

**KENDALI KECEPATAN SWITCHED RELUCTANCE
MOTOR BERBASIS PWM DENGAN IMPLEMENTASI
ROTARY ENCODER DAN FPGA**

LAPORAN TUGAS AKHIR



Oleh :

Sulaiman

17.F1.0009

**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 “*KENDALI KECEPATAN SWITCHED RELUCTANCE MOTOR BERBASIS PWM DENGAN IMPLEMENTASI 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, 14 Juli 2022

Yang menyatakan,



METERAI
TEMPEL
4DEA0AJX904999491

SULAIMAN

NIM. 17.F1.0009

HALAMAN PENGESAHAN



Judul Tugas Akhir: : KENDALI KECEPATAN SWITCHED RELUCTANCE MOTOR
BERBASIS PWM DENGAN IMPLEMENTASI ROTARY ENCODER DAN
FPGA

Diajukan oleh : Sulaiman

NIM : 17.F1.0009

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 : Dr. Ir. Florentinus Budi Setiawan 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=17.F1.0009

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

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sulaiman
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 **“KENDALI KECEPATAN SWITCHED RELUCTANCE MOTOR BERBASIS FPGA”** Pada PROtek : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro. 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 penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Semarang, 14 Juli 2022

Yang menyatakan



Sulaiman

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 "KENDALI KECEPATAN *SWITCHED RELUCTANCE MOTOR* BERBASIS PWM DENGAN IMPLEMENTASI *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 ijin 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. Tri Wijayanti yang selalu ada untuk berkeluh kesah di saat susah maupun senang serta mendukung penulis selalu.
10. Mas Guntur, Mas Imam dan Mas Ronaldo sebagai teman seperjuangan melewati masa Tugas Akhir.
11. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2017 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, 14 Juli 2022



Sulaiman



ABSTRAK

Penggerak Motor Switched Reluctance (SRM) banyak digunakan di bidang transportasi elektrik dan aplikasi industri, karena aplikasi ini tergolong ke teknologi ramah lingkungan dengan keunggulan tidak memakai bahan bakar minyak yang dapat menyebabkan polusi udara. Untuk mengoperasikan *SRM* dalam transportasi elektrik, dibutuhkan kecepatan yang dapat diatur dengan mudah dan presisi. *SRM* bekerja berdasarkan prinsip gaya reluktan (tahanan magnetik). Gaya tersebut dihasilkan dari sifat alami pada jalur medan magnetik yang selalu berusaha untuk meminimalkan resistansi magnetik yang disebut dengan reluktan pada rangkaian magnetik. Besar kecilnya eksitasi tergantung dari besar kecilnya arus, besar kecilnya arus ditentukan oleh tegangan sehingga untuk mengatur kecepatan dengan cara mengatur tegangan masukan ke *SRM* melalui teknik *Pulse Width Modulation (PWM)*. Pada penelitian ini *FPGA* akan diimplementasikan untuk mengendalikan kecepatan *SRM* dengan menerapkan pengaturan *PWM*. Algoritma akan diturunkan dan divalidasi dengan pengujian *hardware* di laboratorium. Dari hasil itu dengan mengatur *duty cycle* maka kecepatan akan dapat dikendalikan secara mudah.

