RANCANG BANGUN *MULTILEVEL BOOST CONVERTER* UNTUK CATU DAYA MOTOR ARUS SEARAH PADA KENDARAAN LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER

(Skripsi)

Oleh
Venus Asadilla

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2018

ABSTRACT

THE DESIGN OF *MULTILEVEL BOOST CONVERTER* FOR POWER SUPPLY OF DIRECT CURRENT MOTOR ON ELECTRIC VEHICLES BASED ON MICROCONTROLLER

By

Venus Asadilla

An electric vehicle is an alternative way to reduce fuel consumption and air pollution in Indonesia. Electric machines are needed for electric vehicle as the booster, such as direct current motor (DCM). It needs dc-dc converter device to control rotational speed of DCM and boosts battery voltage. The device used in this research is a *multilevel boost converter*.

Multilevel boost converter circuit has the same working principle with *conventional boost converter*. Hence, the ratio of its output voltage is higher which will be used as power supply for controlling the rotational speed of DCM. Then, the output voltage of *multilevel boost converter* is compared to the *conventional boost converter* used as power supply of DCM.

On this research, the output voltage value of *multilevel boost converter* which is connected with DCM at the duty cycle of 20 % is 80,3 volt. Furthermore, it had rotated at the speed of 320 rpm. Meanwhile, the output voltage of *boost converter conventional* is 39,4 volt. On the contrary, DCM can not rotated at the duty cycle of 20 % with the same input voltage that will be 12,3 volt. Then, it will be added with load of DCM for *multilevel boost converter* testing. While the load of DCM is heavier, its torque will be increased too. Therefore, *multilevel boost converter* device can be used as power supply of DCM for electric vehicles.

Keywords: Electric vehicles, *multilevel boost converter, boost converter conventional*, direct current motor.

ABSTRAK

RANCANG BANGUN *MULTILEVEL BOOST CONVERTER* UNTUK CATU DAYA MOTOR ARUS SEARAH PADA KENDARAAN LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER

Oleh

Venus Asadilla

Kendaraan listrik merupakan alternatif untuk mengurangi konsusmsi bahan bakar minyak dan pencemaran udara di Indonesia. Sebagai penggerak, kendaraan listrik membutuhkan mesin listrik, salah satunya motor arus searah (MAS). Untuk mengendalikan kecepatan putar MAS diperlukan suatu perangkat konverter dc-dc yang mampu menaikkan tegangan baterai. Perangkat yang akan digunakan pada tugas akhir ini adalah *multilevel boost converter*.

Rangkaian *multilevel boost converter* memiliki prinsip kerja yang sama dengan *boost converter* konvensional namun rasio tegangan keluarannya lebih tinggi. Dimana tegangan keluaran dari *multilevel boost converter* ini akan digunakan sebagai catu daya untuk mengendalikan kecepatan putar MAS. Kemudian akan dilakukan perbandingan antara tegangan keluaran *multilevel boost converter* dengan *boost converter* konvensional yang digunakan sebagai catu daya MAS.

Pada penelitian ini nilai tegangan keluaran *multilevel boost converter* saat dihubungkan pada MAS dengan *duty cycle* 20% yaitu 80,3 volt dan MAS sudah mulai berputar dengan kecepatan 320 rpm. Sementara tegangan keluaran *boost converter* konvensional sebesar 39,4 volt namun MAS belum dapat berputar pada *duty cycle* 20% dan tegangan masukan yang sama yaitu 12,3 volt. Kemudian dilakukan penambahan beban MAS pada pengujian *multilevel boost converter*. Dimana semakin berat beban pada MAS maka torsinya akan meningkat. Dengan demikian perangkat *multilevel boost converter* dapat digunakan sebagai catu daya MAS untuk kendaraan listrik.

Kata kunci : Kendaraan listrik, *multilevel boost converter, boost converter* konvensional, motor arus searah.

RANCANG BANGUN *MULTILEVEL BOOST CONVERTER* UNTUK CATU DAYA MOTOR ARUS SEARAH PADA KENDARAAN LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER

Oleh
Venus Asadilla

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2018

Judul Skripsi	: **RANCANG BANGUN *MULTILEVEL BOOST CONVERTER* UNTUK CATU DAYA MOTOR ARUS SEARAH PADA KENDARAAN LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER**
Nama Mahasiswa	: *Venus Asadilla*
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1315031095
Program Studi	: Teknik Elektro
Fakultas Teknik	: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

Noer Soedjarwanto, S.T., M.T.	**Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.**
NIP 19631114 199903 1 001	NIP 19730215 199903 2 003

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

19/05-18

Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP : 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

   Ketua : **Noer Soedjarwanto, S.T., M.T.** .....

   Sekretaris : **Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T.** .....

   Penguji Utama : **Ir. Abdul Haris, M.T.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 022

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Maret 2018**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sangsi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 7 Mei 2018

Venus Asadilla
NPM : 1315031095

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Metro pada tanggal 17 Juni 1995. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Tri Harjo Murjani dan Ibu Sugiati yang diberi nama Venus Asadilla.

Pendidikan formal penulis dimulai dari Sekolah Dasar di SDS Pertiwi Teladan Kota Metro, yang diselesaikan pada tahun 2007. Kemudian Penulis meneruskan pendidikan di SMPN 1 Kota Metro dan lulus pada tahun 2010 dilanjutkan ke SMAN 1 Kota Metro dengan mengambil Jurusan Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dan lulus pada tahun 2013.

Pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di lembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas (HIMATRO) sebagai Sekretaris Departemen Kaderisasi (2014-2015) dan Anggota Departemen Kaderisasi (2015-2016). Penulis juga pernah melakukan kerja praktik selama 30 hari di PT. Lentera Angin Nusantara pada Divisi Perancangan dan Desain Generator dengan mengambil judul "Pengembangan *Prototype* TSD 2000 Sebagai Peningkatan Daya Pada PT. Lentera Angin Nusantara".

MOTO

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai kesanggupannya."

(QS. Al Baqarah: 286)

"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan."

(QS. Asy Syarh: 5-6)

"Asa (harapan) setinggi Venus Di Langit."

(Venus Asadilla)

"Jadilah bintang yang paling terang diantara bintang-bintang lainnya seperti Bintang Kejora"

(Anonim)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

Atas Ridho

Dengan penuh kerendahan hati, aku persembahkan karyaku ini untuk,

Kedua Orang Tuaku,

Bapak Tri Harjo Murjani
Ibu Sugiati

Adik Tersayang,

Vinna Asadilla

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT atas limpahan nikmat kesehatan, kesempatan, rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW sang penutup para Nabi dan Rasul, kepada keluarga, sahabat, dan pengikutnya yang setia sampai akhir zaman.

