

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

**OPTIMALISASI Pengereman Regeneratif  
PADA *SWITCHED RELUCTANCE MACHINE*  
DENGAN PERUBAHAN SUDUT EKSITASI PADA  
PULSA TUNGGAL**



**TEKNIK ELEKTRO  
TEKNIK  
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA  
SEMARANG  
2021**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**  
**OPTIMALISASI Pengereman Regeneratif**  
**PADA *SWITCHED RELUCTANCE MACHINE***  
**DENGAN PERUBAHAN SUDUT EKSITASI PADA**  
**PULSA TUNGGAL**

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



**NAZILA KUSUMANINGRUM**  
**16.F1.0003**

**TEKNIK ELEKTRO**  
**TEKNIK**  
**UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA**  
**SEMARANG**  
**2021**

## 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 **“OPTIMALISASI PENEREMAN REGENERATIF PADA SWITCHED RELUCTANCE MACHINE DENGAN PERUBAHAN SUDUT EKSITASI PADA PULSA TUNGGAL”**, 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, 28 April 2021

Yang menyatakan,


**NAZILA KUSUMANINGRUM**

**NIM: 16.F1.0003**

## HALAMAN PENGESAHAN



Judul Tugas Akhir: : OPTIMALISASI Pengereman Regeneratif pada Switched  
Reluctance Machine dengan Perubahan Sudut Eksitasi  
pada Pulsa Tunggal

Diajukan oleh : Nazila Kusumaningrum

NIM : 16.F1.0003

Tanggal disetujui : 28 April 2021

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=16.F1.0003](http://sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=16.F1.0003)

**HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nazila Kusumaningrum  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Jurnal ilmiah

Menyetujui memberikan kepada Universitas Katolik Soegijapranata Semarang Hak Bebas Royalti Non-eksklusif atau karya ilmiah yang berjudul "**Optimalisasi Pengereman Regeneratif pada *Switched Reluctance Machine* dengan Perubahan Sudut Eksitasi pada Pulsa Tunggal**" pada **Jurnal Teknik Elektro di Universitas Semarang**. Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Katolik Soegijapranata Semarang 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, 28 April 2021

Yang menyatakan,



**Nazila Kusumaningrum**

**NIM. 16.F1.0003**



## ABSTRAK

Sebagian besar energi terbuang menjadi energi panas akibat pengereman konvensional sehingga diperlukan strategi pengereman yang optimal. Pengereman regeneratif memanfaatkan energi kinetik pada mesin menjadi energi listrik dengan mengubah fungsi mesin listrik menjadi generator. Sistem pengereman regeneratif menggunakan *Switched Reluctance Machine* (SRM) memiliki keunggulan konstruksi yang sederhana, tidak memerlukan perawatan, dan dapat mengembalikan energi ke baterai. Metode yang dapat digunakan pada sistem pengereman regeneratif pada SRM dengan mengubah sudut eksitasi untuk menghasilkan arus puncak fasa maksimal. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan pengereman regeneratif dengan mengubah nilai sudut eksitasi ( $\theta_{eks}$ ) menggunakan pengendalian yang sederhana untuk menghasilkan energi yang lebih besar dari tegangan baterai sehingga adanya arus yang dikirimkan ke sisi baterai saat terjadi pengereman. Hasil analisa pada metodologi penelitian dibuktikan dengan pengujian alat di laboratorium. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan perubahan sudut eksitasi dengan kecepatan awal yang tinggi dapat menghasilkan pengereman regeneratif yang optimal sehingga terjadi proses pengisian daya ke baterai.

**Kata Kunci : GGL balik, Pengereman regeneratif, sudut eksitasi ( $\theta_{eks}$ ), SRM**



## KATA PENGANTAR

Segala Puji atas kehadiran ALLAH SWT penulis panjatkan berkat rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan laporan tugas akhir dengan judul skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. dan puji syukur penulis panjatkan terhadap kehadiran Allah SWT, berkat rahmat, hidayah, dan inayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi yang berjudul **OPTIMALISASI Pengereman Regeneratif pada *Switched Reluctance Machine* dengan perubahan sudut eksitasi pada pulsa tunggal**. Laporan tugas akhir ini di susun untuk memenuhi persyaratan kurikulum sarjana strata-1 (S-1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang. Penulis memberi ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan yang diberikan, baik bantuan secara langsung maupun bantuan secara tidak langsung selama proses penyusunan tugas akhir ini. Secara khusus ucapan terimakasih saya berikan kepada : untuk memenuhi persyaratan kurikulum sarjana strata-1 (S-1) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang.

