

**Perancangan Sistem Pengereman *Regenerative* Motor BLDC Dengan  
Pengereman Elektromekanis pada mobil listrik**



**LAPORAN AKHIR**

**Disusun untuk memenuhi persyaratan Mata Kuliah Laporan Akhir Pada  
Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika**

**Oleh : Muhammad Bayu Irpan F**

**061830320222**

**POLITEKNIK NEGERI SRWIJAYA PALEMBANG**

**2021**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**Perancangan Sistem Pengereman *Regenerative* Motor BLDC Dengan  
Pengereman Elektromekanis Pada Mobil Listrik**



**LAPORAN AKHIR**

**Disusun untuk memenuhi persyaratan Mata Kuliah Laporan Akhir Pada  
Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika**

**Oleh : Muhammad Bayu Irpan F**

**061830320259**

**Palembang, Februari 2021**

**Menyetujui,**

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Selamat Muslimin, S.T., M.Kom**

**NIP. 197907222008011007**

**Ketua Jurusan  
Teknik Elektro**

**Johansyah Al Rasvid, S.T., M.Kom**

**NIP. 197803192006041001**

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi  
Teknik Elektronika D3**

**Ir. Iskandar Lutfi, M.T.**

**NIP. 196501291991031002**

**Dewi Permata Sari, S.T., M.Kom.**

**NIP.197612132000032001**

**Perancangan Sistem Pengereman *Regenerative* Motor BLDC Dengan  
Pengereman Elektromekanis Pada Mobil Listrik**

**Muhammad Bayu Irpana F,**

**Tenik Elektro, Program Studi Elektronika, Politeknik Negeri Sriwijaya.**

**bayuirpan282@gmail.com**

---

**ABSTRAK**

Perkembangan mobil listrik di Indonesia saat ini berlangsung sangat pesat. Namun masih memiliki kendala karena kemampuan jelajah mobil listrik yang terbatas sampai akhirnya menemukan tempat untuk mengisi ulang baterai. Oleh karena itu, diperlukan adanya teknologi untuk meningkatkan ketahanan daya baterai.

Salah satu teknologi yang dapat meningkatkan ketahanan daya baterai adalah dengan cara me-recovery energi yang terbuang pada saat pengereman. Selain mendapatkan sumber listrik dari baterai, masukan daya pada sistem Electric Vehicle juga dapat diperoleh dari motor listrik pada saat terjadi pengereman regeneratif. Agar diperoleh kinerja yang optimal, pada pengereman regeneratif ini menggunakan metode switching Mosfet dari Buck – Boost Converter.

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang pengereman Regenerative pada mobil listrik agar terjadi penghematan pada penggunaan baterai sehingga jarak tempuh lebih jauh, serta pembuatan pengereman secara elektromekanis, agar mobil bisa direm secara elektrik maupun mekanik.

**Kata Kunci : IGBT, Motor BLDC, PWM.**

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT berkat nikmat, karunia dan hidayah-Nya penulis masih diberikan kesehatan, keselamatan dan kesempatan untuk dapat menyusun dan menyelesaikan Laporan Akhir tepat pada waktunya. Laporan Akhir ini ditulis untuk memenuhi syarat menyelesaikan Pendidikan Diploma III Politeknik Negeri Sriwijaya pada Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika, dengan judul “Perancangan Sistem Pengereman *Regenerative* Motor BLDC Dengan Pengereman Elektromekanis Pada Mobil Listrik”. Kelancaran proses pembuatan Alat dan penulisan proposal laporanakhir ini tak luput berkat bimbingan, arahan dan petunjuk dari berbagai pihak, baik pada tahap persiapan, penyusunan, hingga terselesaikannya Alat dan Laporan Akhir ini. Maka dari itu penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Selamat Muslimin, S.T., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing I
  2. Bapak Johansyah Al Rasyid, S.T., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing II
- Kemudian penulis juga mengucapkan terima kasih atas bantuan moril dan materiil yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Akhir dengan ketentuan yang telah ditetapkan Politeknik Negeri Sriwijaya,

kepada :

1. Bapak Dr. Ing. Ahmad Taqwa, M.T., selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
2. Bapak Ir. Iskandar Lutfi, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
3. Bapak Herman Yani, S.T., M.Eng., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.

4. Ibu Dewi Permata Sari, S.T., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya.
6. Seluruh Staf Teknisi laboratorium dan bengkel Jurusan Teknik Elektro Program Studi Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya.
7. Kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan doa dan dukungan kepada saya selama pembuatan alat dan penulisan Laporan Akhir.
8. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu sehingga Laporan Akhir ini dapat terselesaikan.

Semoga bantuan dan dukungan yang telah diberikan dapat menjadi amal di hadapan Allah SWT. Akhir kata penulis berharap agar Laporan Akhir ini dapat berguna bagi pembaca umumnya dan mahasiswa jurusan Teknik Elektronika.