Skripsi ini berjudul ***"Rancang Bangun Multilevel Boost Converter Untuk Catu Daya Motor Arus Searah Pada Kendaraan Listrik Berbasis Mikrokontroler"*** sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama melaksanakan penelitian ini, penulis banyak mendapatkan pengalaman yang sangat berharga. Penulis juga telah mendapat bantuan baik moril, materi, maupun petunjuk, bimbingan dan saran dari berbagai pihak, secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin, M.S. selaku Rektor Universitas Lampung;
2. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung;

3. Bapak Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung;
4. Bapak Dr. Eng. Herman Halomon Sinaga, S.T., M.T. selaku sekretaris jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung dan sebagai pembimbing akademik;
5. Bapak Noer Soedjarwanto, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
6. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T., M.T. selaku Pembimbing Pendamping atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini;
8. Bapak Ir. Abdul Haris, M.T. selaku Penguji yang telah memberikan masukan dan saran-saran dalam skripsi ini;
9. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas pengajaran yang diberikan selama ini kepada penulis;
10. Seluruh Staf Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas bantuannya semasa penulis kuliah;
11. Kedua orang tua Penulis, Bapak Tri Harjo Murjani dan Ibu Sugiati tercinta yang tidak pernah berhenti memberikan doa, dukungan, dan kasih sayang tiada batas akhir dan semoga Beliau selalu dalam lindungan Allah SWT;
12. Adik Penulis, Vinna Asadilla yang telah memberikan doa dan dukungannya selama ini, semoga sukses dalam pendidikan dan nantinya masuk ke Perguruan Tinggi yang terbaik;
13. Teman-teman 2013, Faris, Rendy, Nurul, Yasin, Nasrul, Nanang, Maruf, Valen, Agus, Jul, Roy, Gusti, Reza, Nando, Ketut, Dimas, Deri, Andika dan lainnya

yang tidak bisa Penulis tuliskan satu persatu namanya atas dukungan, cerita dan kebersamaan dalam susah maupun senang, semoga kekeluargaan kita tidak akan terputus sampai kapanpun;

14. Teman-teman seperjuangan di Laboratorium Teknik Kendali, Agung, Fikri, Paian, Hekson, Rizki, Hardy, kak Yayan dan lainnya yang tidak bisa Penulis tuliskan satu persatu namanya atas segala bantuan, dukungan dan semangatnya.
15. Indira Malahayati Sugianto yang telah memberikan semangat dan doa serta selalu mendukung penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini;
16. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) atas pengalaman, pembelajaran dan segala rasa yang lahir yang tidak akan pernah terlupakan;
17. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah hingga terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga kebersamaan ini membawa kebaikan, keberkahan, kemurahan hati, serta bantuan dan do'a yang telah diberikan seluruh pihak akan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT dan semoga kita menjadi manusia yang berguna dan berkembang. Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak terlepas dari kesalahan dan jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu masukan serta saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan dimasa yang akan datang. Akhirnya, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandarlampung, 7 Mei 2018
Penulis,

Venus Asadilla
NPM : 1315031095

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI vii

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR TABEL xi

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang 1
1.2 Tujuan Penelitian 3
1.3 Manfaat Penelitian 3
1.4 Perumusan Masalah 3
1.5 Batasan Masalah 4
1.6 Hipotesis 4
1.7 Sistematika Penulisan 4

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Arus Searah 6
2.2. Baterai 9
2.3. Catu Daya 11
2.4. Mikrokontroler 11
2.5. *Boost Converter* 12

III METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian 14
3.2. Alat dan bahan 14
3.3 Metode Penelitian 15
3.4 Diagram Alir Penelitian 20
3.5 Perancangan Perangkat Keras 21

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras 22
4.1.1 Rangkaian Kontrol PWM 22
4.1.2 Rangkaian Penguat Sinyal 24

4.1.3 Rangkaian Multilevel Boost Converter 25
4.1.4 Rangkaian Sensor Tegangan 28
4.1.5 Motor Arus Searah..... 30
4.2 Hasil Pengujian Perangkat Keras 31
4.2.1 Hasil Pengujian Rangkaian Kontrol PWM..... 31
4.2.2 Hasil Rangkaian Penguatan Sinyal 34
4.2.3 Hasil Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan 36
4.2.4 Hasil Pengujian Perangkau Keras MBC 38
4.2.4.1.Hasil Pengujian Perangkau Keras BC 42
4.2.5. Hasil Pengujian Secara Keseluruhan 47
4.2.5.1.Hasil Pengujian Motor dengan Beban 500 gr..... 48
4.2.5.2.Hasil Pengujian Motor dengan Beban 1500 gr... 50
4.2.5.3.Hasil Pengujian Motor dengan Beban 2500 gr... 52

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan..... 58
5.2 Saran..... 59

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Prinsip Kerja Motor Arus Searah **6**
Gambar 2.2 Rangkaian MAS jenis seri **9**
Gambar 2.3 Proses *discharging* baterai **10**
Gambar 2.4 Proses *charging* baterai **10**
Gambar 2.5 *Boost Converter* **13**
Gambar 2.6 Prinsip Kerja *Boost Converter* **13**
Gambar 3.1 Rangkaian *multilevel boost converter* **16**
Gambar 3.2 Rangkaian saat *switch on* **17**
Gambar 3.3 Rangkaian saat *switch off* **18**
Gambar 3.4 Diagram alir peneltian **20**
Gambar 3.5 Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras **21**
Gambar 4.1 Rancangan rangkaian kontrol PWM **23**
Gambar 4.2 Rancangan rangkaian penguat sinyal **24**
Gambar 4.3 Rangkaian *Multilevel Boost Converter* **26**
Gambar 4.4 Rancangan rangkaian sensor tegangan **29**
Gambar 4.5 Motor Arus Searah **30**
Gambar 4.6 Rangkaian Kontrol PWM **32**
Gambar 4.7 Hasil Rangkaian Kontrol PWM *Variable Duty Cycle* **33**
Gambar 4.8 Rangkaian Penguat Sinyal **34**
Gambar 4.9 Hasil Penguatan Sinyal Saat *Duty Cycle* **35**
Gambar 4.10 Rangkaian Sensor Tegangan **36**
Gambar 4.11 Hasil Pengujian Pertama Rangkaian Sensor Tegangan **37**
Gambar 4.12 Hasil Pengujian Kedua Rangkaian Sensor Tegangan **38**