Penulis memberi ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bantuan yang diberikan, baik bantuan secara langsung maupun bantuan secara tidak langsung selama proses penyusunan tugas akhir ini. Secara khusus ucapan terimakasih saya berikan kepada :

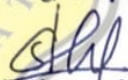
1. Allah SWT yang senantiasa memberikan kemudahan dan kelancaran dalam proses pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan laporan akhir.
2. Keluarga, Umik, Abi, Rina yang tidak kenal lelah memberikan semangat dan memberikan dukungan secara moril maupun secara materil kepada penulis.
3. Bapak Prof. Dr. Ign. Slamet Riyadi, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata dan sekaligus dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah bersedia memberikan bantuan peralatan prototype Tugas Akhir dan memberikan pengarahan dengan sabar dari awal hingga akhir dalam pelaksanaan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Leonardus Heru Pratomo, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan ijin dan menyediakan fasilitas untuk penggunaan laboratorium yang digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
5. Bapak Dr. Florentinus Budi Setiawan, MT., IPM. Selaku dosen Program Studi Teknik Elektro, yang telah memberikan semangat dan memberikan dukungan kepada penulis.
6. Seluruh Dosen dan Karyawan Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata yang telah membantu administrasi selama perkuliahan.
7. Rizky Amalia dan Rizky Adhitya sebagai rekan kerja praktek sekaligus rekan satu kelompok yang telah banyak membantu secara moril maupun secara materiil dalam menyelesaikan Tugas Akhir.



8. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2016 yang telah menjadi teman seperjuangan melewati masa-masa perkuliahan.
9. Vincent Wijaya dan Gregorius Dimas selaku kakak tingkat yang membantu selama pelaksanaan Tugas Akhir.
10. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2012, 2013, 2014, 2015, 2017, 2018 dan 2019 terima kasih atas doa dan dukungannya.
11. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir beserta laporannya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak kekurangan, maka penulis dengan rendah hati mengharapkan saran maupun kritik dari berbagai pihak untuk perbaikan dan perkembangan kedepannya. Penulis juga ingin menyampaikan permohonan maaf apabila terdapat hal-hal yang kurang berkenan dalam penulisan laporan tugas Akhir ini. Besar harapan penulis semoga laporan ini dapat memberikan sumbangan yang berarti bagi kemajuan iptek di lingkungan kampus, masyarakat dan negara

Semarang, 28 April 2021

  
Nazlia Kusumaningrum

## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| <b>LAPORAN TUGAS AKHIR</b>                     | <b>i</b>    |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b>             | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>                      | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b>          | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRAK</b>                                 | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR</b>                          | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI</b>                              | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                           | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                            | <b>xvi</b>  |
| <b>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>BAB II DASAR TEORI</b>                      | <b>6</b>    |
| 2.1. Pendahuluan                               | 6           |
| 2.2. Karakteristik Switched Reluctance Machine | 7           |
| 2.3. Pensaklaran Pulsa Tunggal                 | 9           |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 2.4   | Penentuan Sudut Fasa Menggunakan Fasilitas <i>Input Capture</i>         | 10        |
| 2.5   | Perubahan Bentuk Arus Fasa Terhadap Sudut Eksitasi                      | 12        |
| 2.6   | Komponen Perangkat Keras  | 14        |
| <b>BAB III RANCANGAN KENDALI Pengereman Regeneratif</b> |   |           |
| <b>DENGAN PULSA TUNGGAL</b>                             |   | <b>19</b> |
| 3.1   | Pendahuluan   | 19        |
| 3.2   | Konstruksi <i>Switched Reluctance Machine</i>                           | 19        |
| 3.3   | Prinsip Kerja Pengereman Regeneratif <i>Switched Reluctance Machine</i> | 21        |
| 3.4   | Blok Rangkaian Kendali  | 22        |
| 3.5   | Rangkaian <i>Driver</i>   | 24        |
| 3.6   | Rangkaian Konverter <i>Asymmetric</i>                                   | 25        |
| 3.7   | Sensor Arus   | 31        |
| 3.8   | Rangkaian <i>Power Supply DC-DC Isolated</i>                            | 32        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                      |   | <b>34</b> |
| 4.1   | Pendahuluan   | 34        |
| 4.2   | Hasil Pengujian Alat  | 34        |
| 4.2.1   | Hasil Pengujian Dengan Perubahan Nilai $\theta_{eks}$                   | 35        |
| 4.2.2   | Hasil Pengujian Dengan Perubahan Kecepatan Putar Awal.                  | 41        |
| 4.3   | Pembahasan  | 46        |
| <b>BAB V PENUTUP</b>                                    |   | <b>48</b> |

