

**STRATEGI OPTIMALISASI TORCA PADA SRM
BERBASIS DETEKSI INCREMENTAL ROTARY
ENCODER DAN FPGA**

LAPORAN TUGAS AKHIR



Oleh :

Ronaldo Wisnu Brillianto

19.F1.0026

**TEKNIK ELEKTRO
TEKNIK
UNIVERSITAS KATOLIK SOEGIJAPRANATA
SEMARANG
2022**

FAKULTAS TEKNIK
Program Studi Teknik Elektro
Jl. Pawiyatan Luhur IV/1 Bendan Duwur Semarang 50234
Telp : (024) 8441555 (hunting) Fax : (024) 8415429 – 8445265
Email : tu.elektro@unika.ac.id



**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 "*Strategi Optimalisasi Torka pada SRM Berbasis Deteksi Incremental Rotary Encoder dan FPGA*", 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, 13 Juli 2022

Yang menyatakan,

RONALDO WISNU BRILLIANTO

NIM. 19.F1.0026

HALAMAN PENGESAHAN



Judul Tugas Akhir: : Strategi Optimalisasi Torca pada SRM Berbasis Deteksi Incremental Rotary Encoder dan FPGA

Diajukan oleh : Ronaldo Wisnu Brillianto

NIM : 19.F1.0026

Tanggal disetujui : 13 Juli 2022

Telah setuju oleh

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

Penguji 1 : Dr. Leonardus Heru Pratomo S.T., M.T.

Penguji 2 : Prof. Dr. Ir. Slamet Riyadi M.T.

Penguji 3 : Arifin Wibisono S.T., 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=19.F1.0026

HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ronaldo Wisnu Brillianto
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Jurnal Ilmiah

Setuju untuk memberikan kepada Universitas Katolik Soegijapranata Semarang Hak Bebas Royalti Noneklusif atas karya ilmiah yang berjudul **“STRATEGI OPTIMALISASI KECEPATAN DAN TORCA PADA SRM BERBASIS DETEKSI ROTARY ENCODER DAN FPGA”** pada ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika. Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif 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 pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Semarang, 15 Juli 2022

Yang menyatakan



Ronaldo Wisnu Brillianto

ABSTRAK

Dunia industri mengalami kemajuan yang sangat pesat pada saat ini, contoh kemajuan tersebut dapat dilihat pada industri transportasi dan industri pembangkitan tenaga listrik. *Switched Reluctance Motor (SRM)* yang saat ini banyak digunakan memiliki kelebihan. Faktor kelebihan pada *SRM* yaitu struktur dan konstruksi magnet permanen yang digantikan oleh rotor inti besi dan stator berupa belitan. Sensor *hall effect* dan *rotary encoder* digunakan sebagai perantara untuk mencari informasi posisi rotor dalam pengoperasiannya, *SRM* membutuhkan informasi posisi rotor sebagai proses penentuan sudut penyalaan. Proses sinkronisasi posisi rotor dan stator menggunakan *rotary encoder*, karena memiliki tingkat presisi yang tinggi dibandingkan dengan menggunakan *hall effect*. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan kerja *SRM* menggunakan kontrol *FPGA* dengan meningkatkan kepresisian pada sudut penyalaan, meningkatkan torka, menghaluskan bentuk gelombang arus dan tegangan menggunakan deteksi *rotary encoder*. Berdasarkan hasil pengujian, performa *SRM* yang menggunakan *rotary encoder* memiliki torka yang lebih optimal, sudut penyalaan yang lebih presisi, bentuk arus dan tegangan yang lebih baik, Penelitian ini telah diverifikasi oleh eksperimen dan uji laboratorium.

Kata Kunci: *FPGA, Hall Effect, Rotary Encoder, Switched Reluctance Motor,*

Torka

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis kita panjatkan kepada Allah SWT yang maha pengasih lagi maha penyanyang, atas ridho-Nya skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi yang berjudul “STRATEGI OPTIMALISASI TORCA PADA SRM BERBASIS DETEKSI *INCREMENTAL ROTARY ENCODER* DAN *FPGA* “ ini disusun untuk memenuhi persyaratan kurikulum starta-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 yang secara tidak langsung selama dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini. Secara khusus rasa ucapan terimakasih saya berikan kepada :

1. Allah SWT yang senantiasa memberikan karunia-Nya, serta kekuatan dan cinta dalam proses pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan laporan akhir.
2. Orang tua dan saudara yang telah mendoakan dan semangat dukungan selama perkuliahan.
3. Bapak Prof. Dr. Ign. 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, MT. Selaku Ketua 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. Selaku dosen Program Studi Teknik Elektro, yang telah memberikan ilmu, semangat dan memberikan dukungan kepada penulis.
7. Ibu Fransiska Tri Retno selaku Tata Usaha Teknik Elektro yang telah membantu dalam mengurus administrasi dan informasi saat masa perkuliahan.
8. Seluruh Karyawan Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata.
9. Sahabat-sahabatku yang selalu ada untuk berkeluh kesah disaat susah maupun senang serta mendukung penulis selalu.
10. Sulaiman, Imam dan Guntur sebagai teman seperjuangan melewati masa pengerjaan Tugas Akhir.
11. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2017, 2018 dan 2019 yang telah menjadi teman seperjuangan dalam perkuliahan.
12. Teman-teman alumni dan adik tingkat yang selalu mendukung dan mendoakan.
13. 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 kurang sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak sebagai penunjang perbaikan serta kemajuan. Penulis juga mohon maaf apabila terdapat kata-kata yang kurang berkenan dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini.

Besar harapan penulis semoga laporan Tugas Akhir ini dapat menjadi referensi bagi kemajuan teknologi energi terbarukan di Indonesia.