Gambar 4.13 Rangkaian *Multilevel Boost Converter* **39**
Gambar 4.14 Rangkaian *Boost Converter* **43**
Gambar 4.15 Grafik perbandingan D-Vo Hasil *Multilevel Boost Converter* dengan Hasil *Boost Converter* **46**
Gambar 4.16 Grafik perbandingan D-Rpm Hasil *Multilevel Boost Converter* dengan Hasil *Boost Converter* **46**
Gambar 4.17 Realisasi Rangkaian *Multilevel Boost Converter* Secara Keseluruhan **48**
Gambar 4.18 Perbandingan Vo Hasil Perangkat Keras terhadap variasi Beban pada MAS **54**
Gambar 4.19 Perbandingan i_o Hasil Perangkat Keras terhadap variasi Beban pada MAS **55**
Gambar 4.20 Karakteristik T terhadap N terhadap variasi beban **56**
Gambar 4.21 Perbandingan T dan i_a terhadap variasi Beban pada duty cycle 20% **57**

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 4.1 Spesifikasi Mikrokontroler..... **23**

Tabel 4.2 Spesifikasi Mosfet IRFP460..... **27**

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Rangkaian *Multilevel Boost Converter* dengan beban resistif yang bervariasi **40**

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Rangkaian *Multilevel Boost Converter* dengan beban MAS **41**

Tabel 4.5 Parameter Perancangan *Boost Converter*..... **42**

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Rangkaian *Boost Converter* dengan beban resistif yang bervariasi **44**

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Rangkaian *Boost Converter* dengan beban MAS **44**

Tabel 4.8 Data Hasil Pengujian Beban 500 gram **49**

Tabel 4.9 Torsi MAS Saat Beban 500 gram **50**

Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Beban 1500 gram **51**

Tabel 4.11 Torsi MAS Saat Beban 1500 gram **51**

Tabel 4.12 Data Hasil Pengujian Beban 2500 gram **52**

Tabel 4.13 Torsi MAS Saat Beban 2500 gram **53**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini penggunaan kendaraan bermotor di Indonesia sangatlah pesat dengan semakin bergantungnya masyarakat pada kendaraan pribadi sebagai penunjang aktivitas sehari-hari. Hal ini tentu akan meningkatkan kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) dan polusi udara sebagai dampaknya. Sementara itu BBM merupakan energi yang proses terbentuknya sangat lama sehingga akan menipis bila dipergunakan secara terus-menerus. Oleh karena itu diperlukan suatu alternatif dari kendaraan bermotor untuk mengurangi konsumsi BBM dan pencemaran udara di Indonesia.

Salah satu alternatif tersebut adalah mobil listrik. Mobil listrik merupakan kendaraan ramah lingkungan yang dapat mengurangi polusi udara karena merupakan kendaraan tanpa emisi atau tidak memiliki gas buang. Dalam pengoperasiannya mobil listrik membutuhkan mesin listrik, salah satunya yaitu Motor Arus Searah (MAS). MAS dipilih karena pengaturan kecepatannya lebih mudah dibanding dengan Motor Arus Bolak-balik (MAB).

Hal yang perlu diperhatikan selanjutnya adalah alat yang digunakan untuk mengendalikan kecepatan putar dari MAS. Permasalahannya tegangan masukan yang diperlukan MAS lebih tinggi dibanding tegangan keluaran dari baterai sehingga konverter dc-dc dibutuhkan sebagai penyedia tegangan searah yang besarannya sesuai dengan permintaan beban. Maka dalam penelitian ini akan dirancang konverter dc-dc yang mana tegangan keluarannya dapat dikendalikan sesuai kebutuhan MAS agar dapat menggerakkan kendaraan. Konverter dc-dc yang diusulkan yaitu *Multilevel Boost Converter*. Konverter ini merupakan rangkaian berbasis *Pulse width Modulation* (PWM) yang mengkombinasikan antara konverter *boost* konvensional dan fungsi *switched capacitor* untuk menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar. Sebelumnya telah dilakukan penelitian mengenai *Multilevel Boost Converter* sebagai catu daya kendaraan listrik dengan judul "*Desain dan Simulasi Konverter Boost Multilevel sebagai Catu Daya Kendaraan Listrik*" oleh Akhmad Zaky Fanani di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014 yang membahas desain dan simulasi Konverter *Boost Multilevel* [1]. Penelitian tersebut sebatas simulasi pada perangkat lunak *(software).* Referensi penelitian berikutnya yaitu berjudul *"Prototipe Mobil Listrik dengan Menggunakan Motor DC Magnet Permanen 0,37 HP"* oleh M. Andri Zumain di Universitas Indonesia [3]. Penelitian milik Andri Zumain terdapat kelemahan yaitu timbul tegangan *spike* pada *driver* motor dc. Dari kedua penelitian tersebut didapatkan gambaran tentang *Multilevel Boost Converter* sebagai catu daya MAS. Maka dalam penelitian ini selain untuk mengembangkan penelitian sebelumnya juga akan dilakukan

perancangan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*) dari *Multilevel Boost Converter* untuk catu daya MAS pada kendaraan listrik berbasis mikrokontroler.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Merancang dan membangun *Multilevel Boost Converter.*
b. Mendapatkan tegangan keluaran yang jauh lebih besar dan bervariasi untuk catu daya Motor Arus Searah.

1.3 Manfaat

Manfaat yang diharapkan agar tercapainya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dihasilkan sebuah *Multilevel Boost Converter* yang dapat digunakan sebagai catu daya MAS pada kendaraan listrik.
2. Dapat menghasilkan rasio konversi yang besar antara tegangan masukan dan tegangan keluaran dengan menggunakan variasi dari *duty cycle*.

1.4 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membangun perangkat keras *Multilevel Boost Converter* sebagai catu daya MAS pada kendaraan listrik.

2. Bagaimana dapat menghasilkan rasio konversi tegangan yang besar dengan menggunakan variasi nilai *duty cycle*.
3. Bagaimana menganalisis pengaruh perubahan *duty cycle Multilevel Boost Converter* terhadap tegangan keluaran dan kecepatan putar MAS.

1.5 Batasan Masalah

Beberapa hal yang membatasi masalah dalam pembahasan penelitian ini adalah:

1. MAS yang digunakan berjenis MAS Seri.
2. Bagaimana merancang sistem *multilevel boost converter* yang dapat menaikkan tegangan baterai dengan rasio yang besar.
3. Pada penelitian ini tidak membahas tentang pengereman pada MAS untuk kendaraan listrik.

1.6 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah dengan menggunakan *Multilevel Boost Converter* dapat menaikkan tegangan dc dengan rasio yang besar antara tegangan masukan dan keluarannya sehingga dapat mencatu daya MAS Seri untuk kendaraan listrik.

