



TUGAS AKHIR - TE 141599

**STRATEGI MANAJEMEN ENERGI UNTUK KOPLING
KAPASITOR DAN BATERI MENGGUNAKAN
KONVERTER DC-DC UNTUK APLIKASI KENDARAAN
HIBRIDA**

Rahmat Fitriadi
NRP 2212106037

Dosen Pembimbing
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyو, M.MT.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**ENERGY MANAGEMENT STRATEGY FOR COUPLING
CAPACITOR AND BATTERIES WITH DC-DC
CONVERTER FOR HYBRID VEHICLE APPLICATIONS**

Rahmat Fitriadi
NRP 2212106037

Advisor
Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
Dr. Ir. Soedibyoy, M.MT.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**STRATEGI MANAJEMEN ENERGI UNTUK KOPLING
KAPASITOR DAN BATERI MENGGUNAKAN KONVERTER
DC-DC UNTUK APLIKASI KENDARAAN HIBRIDA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19800603 200604 1 003


Dr. Ir. Soedibyo, M.M.T.
NIP. 19551207 198003 1-004


SURABAYA
JANUARI 2016
JURUSAN
TEKNIK ELEKTRO

STRATEGI MANAJEMEN ENERGI UNTUK KOPLING KAPASITOR DAN BATERI MENGGUNAKAN KONVERTER DC-DC UNTUK APLIKASI KENDARAAN HIBRIDA

Nama : Rahmat Fitriadi
Pembimbing I : Heri Suryoatmojo, S.T, M.T, Ph.D.
Pembimbing II : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRAK

Bateri merupakan salah satu sumber energi utama yang digunakan pada mobil hibrida. Untuk memperoleh daya yang besar tentu dibutuhkan kapasitas penyimpanan energi pada baterai yang besar pula. Semakin besar kapasitas penyimpanan energi pada baterai, maka dimensi baterai tentu akan semakin besar. Kebutuhan daya transien dari mobil hibrida mengakibatkan semakin tinggi tingkat konsumsi energi pada baterai. Untuk mengatasi kebutuhan daya transien pada mobil hibrida, dibutuhkan media penyimpanan energi alternatif. Media penyimpanan energi alternatif yang digunakan harus mampu menyuplai energi dengan cepat, guna menyokong baterai dalam menyuplai kebutuhan energi transien yang ada. Komponen yang dianggap tepat sebagai media penyimpanan energi alternatif adalah kapasitor. Upaya optimalisasi konsumsi energi pada baterai dapat dilakukan dengan cara melakukan strategi manajemen energi untuk kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter arus searah (DC) ke arus searah (DC-DC) topologi boost. Kapasitor dengan kapasitas 0,285 Farad/16 Volt digunakan untuk menyuplai beban pada kondisi transien. Kapasitas energi kapasitor yang digunakan pada penelitian ini tergolong kecil, sehingga pengaruh penggunaan kapasitor saat pengujian sistem kurang terlihat. Waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk mengisi serta melepas muatan pada pengujian mode jalan menanjak dan jalanan dengan kondisi macet berturut-turut adalah sebesar $\pm 2,5$ dan $\pm 0,6$ detik.

Kata Kunci: Mobil hibrida, baterai, kapasitor, konverter DC-DC, topologi boost.



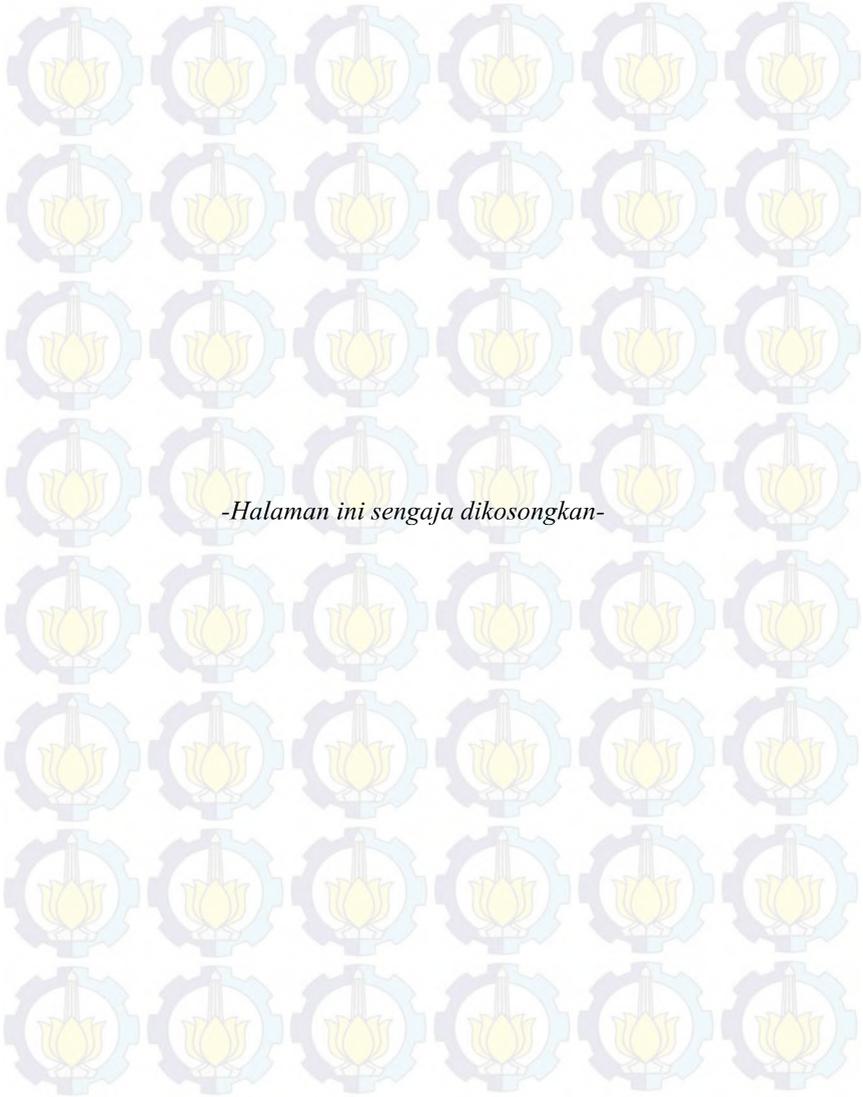
ENERGY MANAGEMENT STRATEGY FOR COUPLING CAPACITOR AND BATTERIES WITH DC-DC CONVERTER FOR HYBRID VEHICLE APPLICATIONS

