

**PENGEREMAN REGENERATIF MOTOR BLDC  
MENGUNAKAN *CASCADED BOOST CONVERTER*  
UNTUK MENINGKATKAN UNJUK KERJA**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS 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 **“Pengereman Regeneratif Motor BLDC Menggunakan Cascaded Boost Converter untuk Meningkatkan Unjuk Kerja“**, 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, 4 Februari 2021

Yang menyatakan,



**Daniel Rahadian Firmanto**

**NIM : 16.F1.0019**

## HALAMAN PENGESAHAN



Judul Tugas Akhir: : PENEREMAN REGENERATIF MOTOR BLDC MENGGUNAKAN  
CASCADED BOOST CONVERTER UNTUK MENINGKATKAN UNJUK  
KERJA

Diajukan oleh : Daniel Rahadian Firmanto

NIM : 16.F1.0019

Tanggal disetujui : 04 Februari 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.F1.0019](http://sintak.unika.ac.id/skripsi/verifikasi/?id=16.F1.0019)

**HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI ILMIAH UNTUK  
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Daniel Rahadian Firmanto

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Jurnal Ilmiah

Menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Katolik Soegijapranata Semarang Hak Bebas Royalti Nonesklusif atau karya ilmiah yang berjudul **“Pengoptimalan Kinerja Pengereman Regeneratif Motor BLDC Menggunakan Cascaded Boost Converter”** pada **Jurnal ELKOMIKA Institut Teknologi Nasional Bandung**. Dengan Hak Bebas Royalti Nonesklusif ini Universitas Katolik Soegijapranata Semarang berhak menyimpan, mengalihkan media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasi tugas akhir ini selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Semarang, 4 Februari 2021  
Yang menyatakan,



**Daniel Rahadian Firmanto**  
**NIM. 16.F1.0019**

## ABSTRAK

Mesin *brushless direct current* (BLDC) digunakan pada kendaraan listrik karena memiliki torka yang besar dan memungkinkan untuk pengereman regeneratif. Pengereman regeneratif dirancang agar kendaraan listrik memiliki jarak tempuh yang lebih panjang. Pada saat pengereman, konverter *bidirectional* dioperasikan menjadi *boost rectifier* agar energi dapat berpindah ke baterai. *Boost rectifier* memiliki *gain* yang rendah, sehingga pengiriman daya ke baterai kurang optimal. Pada makalah ini ditambahkan *chopper* kedua yang memiliki *gain* tinggi agar pengiriman daya lebih optimal. Metode modulasi lebar pulsa yang dibangkitkan mikrokontrol dsPIC30f4012 digunakan untuk mengendalikan saklar (IRFP 460) pada konverter. Verifikasi menggunakan perangkat keras telah dilakukan untuk mendukung penelitian ini. Dari hasil percobaan menunjukkan semakin besar lebar pulsa pada saklar, maka arus baterai akan semakin besar dan kecepatan mesin akan semakin berkurang.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus, atas berkat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi yang berjudul **PENGEREMAN REGENERATIF MOTOR BLDC MENGGUNAKAN CASCADED BOOST CONVERTER UNTUK MENINGKATKAN UNJUK KERJA** ini disusun untuk memenuhi persyaratan 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 secara tidak langsung selama dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini. Secara khusus rasa ucapan terimakasih saya berikan kepada :

1. Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa memberikan berkat, karunia, serta kekuatan dalam proses pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan laporan akhir.
2. Kedua Orang tua serta kakak yang telah memberikan semangat dan dukungan secara moral maupun materiil kepada penulis.
3. Kakek dan Nenek serta keluarga besar yang telah memberikan doa dan semangat kepada penulis.
4. Bapak Prof. Dr. Ign. Slamet Riyadi, MT. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata dan sekaligus dosen pembimbing Tugas

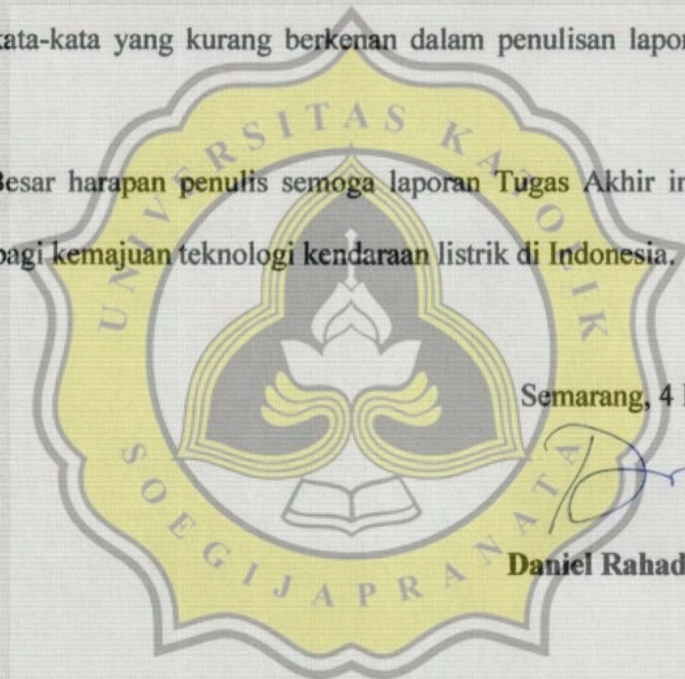
Akhir, yang telah bersedia membimbing dengan sabar dalam pelaksanaan Tugas Akhir hingga tuntas.