1.7 Sistematika Penulisan

Dalam rangka penulisan tugas akhir ini, disusun sistematika penulisan yang terdiri dari beberapa bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, tujuan, manfaat, rumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan secara umum tentang teori dasar yang berhubungan dengan alat yang akan dibuat.

BAB III METODE PENELITIAN

Bagian ini akan menjelaskan metode yang akan dilakukan pada penelitian, diantaranya waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, komponen dan perangkat penelitian, prosedur kerja, perancangan, dan pengujian sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini akan menjelaskan mengenai hasil pengujian dan analisis dari sistem yang telah dirancang dan diimplementasikan.

BAB V PENUTUP

Bab ini akan menyimpulkan semua kegiatan dan hasil-hasil yang diperoleh selama proses pembuatan dan pengujian sistem serta saran-saran yang perlu dipertimbangkan untuk penelitian lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

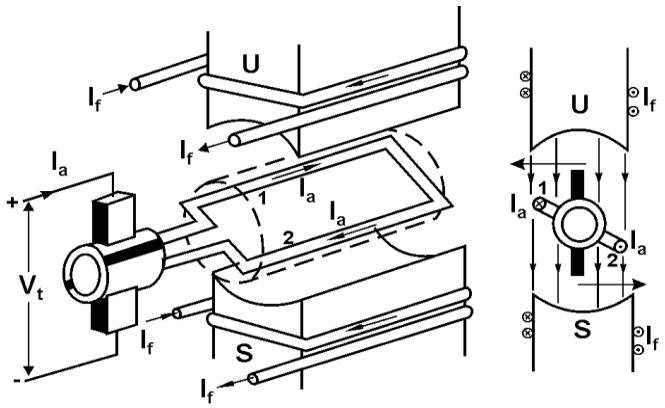
LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Arus Searah

Motor Arus Searah (MAS) merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. MAS memerlukan suplai tegangan searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Prinsip kerja sebuah motor arus searah dapat dijelaskan dengan Gambar 2.1 berikut,



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Motor Arus Searah [10]

Berdasarkan gambar di atas, kedua kutub stator dibelitkan dengan konduktor–konduktor sehingga membentuk kumparan yang dinamakan kumparan stator atau kumparan medan. Misalkan kumparan medan tersebut dihubungkan

dengan suatu sumber tegangan, maka pada kumparan medan itu akan mengalir arus medan (i_f). Kumparan medan yang dialiri arus ini akan menimbulkan fluksi utama yang dinamakan fluksi stator. Fluksi ini merupakan medan magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan (hal ini dapat dilihat dengan adanya garis–garis fluksi).

Apabila pada kumparan jangkar mengalir arus yakni arus jangkar, maka dari hukum *Lorenzt* diketahui bahwa apabila sebuah konduktor yang dialiri arus ditempatkan pada sebuah medan magnet maka pada konduktor tersebut akan timbul gaya, maka demikian pula halnya pada kumparan jangkar. Besarnya gaya ini bergantung dari besarnya arus yang mengalir pada kumparan jangkar (i_a), kerapatan fluksi (B) dari kedua kutub dan panjang konduktor jangkar (l). Semakin besar fluksi yang terimbas pada kumparan jangkar maka arus yang mengalir pada kumparan jangkar juga besar, dengan demikian gaya yang terjadi pada konduktor juga semakin besar [10].

Besar gaya yang dihasilkan oleh arus yang mengalir pada konduktor jangkar yang ditempatkan dalam suatu medan magnet adalah,

$$F = B.i_a.l \quad \text{.....(2.1)}$$

dimana:

i_a = Arus jangkar (A)

B = Kerapatan Fluksi (Webber/m^2)

l = Panjang konduktor (m)

Sedangkan Torsi (*T*) pada motor arus searah dinyatakan dalam persamaan berikut ini,

$$T = c_t . \phi . i_a \quad \text{.....(2.2)}$$

Bila kumparan jangkar dari motor berputar dalam medan magnet dan memotong fluksi utama maka sesuai dengan hukum induksi elektromagnetis pada kumparan jangkar akan timbul gaya gerak listrik (ggl) induksi yang arahnya sesuai dengan kaidah tangan kanan, dimana arahnya berlawanan dengan tegangan yang diberikan kepada jangkar atau tegangan terminal. Karena arahnya melawan maka ggl induksi ini disebut ggl lawan.

$$e_a = c_e . n . \phi \quad \text{.....(2.3)}$$

dimana,

e_a = gaya gerak listrik (volt)

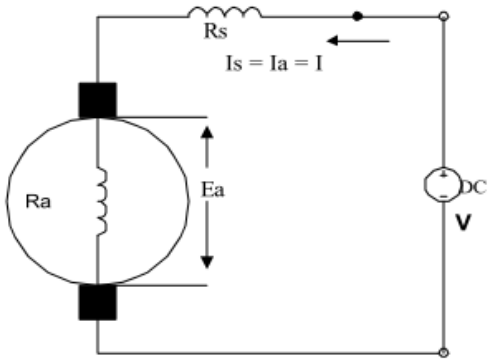
c = konstanta

n = kecepatan putar motor (rpm)

ϕ = fluksi magnetik

MAS dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan sumber penguat arus magnetnya yaitu motor dengan penguat terpisah dan penguat sendiri. Pada motor penguat sendiri terdiri lagi dari MAS Seri, MAS *Shunt*, MAS kompon panjang dan MAS kompon pendek. Dalam penelitian ini digunakan MAS seri. MAS seri terdiri dari medan seri yang dibuat dari sedikit lilitan kawat besar yang dihubungkan seri dengan jangkar. Jenis motor ini mempunyai karakteristik torsi *start* dan kecepatan variabel yang tinggi, ini berarti bahwa motor dapat *start* atau dapat menggerakkan beban yang sangat berat, tetapi

kecepatan akan bertambah kalau beban turun. [3] Berikut merupakan rangkaian MAS seri pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Rangkaian MAS jenis seri

Persamaan yang berlaku pada motor arus searah seri adalah:

$$Vt = e_a + i_S.R_S + i_a.R_a \quad \text{.....(2.4)}$$

$$i_l = i_a = i_S \quad \text{.....(2.5)}$$

maka, $$Vt = e_a + i_a(R_a + R_S) \quad \text{.....(2.6)}$$

dimana:

i_a : Arus jangkar (A)

R_a : Tahanan lilitan jangkar (Ohm)