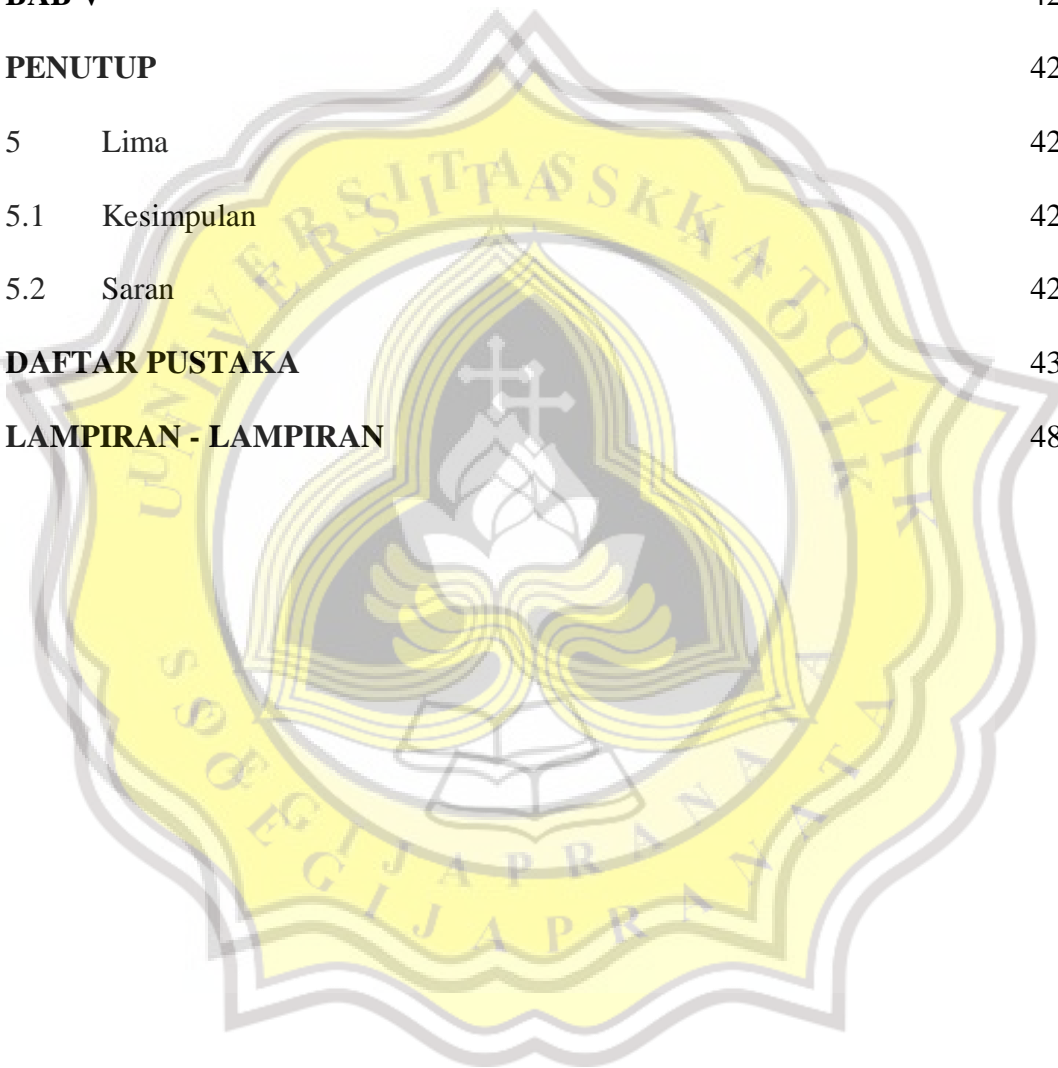
Kata Kunci: *Duty cycle, FPGA, PWM, Reluktansi, Switched Reluctance Motor.*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR(SKRIPSI)	ii
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	ixx
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
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	2
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II	6
LANDASAN TEORI	6
2.1 Pendahuluan	6
2.2 <i>SRM(Switched Reluctance Motor)</i>	7

2.3	<i>Pulse Width Modulation</i>	9
2.4	<i>FPGA(Field Programmable Gate Aray)</i>	10
2.5	<i>Rotary encoder</i>	12
2.6	<i>MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)</i>	13
2.7	<i>Sensor Arus</i>	14
2.8	<i>Optocoupler</i>	15
2.9	Catu Daya	15
BAB III		18
DESAIN DAN IMPLEMENTASI KENDALI KECEPATAN		
SWITCHED RELUCTANCE MOTOR BERBASIS PWM		18
3.1	Pendahuluan	18
3.2	Blok Kendali kecepatan <i>SRM</i> berbasis <i>FPGA</i>	19
3.3	Block <i>converter asymmetric</i>	22
3.4	Rangkaian <i>Optocoupler</i> pada <i>converter asymmetric</i>	24
3.5	Rangkaian Sensor Arus	25
3.6	Rangkaian Catu Daya	26
BAB IV		28
HASIL DAN PEMBAHASAN		28
4.1	Pendahuluan	28
4.2	Hasil Pengujian Perangkat Keras	28
4.2.1	Hasil Pengujian Alat Dengan duty cycle 100%	30
4.2.2	Hasil Pengujian Alat Dengan duty cycle 93%	32
4.2.3	Hasil Pengujian Alat Dengan duty cycle 86%	33