|     |                       |           |
|-----|-----------------------|-----------|
| 5.1 | Kesimpulan            | 48        |
| 5.2 | Saran                 | 48        |
|     | <b>DAFTAR PUSTAKA</b> | <b>50</b> |



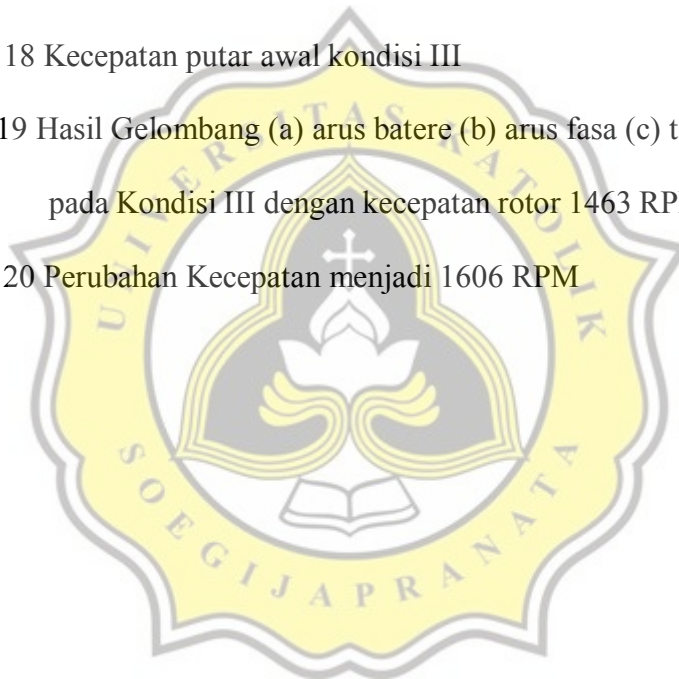
## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar-2. 1 Stator dan rotor pada SRM 12/8   | 7  |
| Gambar-2. 2 Posisi rotor dan profil induktansi   | 9  |
| Gambar-2. 3 Pemodelan sistem pulsa tunggal   | 9  |
| Gambar-2. 4 Penentuan sudut fasa menggunakan fasilitas <i>Input Capture</i> dan <i>hall effect</i> | 12 |
| Gambar-2. 5 Hasil keluaran tegangan dan arus fasa ideal  | 12 |
| Gambar-2. 6 Perubahan $\theta_{eks}$ terhadap profil induktansi.                                   | 13 |
| Gambar-2.7 Perubahan bentuk arus fasa terhadap sudut eksitasi dan sudut komutasi                   | 14 |
| Gambar-2. 8 Konfigurasi pin pada mikrokontroler  | 16 |
| Gambar-2. 9 Diagram fungsi pada IC <i>buffer</i>   | 16 |
| Gambar-2. 10 Konfigurasi pin pada <i>optical coupler</i> .   | 17 |
| Gambar-2. 11 Konfigurasi pin pada IGBT.  | 18 |
| Gambar-2. 12 Konfigurasi pin pada <i>power supply</i>  | 18 |
| Gambar-3. 1 Bentuk fisik stator dan rotor SRM  | 20 |
| Gambar-3. 2 Diagram blok sistem yang diterapkan pada kendaraan listrik.                            | 21 |
| Gambar-3. 3 Rangkaian Kendali  | 23 |
| Gambar-3. 4 <i>Flowchart</i> sistem  | 24 |
| Gambar-3. 5 Rangkaian <i>Driver</i> TLP 250  | 25 |
| Gambar-3. 6 Blok konverter jenis <i>Asymmetric</i>   | 26 |
| Gambar-3. 7 Mode magnetisasi   | 26 |
| Gambar-3. 8 Mode demagnetisasi   | 27 |