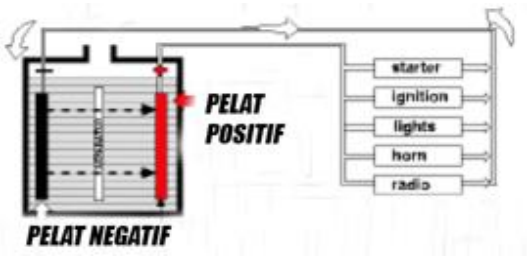
i_S : Arus penguat seri (A)

R_S : Tahanan penguat seri (Ohm)

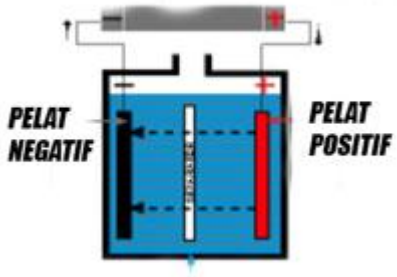
2.2 Baterai

Baterai *lead-acid* (asam timbal) adalah suatu alat yang memanfaatkan reaksi kimia untuk menyimpan energi listrik. Baterai *lead-acid* memanfaatkan kombinasi dari pelat timah (*lead*) dan elektrolit asam sulfat encer (*acid*) untuk mengubah energi listrik menjadi energi potensial kimia dan mengubahnya

kembali menjadi energi listrik [4]. Berikut merupakan proses *charging* (pengisian) dan *discharging* (pelepasan) baterai seperti pada gambar 2.3 dan 2.4:



Gambar 2.3 Proses *discharging* baterai [4]



Gambar 2.4 Proses *charging* baterai [4]

Pada proses *discharging* baterai asam sulfat menyatu dengan bahan aktif pada pelat yang meninggalkan larutan asam lemah. Hidrogen asam dan oksigen timbal peroksida bergabung membentuk air, yang kemudian menjadi larutan. Secara umum terdapat dua macam baterai *lead acid* yaitu baterai *starting* untuk penyalaan mesin atau *starting engine* dan baterai *deep cycle* untuk melepaskan energi listrik dalam selang waktu yang panjang. Pada baterai kering *deep cycle* tidak mempunyai penutup sel dan bekerja pada tekanan konstan 1 sampai 4 psi. Tekanan ini akan membantu mengembalikan 99% Hidrogen dan Oksigen yang berbentuk pada proses *charging* untuk kembali

menjadi air. Jadi pada beterai *Maintenance Free* (MF)/*Valve Regulated Lead Acid* (VRLA) tidak memungkinkan untuk dilakukan penambahan air [4].

2.3 Catu Daya

Catu daya atau *power supply* merupakan perangkat elektronika yang berfungsi sebagai sumber daya untuk perangkat lain. Secara umum, pencatu daya listrik dibagi menjadi dua macam, yaitu pencatu daya tak distabilkan dan pencatu daya distabilkan. Pada penelitian ini digunakan pencatu daya distabilkan dengan sistem pensakelaran yang menggunakan frekuensi tinggi. Sumber dari catu daya ini berasal dari arus searah murni yaitu baterai yang tegangan keluarannya lebih besar dari tegangan baterai. Sistem pensakelaran frekuensi tinggi membutuhkan sinyal *Pulse Widht Modulation* (PWM) untuk mengendalikan hidup atau matinya sakelar. Sinyal PWM yang digunakan berasal dari mikrokontroler. Namun sinyal PWM dari mikrokontroler ini tegangannya bernilai 5V sedangkan sakelar yang digunakan membutuhkan sinyal PWM dengan tegangan 15V. Maka digunakan rangkaian penguat sinyal untuk menaikkan tegangan sinyalnya menjadi 15V.

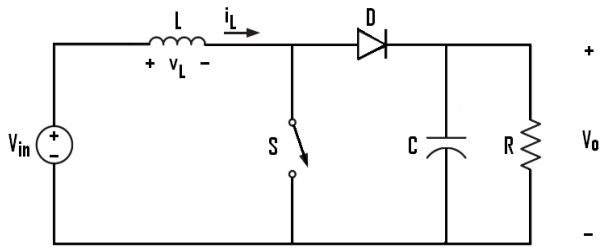
2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan piranti yang berfungsi untuk mengendalikan rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan kode program di dalamnya. Secara teknis mikrokontroler dibagi menjadi 2 macam yaitu *Reduced Instruction Set Computer* (RISC) yang memiliki keterbatasan

instruksi tetapi memiliki fasilitas yang banyak dan *Complex Instruction Set Computer* (CISC) yang memiliki instruksi lebih lengkap dibanding RISC tapi dengan fasilitas secukupnya [6]. Pada umumnya mikrokontroler memiliki beberapa fitur, salah satunya pembangkit sinyal PWM. Sinyal PWM merupakan suatu teknik yang membandingkan sinyal referensi dengan sinyal *carrier*. Sebagai pembangkit sinyal PWM tersebut rencananya pada penelitian ini akan digunakan Mikrokontroler Arduino Uno.

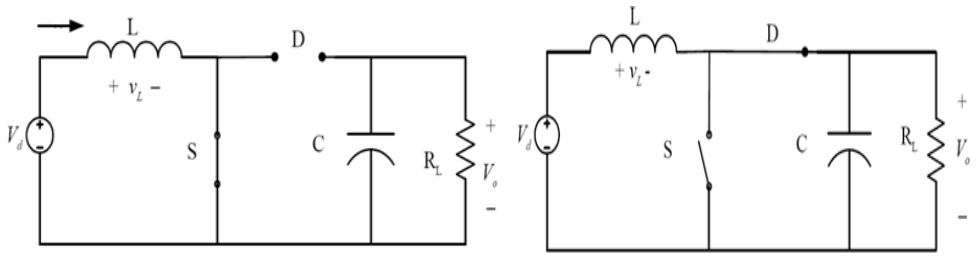
2.5 *Boost Converter*

Boost converter berguna untuk mengubah tegangan masukan yang rendah ke tegangan keluaran yang tinggi (penaik tegangan). Konverter ini bekerja secara periodik saat saklar terbuka dan tertutup. Kemampuan *boost converter* untuk menaikan tegangan dc berkaitan dengan prinsip *switch duration* (ton dan toff *switch*). Saat saklar atau *switch* mosfet pada kondisi tertutup (ton), terjadi hubung singkat sehingga arus akan mengalir ke induktor kemudian menuju sumber kembali, sehingga menyebabkan energi akan tersimpan di induktor. Saat saklar mosfet terbuka (*toff*), arus induktor ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan menurun [8]. Rangkaian *boost converter* dapat dilihat pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 *Boost Converter* [8]

Jika dilihat pada Gambar 2.6 Pada saat t*off,* beban akan disuplai oleh tegangan sumber ditambah dengan tegangan induktor yang sedang melepaskan energinya. Kondisi ini yang menyebabkan tegangan keluaran menjadi lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter ini sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar.



a) Saklar ON b) Saklar OFF

Gambar 2.6 Prinsip Kerja *Boost Converter* [8]

Untuk mengetahui besar nilai tegangan keluaran dari *boost converter* konvensional berdasarkan pengaruh perubahan *duty cycle* dapat menggunakan persamaan berikut ini.

$$v_{out} = \left(\frac{v}{1-D}\right) \quad \text{.....2.7}$$

dimana,

vout : Tegangan Keluaran (volt)

v : Tegangan Masukan (volt)

D : *duty cycle* (%)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dan penulisan laporan tugas akhir dilakukan di Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Universitas Lampung dan mulai dilaksanakan pada Bulan Juli 2017 sampai pada Maret 2018.