Semarang, 15 Juli 2022



Ronaldo Wisnu Brillianto



DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR	i
PERNYATAAN KEASLIAN LAPORAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
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
BAB II	6
LANDASAN TEORI	6
2.1 Pendahuluan	6
2.2 Karakteristik <i>Switched Reluctance Motor</i>	7
2.3 Metode Injeksi Pulsa	9

2.4	Komponen Pendukung	11
2.4.1	<i>Field Programmable Gate Array (FPGA)</i>	11
2.4.2	Verilog	12
2.4.3	MOSFET (<i>Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor</i>)	13
2.4.4	Sensor Arus	14
2.4.5	<i>Rotary Encoder</i>	15
2.4.6	<i>DC-DC Isolated Regulator</i>	16
2.4.7	<i>Optocoupler</i>	17
BAB III		18
RANCANG KENDALI OPTIMALISASI TORQUE PADA SRM MENGUNAKAN <i>ROTARY ENCODER</i>		18
3.1	Pendahuluan	18
3.2	Konstruksi <i>Switched Reluctance Motor</i>	19
3.2.1	Konstruksi Rotor <i>SRM</i>	20
3.2.2	Konstruksi Stator <i>SRM</i>	20
3.3	Rancang Kendali	21
3.4	Rangkaian Konverter <i>Asymmetric</i>	24
3.5	Rangkaian <i>Driver Optocoupler</i>	26
3.6	Rangkaian Sensor Arus	27
3.7	Rangkaian <i>Power supply</i>	28
BAB IV		29
HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1	Pendahuluan	29

4.2	Hasil Pengujian Implementasi Alat	29
4.3	Hasil Gelombang dan Kecepatan	33
4.3.1	Hasil Pengujian <i>SRM</i> Menggunakan Sensor <i>Hall effect</i>	34
4.3.2	Hasil Pengujian <i>SRM</i> Menggunakan <i>Rotary Encoder</i>	36
4.4	Pembahasan	38
BAB V		40
PENUTUP		40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA		41
LAMPIRAN		43



DAFTAR GAMBAR

Gambar-2.1 (a) posisi rotor menuju stator (b) posisi rotor sejajar terhadap stator (c) posisi rotor menjauh dari stator	7
Gambar-2.2 Rangkaian ekivalen <i>SRM</i>	8
Gambar-2.3 Impuls Arus	10
Gambar-2.4 <i>FPGA Cyclone IV E</i>	12
Gambar-2.5 Diagram blok perancangan verilog	13
Gambar-2.6 Konfigurasi MOSFET Enhancement N-Chanel	14
Gambar-2.7 Bentuk fisik sensor arus	14
Gambar-2.8 Konstruksi Rotary encoder	15
Gambar-2.9 Komponen (a) B1212S-1W (b) B1205S-2W	16
Gambar-2.10 Skema optocoupler	17
Gambar-3.1 Blok diagram penggerak <i>SRM</i>	18
Gambar-3.2 Konstruksi pada rotor <i>SRM</i>	20
Gambar-3.3 Belitan pada stator <i>SRM</i>	21
Gambar-3.4 Blok diagram injeksi pulsa	22
Gambar-3.5 Blok diagram sinkronisasi posisi rotor dengan pulsa <i>rotary encoder</i>	23
Gambar-3.6 Profil induktansi <i>SRM</i> dengan pulsa <i>rotary encoder</i>	24
Gambar-3.7 Rangkaian konverter <i>asymmetric</i>	24
Gambar-3.8 Mode <i>magnetizing</i>	25
Gambar-3.9 Mode <i>demagnetizing</i>	25

Gambar-3.10 Skema rangkaian <i>driver</i> TLP 250	26
Gambar-3.11 Rangkaian <i>OP-AMP</i> dengan sensor HX 10-P/SP2	27
Gambar-3.12 Rangkaian <i>Power supply</i>	28
Gambar-4.1 <i>Prototype</i> penggerak <i>SRM</i>	30
Gambar-4.2 Hasil gelombang (a) pulsa Pin-Z (b) pulsa Pin-A	31
Gambar-4.3 Hasil gelombang (a) pulsa impuls arus (b) pulsa Pin-Z	32
Gambar-4.4 Hasil gelombang pensaklaran (a) fasa 1 (b) fasa 2 (c) fasa 3	33
Gambar-4.5 Hasil gelombang fasa 1 (a) gelombang arus (b) gelombang tegangan <i>SRM</i> menggunakan deteksi sensor <i>hall effect</i>	34
Gambar-4.6 Hasil gelombang fasa 2 (a) gelombang arus (b) gelombang tegangan <i>SRM</i> menggunakan deteksi sensor <i>hall effect</i>	34
Gambar-4.7 Hasil gelombang fasa 3 (a) gelombang arus (b) gelombang tegangan <i>SRM</i> menggunakan deteksi sensor <i>hall effect</i>	35
Gambar-4.8 Hasil kecepatan motor menggunakan deteksi sensor <i>hall effect</i>	35
Gambar-4.9 Hasil gelombang fasa 1 (a) gelombang arus (b) gelombang tegangan <i>SRM</i> menggunakan deteksi <i>rotary encoder</i>	36
Gambar-4.10 Hasil gelombang fasa 2 (a) gelombang arus (b) gelombang tegangan <i>SRM</i> menggunakan deteksi <i>rotary encoder</i>	36
Gambar-4.11 Hasil gelombang fasa 3 (a) gelombang arus (b) gelombang tegangan <i>SRM</i> menggunakan deteksi <i>rotary encoder</i>	37
Gambar-4.12 Hasil kecepatan motor menggunakan deteksi <i>rotary encoder</i>	37