5. 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.
6. Bapak Dr. Florentinus Budi Setiawan, MT., IPM. Selaku dosen Program Studi Teknik Elektro, yang telah memberikan ilmu, semangat dan memberikan dukungan kepada penulis.
7. Bapak Arifin Wibisono, ST. Selaku dosen Program Studi Teknik Elektro, yang telah memberikan ilmu, semangat dan memberikan dukungan kepada penulis.
8. Ibu Fransiska Tri Retno selaku Tata Usaha Teknik Elektro yang telah membantu dalam mengurus administrasi dan informasi saat masa perkuliahan.
9. Seluruh Karyawan Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata.
10. Petra Elisa Ayu Hashinta dan Keluarga yang telah membantu dan memberikan semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
11. Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2016 yang telah menjadi teman seperjuangan dalam perkuliahan.
12. Teman-teman Senat Mahasiswa Universitas periode 2018/2019.

13. Teman-teman Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik periode 2017/2018.
14. Teman-teman Kos tercinta yang telah memberikan dukungan serta semangat selama pelaksanaan Tugas Akhir.

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 kendaraan listrik di Indonesia.



Semarang, 4 Februari 2020

  
**Daniel Rahadian Firmanto**



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I 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 LANDASAN TEORI	6
2.1 Pendahuluan	6
2.2 Motor BLDC	6
2.3 Generator BLDC	7
2.4 <i>Boost Rectifier</i>	8

2.5	<i>Cascaded Boost Converter</i>	9
2.6	Pengereman Regeneratif	11
2.7	MOSFET	12
2.8	Mikrokontoler	13
2.9	Sensor Arus	13
2.10	<i>Photoelectric coupler</i>	14
2.11	<i>DC-DC Isolated Power Supply</i>	14
<b>BAB III DESAN RANCANGAN DAN IMPLEMENTASI Pengereman</b>		
<b>REGENERATIF MENGGUNAKAN CASCADED BOOST CONVERTER</b>		
3.1	Pendahuluan	16
3.2	Prinsip Kerja <i>Cascaded Boost Converter</i> pada Pengereman Regeneratif	16
3.3	Rangkaian Daya <i>Boost Rectifier</i>	22
3.4	Rangkaian Daya <i>Chopper</i> kedua	22
3.5	Rangkaian <i>Driver</i>	23
3.6	Rangkaian <i>Isolated Power Supply</i>	24
3.7	Rangkaian Sensor Arus	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Pendahuluan	27
4.2	Hasil Pengujian Alat	27
4.3	Pembahasan	38
<b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan	39
5.2	Saran	39

DAFTAR PUSTAKA

41

LAMPIRAN

44



## DAFTAR GAMBAR

Gambar-2. 1 Konstruksi Motor BLDC	6
Gambar-2. 2 GGL pada setiap belitan stator	7
Gambar-2. 3 Rangkaian Ekuivalen Boost Rectifier	8
Gambar-2. 4 Rangkaian boost rectifier pada saat saklar dalam kondisi-on	8
Gambar-2. 5 Rangkaian boost rectifier pada saat saklar dalam kondisi-off	9
Gambar-2. 6 Rangkaian ekuivalen cascaded boost converter	9
Gambar-2. 7 Rangkaian cascaded boost converter pada saat saklar dalam kondisi-on	10
Gambar-2. 8 Rangkaian cascaded boost converter pada saat saklar dalam kondisi-off	11
Gambar-2. 9 Blok diagram pengereman regeneratif dengan konverter	12
Gambar-2. 10 Konfigurasi <i>pin</i> MOSFET	13
Gambar-2. 11 Konfigurasi <i>pin</i> mikrokontroler	13
Gambar-2. 12 Bentuk fisik sensor arus	14
Gambar-2. 13 Konfigurasi <i>pin photoelectric coupler</i>	14
Gambar-2. 14 <i>DC-DC isolated power supply</i>	15
Gambar-3. 1 Blok diagram pengereman regeneratif menggunakan <i>cascaded boost converter</i>	17
Gambar-3. 2 Rangkaian ekuivalen pengereman regeneratif menggunakan <i>cascaded boost converter</i>	17
Gambar-3. 3 Rangkaian ekuivalen pengereman regeneratif mesin BLDC saat belitan menyimpan energi	18