3.2. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*):

a. Perangkat keras yang akan digunakan dalam penelitian yaitu:

1. Rangkaian *Multilevel Boost Conveter*.
2. Mikrokontroler.
3. Baterai.
4. Rangkaian penguat sinyal.
5. Sensor tegangan.
6. LCD.
7. Motor Arus Searah.
8. Laptop.

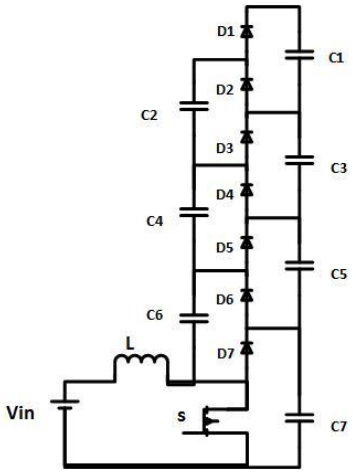
9. Tachometer.
10. Multimeter.
11. Solder dan timah.
12. Papan PCB.
13. Feri klorida.

b. Perangkat lunak yang akan digunakan dalam penelitian yaitu:
   1. *Microsoft office word*.
   2. *Microsoft office visio*.
   3. *Arduino Integrated Development Environment* (IDE).
   4. Perangkat lunak *diptrace*.

3.3. Metode Penelitian

Pada penelitian ini diperlukan suatu rangkaian konverter dc-dc yang dapat menaikkan tegangan dari baterai sebagai catu daya dari MAS, rangkaian tersebut yaitu *Boost Converter*. *Boost Converter* merupakan rangkaian penaik tegangan dimana rasio antara tegangan masukan dan tegangan keluarannya tinggi. Kendaraan listrik membutuhkan rangkaian penaik tegangan untuk mencatu MAS yang digunakan. Namun rasio tegangan keluaran dari *boost coverter* kurang optimal untuk mencatu MAS, oleh karena itu digunakan rangkaian penaik tegangan dengan menggunakan metode *Multilevel Boost Converter (MBC).*

Rangkaian *Multilevel Boost Converter* adalah sebuah konverter dc–dc berbasis *Pulse width Modulation* (PWM) yang mengkombinasikan antara konveter *boost* konvensional dan fungsi *switched capacitor* untuk menghasilkan tegangan keluaran yang berbeda dan stabil dengan hanya menggunakan 1 *driven switch*, 1 induktor, 2N-1 dioda dan 2N-1 kapasitor. N yang dimaksud adalah jumlah tingkat pada konverter *boost multilevel*. Kelebihan dari topologi ini adalah arus masukannya kontinyu kemudian rasio konversinya besar walaupun tanpa menggunakan *duty cycle* yang besar dan tanpa menggunakan transformator tambahan serta dapat menggunakan frekuensi *switching* yang tinggi [1]. Konverter ini dibangun dengan beberapa level yang dapat ditambah tanpa memodifikasi/mengubah rangkaian utama. Rangkaian *multilevel boost konverter* ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Rangkaian *multilevel boost converter*

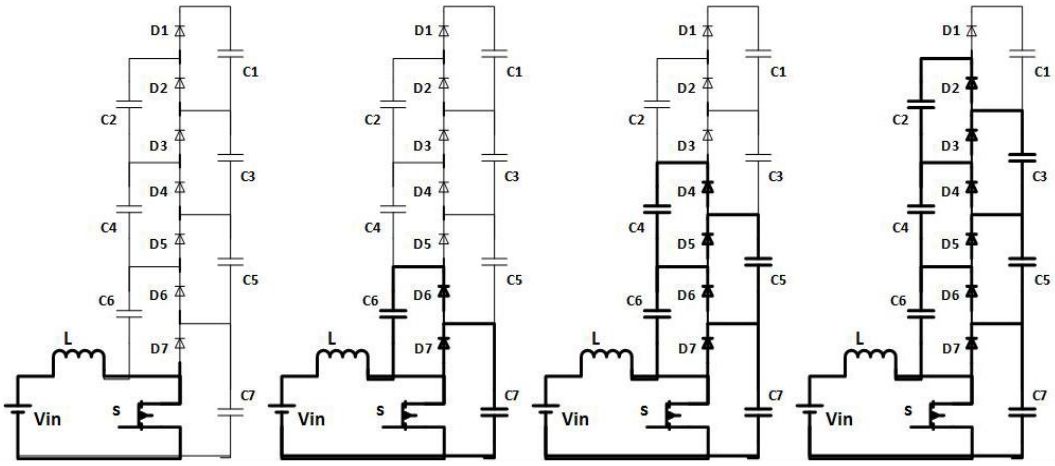
Bagian yang paling bawah adalah konverter *boost* konvensional. Jadi, besar nilai kenaikan tegangan berdasarkan pada persamaan konverter *boost* konvensional. Perbedaan antara *multilevel boost konverter* dan konverter *boost* konvensional adalah besar nilai tegangan keluaran *multilevel boost*

converter didapatkan dari Vc x N, dimana N+1 adalah jumlah level konverter yang dihitung dari level nol.

Karakteristik ini dapat tercapai berkat pengalian pada tegangan keluaran konverter *boost* konvensional yang dikendalikan hanya dengan satu saklar yang ada di dalam konverter. Sehingga didapatkan nilai tegangan keluaran *multilevel boost converter* seperti pada persamaan 3.1 berikut ini.