|   |    |
|---|----|
| Gambar-3. 9 Pola pensaklaran dengan lebar pulsa kendali 120°  | 30 |
| Gambar-3. 10 Skematik sensor arus LEM La-50P  | 31 |
| Gambar-3. 11 Bentuk fisik sensor arus LEM La-50P  | 31 |
| Gambar-3. 12 Bentuk fisik sensor arus clamp HANTEK.   | 32 |
| Gambar-3. 13 Skema rangkaian <i>power supply isolated</i>   | 33 |
| Gambar-4. 1 Perangkat keras sistem pengereman regeneratif.  | 35 |
| Gambar-4. 2 Kecepatan putar awal rotor  | 36 |
| Gambar-4. 3 Hasil sinyal (a) <i>Input Capture</i> (b) hall effect (c) saklar fasa A<br>(d) saklar fasa B (e) saklar fasa C pada Kondisi I   | 37 |
| Gambar-4. 4 Hasil gelombang (a) arus batere (b) arus fasa (c) tegangan fasa<br>pada Kondisi I   |    |
| Gambar-4. 5 Perubahan Kecepatan pada kondisi I  | 37 |
| Gambar-4. 6 Hasil sinyal (a) <i>Input Capture</i> (b) hall effect (c) saklar fasa A<br>(d) saklar fasa B (e) saklar fasa C pada Kondisi II  | 39 |
| Gambar-4.7 Hasil gelombang (a) arus batere (b) arus fasa (c) tegangan fasa<br>pada Kondisi II   | 39 |
| Gambar-4. 8 Perubahan Kecepatan pada kondisi II   | 39 |
| Gambar-4. 9 Hasil sinyal (a) <i>Input Capture</i> (b) hall effect (c) saklar fasa A<br>(d) saklar fasa B (e) saklar fasa C pada Kondisi III |    |
| Gambar-4. 10 Hasil gelombang (a) arus batere (b) arus fasa (c) tegangan fasa<br>Kondisi III   | 42 |
| Gambar-4. 11 Perubahan Kecepatan pada kondisi III   | 41 |
| Gambar-4. 12 Kecepatan putar awal kondisi I   | 41 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar-4. 13 Hasil Gelombang (a) arus batere (b) arus fasa (c) tegangan fasa<br>pada Kondisi I dengan kecepatan rotor 1821 RPM  | 43 |
| Gambar-4. 14 Perubahan Kecepatan menjadi 1606 RPM   | 42 |
| Gambar-4. 15 Kecepatan putar awal kondisi II  | 43 |
| Gambar-4. 16 Hasil Gelombang (a) arus batere (b) arus fasa (c) tegangan fasa<br>pada Kondisi II dengan kecepatan rotor 1650 RPM | 44 |
| Gambar-4. 17 Perubahan Kecepatan menjadi 1446 RPM   | 44 |
| Gambar-4. 18 Kecepatan putar awal kondisi III   | 44 |
| Gambar-4.19 Hasil Gelombang (a) arus batere (b) arus fasa (c) tegangan fasa<br>pada Kondisi III dengan kecepatan rotor 1463 RPM | 46 |
| Gambar-4. 20 Perubahan Kecepatan menjadi 1606 RPM   | 45 |



## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel-3. 1 Spesifikasi SRM jenis SLT.                       | 19 |
| Tabel-3. 2 Pola Pensaklaran pengereman regeneratif pada SRM | 28 |
| Tabel-4. 1 Hasil Perubahan Kecepatan.                       | 45 |