Gambar-3. 4 Rangkaian ekivalen cascaded boost converter ketika saklar dalam kondisi- <i>on</i>	18
Gambar-3. 5 Rangkaian ekivalen pengereman regeneratif mesin BLDC saat energi pada belitan mengalir melalui diode	20
Gambar-3. 6 Rangkaian ekivalen cascaded boost converter ketika saklar dalam kondisi- <i>off</i>	20
Gambar-3. 7 Skema rangkaian daya <i>boost rectifier</i>	22
Gambar-3. 8 Skema rangkaian <i>chopper</i> kedua	23
Gambar-3. 9 Skema rangkaian <i>driver</i> menggunakan <i>photoelectric coupler</i> tipe TLP250	24
Gambar-3. 10 Skema rangkaian <i>isolated power supply</i>	25
Gambar-3. 11 Skema rangkaian <i>op-amp</i> dengan sensor arus LEM HX-10P	26
Gambar-4. 1 Implementasi perangkat keras pengereman regeneratif menggunakan <i>cascaded boost converter</i>	28
Gambar-4. 2 Hasil percobaan GGL fasa a, b, dan c generator BLDC	28
Gambar-4. 3 Pensaklaran pada konverter (a) saklar dua (b) saklar empat (c) saklar lima (d) saklar enam – (probe x1, skala 2.5ms/div, CH1 2V/div, CH2 2V/div, RefA 2V/div, RefB 2V/div)	29
Gambar-4. 4 (a) pensaklaran pada puncak fasa (b) fasa keluaran generator BLDC – (probe x1, RefB skala 250us/div, 5V/div, RefB skala 250us/div, 2V/div)	29
Gambar-4. 5 Referensi kecepatan awal mesin BLDC saat mode akselerasi	30

Gambar-4. 6 (a) EMF balik fasa-a (b) EMF balik fasa-b (c) EMF balik fasa-c pada saat <i>duty cycle</i> 30% - (probe x1, skala 1ms/div, CH1 1V/div, RefA 1V/div, RefB 1V/div)	30
Gambar-4. 7 Perubahan kecepatan menjadi 1635 rpm saat <i>duty cycle</i> sama dengan 30%	31
Gambar-4. 8 Perubahan arus pada induktor dua (L2) saat <i>duty cycle</i> sama dengan 30% - (probe x1, CH1 100mV/div, skala 25us/div)	31
Gambar-4. 9 Perubahan arus pada dioda ultrafast (D8) saat <i>duty cycle</i> sama dengan 30% - (probe x1, CH1 100mV/div, skala 50us/div)	31
Gambar-4. 10 Perubahan arus pada batere saat <i>duty cycle</i> sama dengan 30% - (probe x1, skala 25us/div, CH1 50mV/div)	32
Gambar-4. 11 (a) EMF balik fasa-a (b) EMF balik fasa-b (c) EMF balik fasa-c pada saat <i>duty cycle</i> 50% - (probe x1, skala 1ms/div, CH1 1V/div, RefA 1V/div, RefB 1V/div)	33
Gambar-4. 12 Perubahan kecepatan menjadi 1020 rpm saat <i>duty cycle</i> sama dengan 50%	33
Gambar-4. 13 Perubahan arus pada induktor dua (L2) saat <i>duty cycle</i> sama dengan 50% - (probe x1, CH1 100mV/div, skala 25us/div)	33
Gambar-4. 14 Perubahan arus pada dioda ultrafast (D8) saat <i>duty cycle</i> sama dengan 50% - (probe x1, CH1 100mV/div, skala 50us/div)	34
Gambar-4. 15 Perubahan arus pada batere saat <i>duty cycle</i> sama dengan 50% - (probe x1, skala 25us/div, CH1 50mV/div)	34

Gambar-4. 16 (a) EMF balik fasa-a (b) EMF balik fasa-b (c) EMF balik fasa-c pada saat duty cycle 80% - (probe x1, skala 2.5ms/div, CH1 500mV/div, RefA 500mV/div, RefB 500mV/div)	35
Gambar-4. 17 Perubahan kecepatan menjadi 663 rpm saat duty cycle sama dengan 80%	35
Gambar-4. 18 Perubahan arus pada induktor dua (L2) saat duty cycle sama dengan 80% - (probe x1, CH1 100mV/div, skala 25us/div)	35
Gambar-4. 19 Perubahan arus pada dioda ultrafast (D8) saat duty cycle sama dengan 80% - (probe x1, CH1 100mV/div, skala 50us/div)	36
Gambar-4. 20 Perubahan arus pada batere saat duty cycle sama dengan 80% - (probe x1, skala 25us/div, CH1 50mV/div)	36
Gambar-4. 21 Hasil percobaan arus batere terhadap perubahan <i>duty cycle</i> 30%, 50% dan 80% - (probe x1, skala 25us/div, CH1 50mV/div, RefA 50mV/div, RefB 50mV/div)	37
Gambar-4. 22 Hasil percobaan intensitas arus yang mengalir ke batere	37

## DAFTAR TABEL

Tabel-4. 1 Hasil Percobaan Pengurangan Kecepatan akibat perubahan duty cycle

38

