategi kontrol *magnetizing-freewheeling*. Metode ini dapat meningkatkan kinerja pengereman regeneratif dengan meningkatkan torsi negatif karena operasi kecepatan rendah.

**Kata kunci:** *Switched Reluctance Machine*, Kendaraan Listrik, Pengereman Konvensional, Pengereman Regeneratif, *magnetizing-freewheeling*.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan anugerah-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir yang berjudul “OPTIMASI Pengereman Regeneratif pada Switched Reluctance Machine dengan menggunakan Metode Magnetizing-Free Wheeling” ini disusun untuk memenuhi persyaratan kelulusan sarjana kurikulum strata-1 (S-1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan yang diberikan, baik bantuan secara langsung maupun bantuan tidak langsung selama dalam proses penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Secara khusus rasa ucapan terimakasih saya berikan kepada :

1. Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa memberikan kasih karunia-Nya, dalam proses pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan laporan akhir.
2. Orang tua dan adik penulis yang telah selalu mendoakan dan memberikan semangat serta dukungan selama proses perkuliahan.
3. Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi, MT. Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah bersedia membimbing dengan sabar dalam pelaksanaan Tugas Akhir hingga tuntas.
4. Bapak Dr. Leonardus Heru Pratomo, S.T., MT. Selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan izin dan menyediakan fasilitas penggunaan laboratorium yang digunakan sebagai penunjang pelaksanaan Tugas Akhir.

5. Bapak Dr. Florentinus Budi Setiawan, MT., IPM. Selaku dosen Program Studi Teknik Elektro, yang telah memberikan ilmu, semangat dan memberikan dukungan kepada penulis.
6. Bapak Arifin Wibisono, ST., M.T. Selaku dosen Program Studi Teknik Elektro, yang telah mendampingi, memberikan ilmu, semangat serta dukungan kepada penulis dalam proses tugas akhir.
7. Ibu Fransiska Tri Retno selaku Tata Usaha Teknik Elektro yang telah membantu dalam mengurus administrasi dan informasi selama masa perkuliahan dan tugas akhir.
8. Seluruh Karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata.
9. Kakak tingkat dan alumni Teknik Elektro yang selalu bersedia untuk meluangkan waktu memberikan ilmu dan masukan kepada penulis.
10. Ryan, Rivos, Andhika, Mayang dan Ivan sebagai teman seperjuangan satu bimbingan melewati masa Tugas Akhir.
11. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2018 yang telah menjadi teman seperjuangan dalam perkuliahan.
12. Seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir beserta laporan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk memberikan perbaikan dan kemajuan ilmu pengetahuan. Besar harapan penulis