4.2.4	Hasil Pengujian Alat Percobaan Keempat	35
4.2.5	Hasil Pengujian Alat Dengan duty cycle 73%	37
4.2.6	Hasil Pengujian Alat Dengan duty cycle 66%	38
4.3	Pembahasan	40
BAB V		42
PENUTUP		42
5	Lima	42
5.1	Kesimpulan	42
5.2	Saran	42
DAFTAR PUSTAKA		43
LAMPIRAN - LAMPIRAN		48



DAFTAR GAMBAR

Gambar-2.1 Kontruksi SRM 3 fasa 12/8	7
Gambar-2.2 Rangkaian ekivalen SRM	8
Gambar-2.3 Pengaturan PWM	9
Gambar-2.4 <i>Hardware FPGA</i>	10
Gambar-2.5 Diagram perbedaan FPGA dan DSP	11
Gambar-2.6 IC FPGA milik XILINX	11
Gambar-2.7 <i>Rotary encoder</i>	12
Gambar-2.8 <i>Piringan rotary encoder</i>	13
Gambar-2.9 Konfigurasi gerbang MOSFET	14
Gambar-2.10 Bentuk fisik sensor arus	14
Gambar-2.11 Konfigurasi pin <i>optocoupler</i>	15
Gambar-2.12 Komponen (a) B1212S-1W (b) B1205S-2W	16
Gambar-2.13 Rangkaian catu daya	17
Gambar-2.14 Rangkaian <i>voltage regulator</i> pada catu daya	17
Gambar-2.15 Bentuk fisik regulator tegangan	17
Gambar-3.1 Skema <i>SRM</i> kendali kecepatan	18
Gambar-3.2 Skematik <i>wiring FPGA</i> ke <i>I/O</i>	19
Gambar-3.3 Diagram block pemrograman <i>PWM</i> dengan <i>FPGA</i>	20
Gambar-3.4 Urutan penyalaan <i>SRM</i> berbasis <i>PWM</i>	20
Gambar-3.5 Pensaklaran <i>SRM</i> dengan pengaturan modulasi lebar pulsa	21
Gambar-3.6 Rancangan rangkaian <i>converter asymmetric</i>	22
Gambar-3.7 <i>Converter asymmetric mode magnetizing</i>	23

Gambar-3.8 <i>Converter asymmetric mode demagnetizing</i>	23
Gambar-3.9 <i>Driver optocoupler pada asymmetric</i>	24
Gambar-3.10 Skema rangkaian <i>driver</i> TLP 250	25
Gambar-3.11 Skema rangkaian <i>OP-AMP</i> dengan sensor arus HX 10-P/SP2	26
Gambar-3.12 Rangkaian catu daya <i>linier isolated regulator</i>	27
Gambar-3.13 Rangkaian catu daya simetris	27
Gambar-4. 1 Implementasi perangkat keras sistem kendali kecepatan <i>SRM</i>	29
Gambar-4. 2 Hasil pensaklaran <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 100%	30
Gambar-4. 3 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 100%	31
Gambar-4. 4 Hasil kecepatan motor pada dengan duty cycle 100%	31
Gambar-4. 5 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 93%	32
Gambar-4. 6 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 93%	33
Gambar-4. 7 Hasil kecepatan motor pada dengan duty cycle 93%	33
Gambar-4. 8 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 86%	34
Gambar-4. 9 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 86%	34
Gambar-4. 10 Hasil kecepatan motor pada dengan duty cycle 86%	35
Gambar-4. 11 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 80%	35
Gambar-4. 12 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 80%	36
Gambar-4. 13 Hasil kecepatan motor pada dengan duty cycle 80%	36
Gambar-4. 14 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 73%	37
Gambar-4. 15 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 73%	37
Gambar-4. 16 Hasil kecepatan motor pada dengan duty cycle 73%	38
Gambar-4. 17 Hasil gelombang arus <i>SRM</i> 3 fasa dengan duty cycle 66%	39

Gambar-4. 18 Hasil gelombang arus *SRM* 3 fasa dengan duty cycle 66% 39

Gambar-4. 19 Hasil kecepatan motor pada dengan duty cycle 66% 39



DAFTAR TABEL

Tabel-4. 1 Parameter alat penelitian <i>SRM</i>	30
Tabel-4. 2 Hasil perubahan kecepatan	40