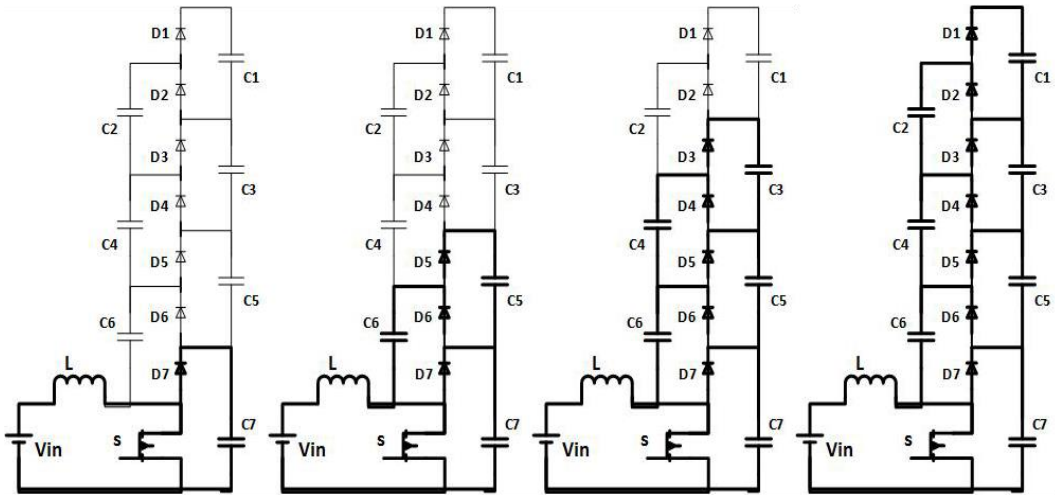
$$v_{out} = v_{in}\left(\frac{1}{1-D}\right)xN \quad \text{.....3.1}$$

Keadaan pada saat saklar hidup ditunjukkan pada gambar 3.2. Saat saklar dalam keadaan mati, induktor akan terhubung ke tegangan masukan (Vin), (gambar 3.2a). Jika tegangan di C6 lebih kecil dari tegangan di C7, maka C7 menjepit tegangan di C6 melalui D6 dan S (gambar 3.2b). Bersamaan dengan itu, jika besar nilai tegangan C4 + C6 lebih kecil dari tegangan C5 + C7, maka C5 dan C7 menjepit tegangan di C4 dan C6 melalui D4 dan S (gambar 3.2c). Dengan cara yang sama, C3, C5 dan C7 menjepit tegangan di C2, C4 dan C6 (gambar 3.2d).



Gambar 3.2 Rangkaian saat *switch on* [9]

Keadaan pada saat saklar mati ditunjukkan pada gambar 3.3. Ketika saklar mati, arus induktor menyalakan D7 dan mengakibatkan semua dioda menyala. Selama keadaan mati, arus induktor menyalakan D7 untuk mengisi C7 (gambar 3.3a). Ketika D7 menutup/menyala, C6 dan tegangan masukan (Vin) dan tegangan induktor menjepit tegangan di C5 dan C7 melalui D5 (gambar 3.3b). Dengan cara yang sama, tegangan induktor ditambah tegangan masukan (Vin), C4 dan C7 menjepit tegangan di C3, C5 dan C7 melalui D3. Lambat laun tegangan di C1, C3, C5 dan C7 dijepit oleh C2, C4, C6, Vin dan tegangan induktor [1].



Gambar 3.3 Rangkaian saat *switch off* [9]

Berdasarkan Gambar 3.3 arus induktor pada rangkaian *multilevel boost converter* nilainya sama dengan arus masukannya. Maka arus rata-rata induktor dapat diperoleh dengan persamaan 3.2 berikut.

$$i_l = \left(\frac{N^2 v_c}{(1-D)Rout}\right) \quad \text{.....3.2}$$

dimana,

il : Arus Induktor (Ampere)

vc : Tegangan kapasitor (volt)

Rout : Tahanan beban (ohm)

Induktansi induktor pada *multilevel boost converter* mempunyai nilai yang lebih rendah dibanding dengan *boost converter* konvensional. Nilai dari induktor tersebut dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$L_{min} = \frac{10\ x\ (1-D)^2 R}{2xN^2} x\ D\ x\ T \quad \text{.....3.3}$$

dimana,

Lmin : Induktansi Induktor minimal (Henry)

T : Periode (detik)

Sedangkan *ripple* tegangan dari *multilevel boost converter* dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\Delta v_o = \frac{v_o\ x\ D}{f\ x\ C\ x\ R} \quad \text{.....3.4}$$

$$\Delta v_o = \frac{i_o\ x\ D}{f\ x\ C} \quad \text{.....3.5}$$

Maka untuk menentukan nilai kapasitor dari *multilevel boost converter* adalah.

$$C = \frac{i_o\ x\ D}{f\ x\ \Delta v_o} \quad \text{.....3.6}$$

dimana,

Δv_o : *Ripple* Tegangan (volt)

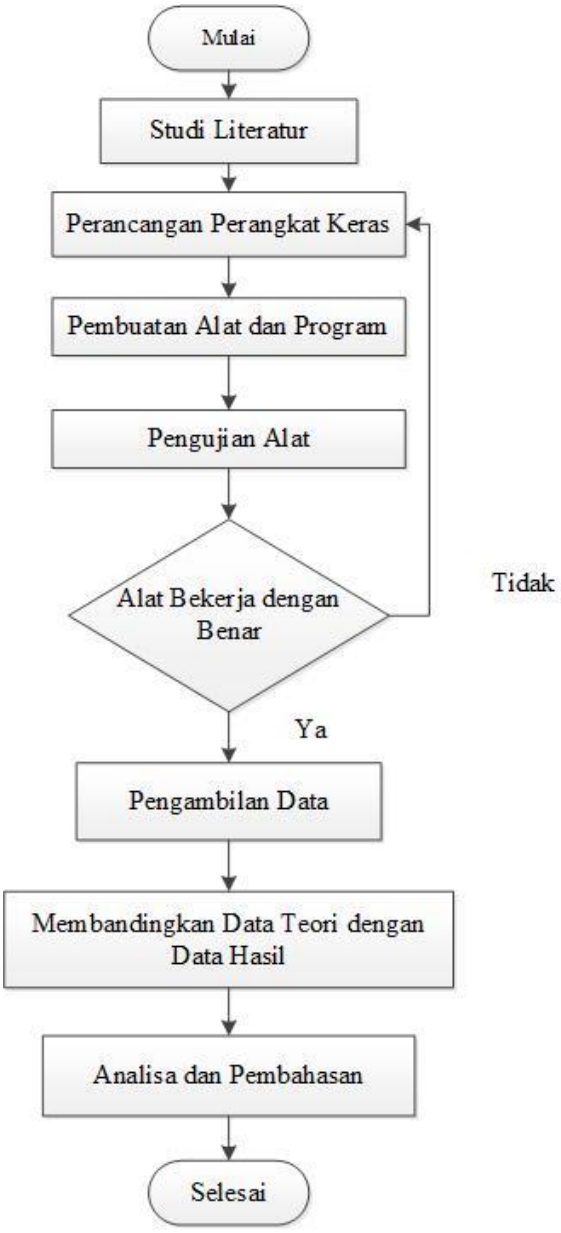
f : Frekuensi (Hz)