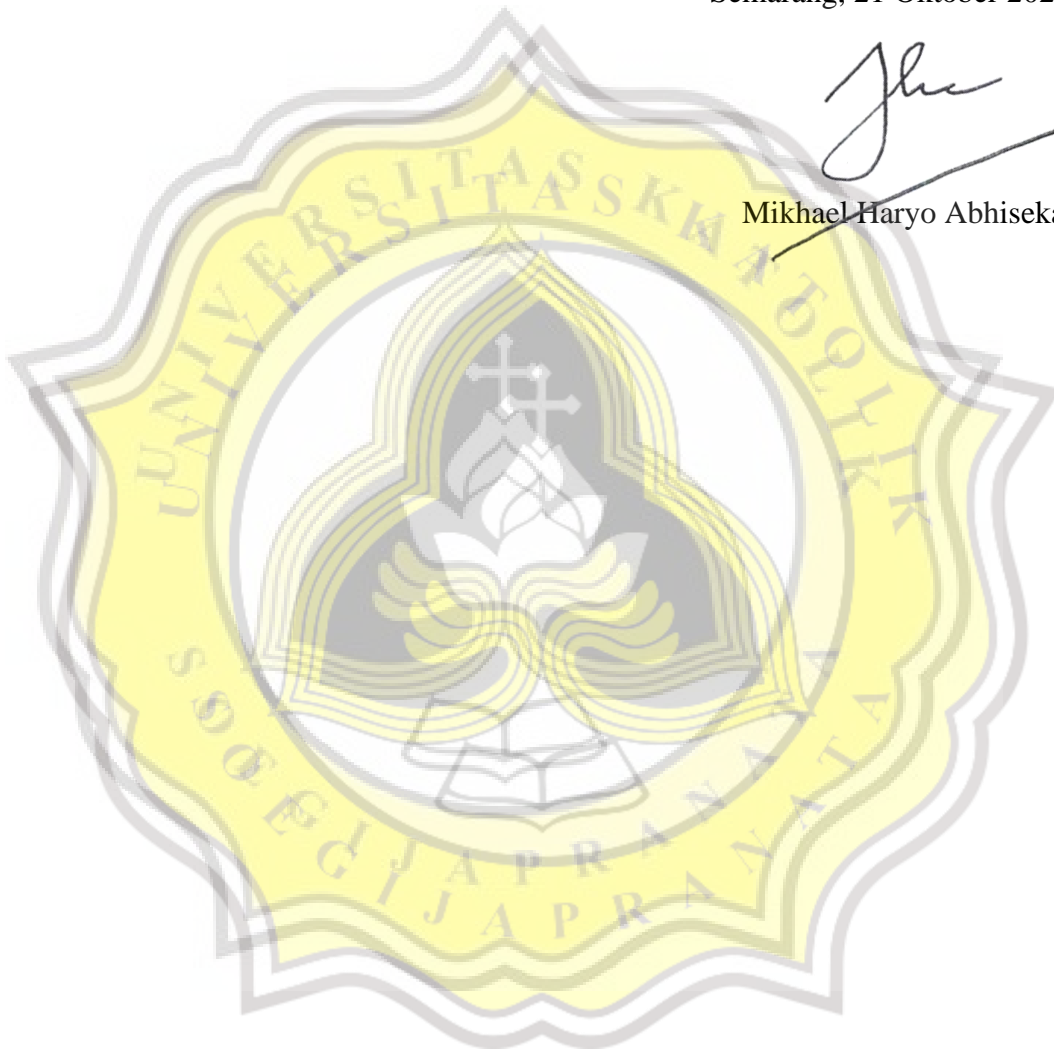


pada laporan Tugas Akhir ini dapat menjadi referensi kemajuan teknologi kendaraan listrik di Indonesia. Akhir kata penulis memohon maaf apabila terdapat kata yang tidak berkenan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

Semarang, 21 Oktober 2022



Mikhael Haryo Abhiseka



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xv</b>
<b>1. BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan dan Manfaat	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
<b>2. BAB II LANDASAN TEORI</b>	<b>6</b>
2.1 Pendahuluan	6
2.2 Switched Reluctance Machine (SRM)	7
2.3 Deteksi Sudut dan Posisi Rotor	9
2.4 Pengereman Regeneratif pada SRM	11
2.5 Komponen Pendukung	13
2.5.1 Mikrokontroler	13

2.5.2	Optocoupler	14
2.5.3	Insulate Gate Bipolar Transistor (IGBT )	15
2.5.4	Sensor <i>Hall Effect</i>	16
2.5.5	Rotary Encoder	17
2.5.6	Catu Daya Isolasi	19
<b>3.</b>	<b>BAB III RANCANG KENDALI OPTIMASI Pengereman REGENERATIF PADA SRM MENGGUNAKAN METODE MAGNETIZING-FREEWHEELING</b>	<b>21</b>
3.1	Pendahuluan	21
3.2	Pengereman Regeneratif dengan Metode <i>Magnetizing-freewheeling</i>	22
3.3	Rangkaian Konverter <i>Asymmetric</i>	26
3.4	Rangkaian Driver <i>Optocoupler</i> TLP 250	29
3.5	Rangkaian Sensor Arus LEM LA 50-P	30
3.6	Rangkaian Catu Daya	31
<b>4.</b>	<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>32</b>
4.1	Pendahuluan	32
4.2	Hasil Implementasi Alat	33
4.3	Pengaruh Kecepatan terhadap Pengereman Regeneratif	34
4.4	Deteksi Posisi Rotor dan sudut	36
4.5	Hasil Percobaan pada <i>Duty Cycle</i> 75%	40
4.6	Hasil Percobaan pada <i>Duty Cycle</i> 50%	42
4.7	Hasil Percobaan pada <i>Duty Cycle</i> 25%	44
4.8	Pembahasan	46