Palembang, Februari  
2021

Penulis

## Daftar Isi

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
Daftar Gambar.....	x
Daftar Tabel .....	xii
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan dan Manfaat .....	3
1.2.1 Tujuan .....	3
1.2.2 Manfaat .....	3
1.3 Perumusan Masalah .....	3
1.4 Pembatasan Masalah .....	3
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.5.1 Metode Literatur.....	3
1.5.2 Metode Observasi.....	4
1.5.3 Metode Wawancara.....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTAKA .....	6
2.1 Mobil Listrik .....	6
2.1.1 Sejarah Mobil Listrik .....	6
2.1.2 Perkembangan Mobil Listrik .....	7
2.2 Baterai (Accumulator).....	8
2.2.1 Jenis-Jenis Baterai.....	8
2.2.1.1 Baterai Sealed Lead Acid.....	9
2.2.1.2 Baterai Li-Ion .....	10
2.2.1.3 Baterai Lithium-Polymer .....	10

2.2.1.4 Baterai Nickel Metal Hydrade .....	11
2.2.2 Cara Kerja Baterai.....	12
2.2.3 Pengaplikasian baterai secara seri dan paralel .....	12
2.2.4 Karakteristik Baterai .....	13
2.2.5 Perbandingan Baterai .....	14
2.3 Charging.....	16
2.3.1 Metode Charging.....	16
2.3.1.1 Constant voltage.....	16
2.3.1.2 Constant current .....	16
2.3.1.3 Taper current .....	17
2.3.1.5 Burp Charging.....	17
2.3.1.6 Trickle charge.....	17
2.3.2 Proses Pengisian Accu .....	18
2.4 Motor Brushless DC (Motor BLDC) .....	19
2.4.1 Bagian - bagian dari motor brushless DC .....	22
A. Stator .....	22
B. Rotor.....	22
C. Hall Sensor .....	22
2.4.2 Prinsip Kerja Motor Brushless DC .....	23
2.5 Kontroller Motor BLDC .....	27
2.5.1 Bagian Kontroller motor BLDC .....	29
A. Inverter Six Step Comutation.....	29
B. Metode PWM Six-Step Comutation Metode .....	31
C. MOSFET.....	31
2.6 Regenerative Braking.....	33
2.6.1 Sirkuit Kontrol Pengereman Regeneratif .....	36
A. Normal Mode .....	37
B. Regenerative Mode .....	37

2.6.2 Implementasi Ultracapacitor dan DC-DC Konverter dalam Pengereman Regeneratif .....	38
2.6.3 Fuzzy logic control.....	40
2.6.4 Hubungan Antara Faktor-Faktor Pengaruh dan Gaya Rem Regeneratif .....	40
2.7 Mikrokontroler .....	42
2.7.1 Arduino .....	42
2.7.2 Node MCUESP8266.....	44
2.7.3 Relay .....	46
2.7.4 Sensor tegangan .....	46
2.7.5 Sensor Kecepatan .....	47
2.7.6 PZEM 017 Module[75].....	47
BAB III .....	51
PERANCANGAN SISTEM .....	51
3.1 Perancangan Hardware.....	52
3.1.1 Perancangan Elektronik .....	53
3.1.1.1 Diagram Rangkaian.....	53
A. Rangkaian sensor LCD 16x2 pada Baterai .....	53
B. Diagram rangkaian sensor ACS 712 pada Baterai .....	54
C. Rangkaian sensor tegangan pada Baterai .....	55
D. Rangkaian sensor kecepatan pada motor .....	55
E. Rangkaian Kontroler BLDC Motor .....	56
F. Rangkaian pengereman regenerative pada motor .....	57
3.1.1.2 Flowchart .....	57
3.1.2 Perancangan Mekanik .....	58
3.2 Prinsip Kerja Pengereman Regeneratif .....	61
BAB IV .....	63
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	63
4.1 Tujuan Pengukuran Alat .....	63



4.2	Metode Pengukuran Alat.....	63
4.3	Pengukuran Tegangan dan Arus dari Baterai ke Motor dengan Menggunakan Pengereman Regeneratif.....	64
4.4	Pengukuran Tegangan dan Arus Baterai Tanpa Menggunakan Pengereman Regeneratif.....	67
	Bab V .....	71
	Kesimpulan dan Saran.....	71
5.1	Kesimpulan .....	71
5.2	Saran.....	71
	Daftar Pustaka.....	72