C : Kapasitansi Kapasitor (Farad)

io : Arus Keluaran (Ampere)

3.4. Diagram Alir Penelitian

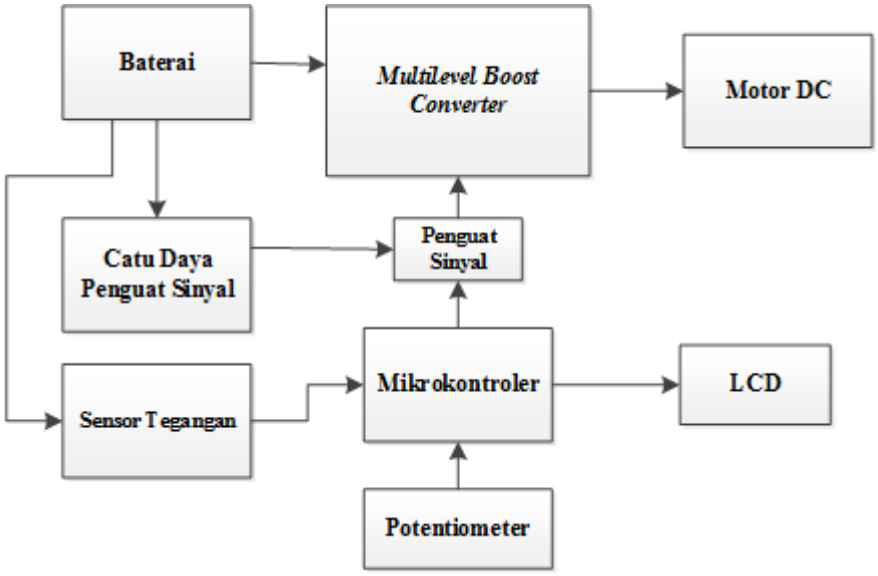
Rancang bangun alat *multilevel boost converter* ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu tahap perancangan dan realisasi ke perangkat keras. Masing-masing bagian terdiri dari beberapa tahapan dalam pelaksanaannya yang dijelaskan pada diagram alir pada Gambar 3.4 berikut:



Gambar 3.4 Diagram alir peneltian

3.5. Perancangan Perangkat Keras

Proses merancang perangkat keras ini berguna untuk menentukan komponen-komponen yang akan digunakan dalam penelitian. Secara umum sebuah perangkat keras *Multilevel Boost Converter* terdiri dari Rangkaian Kontrol PWM, Rangkaian Penguat Sinyal, dan Rangkaian *Multilevel Boost Converter*. Dapat dilihat pada blok diagram perancangan perangkat keras pada Gambar 3.5 dibawah ini:



Gambar 3.5 Blok Diagram Perancangan Perangkat Keras

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Adapun simpulan dari rancang bangun *multilevel boost converter* berbasis mikrokontroler adalah sebagai berikut:

1. *Multilevel boost converter* dapat mengoperasikan MAS lebih baik dibanding konverter *boost* konvensional dalam aspek kecepatan putar motor, dimana pada *multilevel boost converter* lebih tinggi akibat tegangan keluaran yang dihasilkan lebih besar.
2. Perangkat keras *multilevel boost converter* dapat digunakan sebagai catu daya MAS untuk kendaraan listrik karena dapat menaikkan tegangan baterai dengan rasio yang tinggi dengan menaikkan nilai *duty cycle* sampai 60%.
3. Pada perangkat keras *multilevel boost converter* saat kenaikan beban yang dikopel dengan MAS maka terjadi kenaikan torsi sedangkan kecepatan motornya berkurang.

5.2 Saran

Dalam pembuatan perangkat keras yang telah dibuat belum ada sistem pengereman pada MAS untuk kendaraan listrik. Sehingga untuk menurunkan kecepatan putar MAS dengan menurunkan nilai *duty cycle* dimana tegangan terminal pada MAS juga akan turun. Namun jika dalam pembuatan perangkat keras ini menggunakan sistem pengereman listrik maka putaran motor akan berkurang lebih cepat. Hal ini merupakan masukan untuk penelitian selanjutnya sehingga rancang bangun *multilevel boost converter* dapat dikembangkan lebih jauh lagi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] F. Y. Zaky, A. Muhammad, Y. Teguh, "Desain dan Simulasi Konverter Boost Multilevel sebagai Catu Daya Kendaraan Listrik", Jurnal Teknik POMITS Voll. 3, ISSN 2337-3539, 2014.

[2] Priowirjanto, Gator. "Prinsip Dasar Arus Searah" Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta 89-104, 2003.

[3] M.A. Zumain, "Prototipe Mobil Listrik dengan Menggunakan Motor DC Magnet Permanen 0,37 HP". Fakultas Tenik Universitas Indonesia, Depok, 9-10, 2009.

[4] S. Nur, S. Erwin, K. Ekki. "Perancangan dan Implementasi Konverter untuk Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya dan Angin untuk Suplai Listrik Arus Bolak Balik", Fakultas Teknik Universitas Telkom, Bandung, 20, 2015.

[5] P. Thounhong, B. Davat. "Study of A Multhiphase Interleaved Step-Up Converter for Fuel Cell High Power Applications", *Energy Conversion and Management 51*, 826-862, 2010.

[6] I. Joni, W. Slamet, Mustaziri. "Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Burung Otomatis Berbasis Mikrokontroler Atmega16 dengan SMS Gateway", Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2014.

[7] Rectifier, International. ”*High and Low Side Driver, All High Voltage Pins on One Side, Separate Logic and Power Ground, Shut-Down in a 14-pin DIP package*”.

[8] M. Ganta, P. Nirupa, T. Akshitha, R. Seyezhai. “Design and Simulation of PWM FED Two – Phase Interleaved Boost Converter for Renewable Energy Source”, *International Journal of Electtrical and Data Communication*, Vol. 1, Issue 1, ISSN: 2320-2084, 2013.

[9] R Caro, Julio, Ramirez, Juan, Peng, Valderrabano, “A DC- DC Multilevel Boost Converter”, *IET Power Electron,* Vol.3, Iss.1, 129-137, 2010.

[10] D. S. Rizki. “Rancang Bangun Pengendali Kecepatan Putar dan Pengereman Motor DC Menggunakan Perintah Suara dengan Memanfaatkan Fitur *Speech Recognition* pada Sistem Operasi Android”, Universitas Lampung, Bandarlampung, 2015.