<b>5. BAB V PENUTUP</b>	<b>49</b>
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>50</b>
<b>LAMPIRAN</b>	<b>55</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar-2.1 konstruksi switched reluctance machine (SRM)	7
Gambar-2.2 rangkaian ekivalen SRM	8
Gambar-2.3 (a) Impuls arus (b) Profil induktansi	10
Gambar- 2.4 (a) Posisi Rotor dan Stator (b) Profil Induktansi	12
Gambar-2.5 Arsitektur Mikrokontroler	14
Gambar- 2.6 Rangkaian Optocoupler	15
Gambar- 2.7 (a) Konfigurasi terminal IGBT (b) Kurva karakteristik IGBT	15
Gambar-2.8 Sensor arus hall effect	17
Gambar- 2.9 Klasifikasi rotary encoder	17
Gambar-2.10 Konstruksi rotary encoder	18
Gambar- 2.11 Catu daya DC terisolasi	19
Gambar- 3.1 diagram blok kendali dari pengereman regeneratif pada SRM	21
Gambar-3.2 skema pengereman regeneratif untuk metode magnetizing- freewheeling	23
Gambar- 3.3 Deteksi sudut menggunakan rotary encoder	24
Gambar-3.4 Skema penentuan sudut penyalaan dari proses input capture	25
Gambar-3.5 (a) Induktansi (b) Saklar atas (c) Saklar bawah (d) Tegangan fasa (e) Arus fasa	26
Gambar-3.6 Topologi konverter asymmetric	27
Gambar-3.7 Mode pensaklaran magnetizing	27
Gambar-3.8 Mode pensaklaran freewheeling	28
Gambar-3.9 Skema rangkaian driver TLP250	29

Gambar- 3.10 rangkaian sensor arus LEM LA 50-P	30
Gambar- 3.11 Rangkaian catu daya	31
Gambar- 4.1 Implementasi alat	33
Gambar- 4.2 Hasil percobaan Arus Fasa metode single pulse pada kecepatan (a) 1800 RPM (b) 1500 RPM (c) 1200 RPM	35
Gambar- 4.3 Hasil percobaan gelombang (a) impuls arus (b) invers pin Z	37
Gambar-4.4 Hasil percobaan gelombang impuls arus dengan sinyal pensaklaran	38
Gambar- 4.5 Sinyal pensaklaran (a) saklar bawah (b) saklar atas	39
Gambar- 4.6 Hasil percobaan (a) arus fasa A (b) arus fasa B (c) arus fasa C (d) arus pengisian baterai pada duty cycle 75%	41
Gambar-4.7 Hasil percobaan (a) Tegangan fasa (b) arus fasa pada duty cycle 75%	42
Gambar- 4.8 Hasil percobaan (a) Arus fasa A (b) arus fasa B (c) arus fasa C (d) arus pengisian baterai pada duty cycle 50%	43
Gambar- 4.9 Hasil percobaan (a) Tegangan fasa (b) arus fasa pada duty cycle 50%	44
Gambar- 4.10 (a) Arus fasa A (b) arus fasa B (c) arus fasa C (d) arus pengisian baterai pada duty cycle 25%	45
Gambar- 4.11 (a) Tegangan fasa (b) arus fasa pada duty cycle 50%	45

## DAFTAR TABEL

Tabel- 4.1 Parameter SRM	34
Tabel- 4.2 Nilai pengereman dan total energi dikembalikan	40