## Daftar Gambar

Gambar 1. Gustave Trouvé's tricycle (1881), world's first electric car.....	6
Gambar 2. Diagram Alur Baterai [23] .....	9
Gambar 3. Baterai Sealed Lead Acid .....	9
Gambar 4. Baterai Li-Ion .....	10
Gambar 5. Baterai Lithium-Polymer.....	11
Gambar 6. Nickel Metal Hydrade .....	11
Gambar 7. Rangkaian Baterai Secara Seri .....	12
Gambar 8. Rangkaian Baterai Secara Paralel.....	13
Gambar 9. Pulsa Arus Pada Metode Pulsed Charged dan Burp Charging[29] .....	17
Gambar 10. Ilustrasi baterai dalam keadaan terisi penuh[17].....	19
Gambar 11. Skematik BLDC [34] .....	19
Gambar 12. Konstruksi motor BLDC[35] .....	20
Gambar 13. Pembacaan hall effect[35].....	20
Gambar 14 (a)motor bldc 350 watt, (b)motor bldc 800 watt .....	21
Gambar 15. Skema Kerja Motor BLDC[36].....	23
Gambar 16. Kontroller .....	28
Gambar 17. Rangkaian inverter 3 fasa[35] .....	29
Gambar 18. Sinyal Duty Cycle PWM[30] .....	31
Gambar 19. Rangkaian snubber pada rangkaian switch MOSFET[46] .....	32
Gambar 20. Karakteristik keluaran IGBT dan MOSFET .....	32
Gambar 21. Normal forward driving condition[4].....	34
Gambar 22. Regenerative action during braking[4].....	34
Gambar 23. Arus yang mengalir pada saat pengereman.....	35
Gambar 24. Arus yang mengalir pada saat penyimpanan energi.....	36
Gambar 25. Converter circuit with BLDC motor load[58].....	36
Gambar 26. Status terkait I dalam mode normal. (a) Rangkaian ekivalen. (b) Bentuk gelombang arus input dan fasa, sinyal switching S1 dan S4[58].....	37

Gambar 27. Status terkait I dalam mode regeneratif energi. (a) Rangkaian ekuivalen. (b) Bentuk gelombang arus input dan fasa, sinyal pensaklaran S2 dan S3[58].	38
Gambar 28. Ultracapacitor System[6]	39
Gambar 29. arduino Uno[64]	43
Gambar 30. Gambar arduino Mega 2560R3[63]	43
Gambar 31. NodeMCU ESP8266[65]	45
Gambar 32. NodeMCU ESP8266[62]	45
Gambar 33. Pinout NodeMCU ESP8266[68]	46
Gambar 34. modul sensor tegangan	47
Gambar 35. Sensor optocoupler	47
Gambar 36. Blok diagram PZEM 017	50
Gambar 37. Skema rangkaian PZEM 017	50
Gambar 38. Blok Diagram Perancangan Mobil Listrik	51
Gambar 39. Rangkaian Arduino mega 2560 interface Nodemcu Dengan LCD 16x2 pada Baterai	54
Gambar 40. Rangkaian Arduino mega 2560 interface Nodemcu Dengan sensor ACS 712 pada Baterai	54
Gambar 41. Rangkaian Arduino mega 2560 interface Nodemcu Dengan Sensor Tegangan pada Baterai	55
Gambar 42. Rangkaian sensor kecepatan pada arduino dengan LCD	56
Gambar 43. Rangkaian Kontroler BLDC Motor[76]	56
Gambar 44. Rangkaian pengereman Regeneratif pada motor	57
Gambar 45. Flowchart Pengereman Regeneratif pada Motor	58
Gambar 46. Desain dari Rem Cakram Pada Ban Mobil	59
Gambar 47. desain tata letak komponen pada bagian belakang mobil	60
Gambar 48. desain dashboard belakang mobil	60
Gambar 49. desain dashboard depan mobil	61
Gambar 50. dashboard depan tampak samping	61
Gambar 51. Grafik Arus Pada Saat Pengereman Regeneratif	66

Gambar 52. Grafik Tegangan Pada Saat Pengereman Regeneratif.....	66
Gambar 53. Grafik Tegangan Tanpa Pengereman Regeneratif .....	69
Gambar 54. Grafik Arus Tanpa Pengereman Regeneratif .....	69

## Daftar Tabel

Tabel 1. Karakteristik macam-macam baterai kimia [16].....	13
Tabel 2. Spesifikasi Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid, dan Nickel Metal Hydrade [19].....	14
Tabel 3. data pembacaan hall effect 6 langkah[31].....	20
Tabel 4 spesifikasi motor bldc 350 watt .....	21
Tabel 5 spesifikasi motor bldc 800 watt .....	21
Tabel 6. Kelebihan motor BLDC .....	24
Tabel 7. Kekurangan motor BLDC.....	25
Tabel 8, Perbandingan motor DC tanpa sikat (brushless) dengan motor DC dengan sikat (Brushed)[39].....	25
Tabel 9. Perbandingan motor DC tanpa sikat (brushless) dengan motor induksi[39]	26
Tabel 10. Spesifikasi Kontroller .....	28
Tabel 11. Keterangan Socket .....	28
Tabel 12. Operasi 6 mode pensaklaran pada inverter 3 fasa[31]. .....	30
Tabel 13. Data Teknik Board Arduino Mega 2560[56].....	44
Tabel 14. Daftar hasil pengukuran PZEM 017 .....	48
Tabel 15. Batas alarm daya register .....	49
Tabel 16. hasil percobaan saat motor dijalankan dengan kecepatan 750 RPM .....	64
Tabel 17. hasil percobaan saat motor dijalankan dengan kecepatan 450 RPM .....	67