Name : Rahmat Fitriadi
1st Advisor : Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.
2nd Advisor : Dr. Ir. Soedibyo, M.MT.

ABSTRACT

Battery is one of the primary energy source for hybrid car. To obtain an adequate power, it is obvious that a battery with a sufficient storage capacity is needed. The larger the battery's capacity, the larger the battery's dimension will be. However, hybrid car's transient power demand can cause the increasing energy consumption on battery. So, to solve such problem an alternative energy storage is needed. The alternative energy storage that will be used should be able to supply energy in the most minimum time, to support the battery in supplying the existing transient energy demand. Component which is considered as most precise to be used as this alternative energy storage is capacitor. The optimization of the battery's energy consumption can be done using energy management strategy for coupling capacitor and battery using direct current (DC) to direct current (DC-DC) converter boost topology. 0.285 Farad/16 Volt capacitor is used for supplying load during transient event. Capacitor which is used in this research is not large enough in terms of energy capacity, so the impact of the use of the capacitor during system testing is less visible. Amount of time that the capacitor needs to fill and emit its load during uphill test and traffic jam test, consecutively ± 2.5 and ± 0.6 seconds.

Keywords: Hybrid car, batteries, capacitors, DC-DC converters, boost topology.



-Halaman ini sengaja dikosongkan-

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT dengan segala rahmat, karunia, petunjuk, serta kekuatan berlimpah yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

STRATEGI MANAJEMEN ENERGI UNTUK KOPLING KAPASITOR DAN BATERI MENGGUNAKAN KONVERTER DC-DC UNTUK APLIKASI KENDARAAN HIBRIDA

Tugas Akhir ini ditujukan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tentunya tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu dengan segala hormat, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

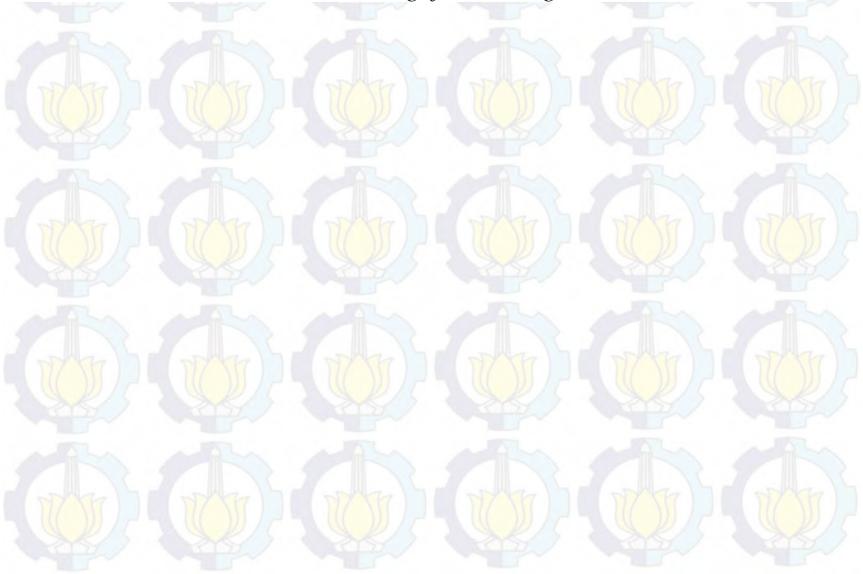
1. Dosen pembimbing, Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. dan Dr. Ir. Soedibyo, M.MT., atas segala ilmu dan kesabaran dalam membimbing penulis hingga Tugas Akhir ini terselesaikan.
2. Kedua orang tua saya tercinta yang sudah memberikan kasih sayang dan dukungan yang luar biasa kepada penulis.
3. Semua teman-teman dan pihak-pihak yang telah banyak membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di kemudian hari.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

-Halaman ini sengaja dikosongkan-



DAFTAR ISI

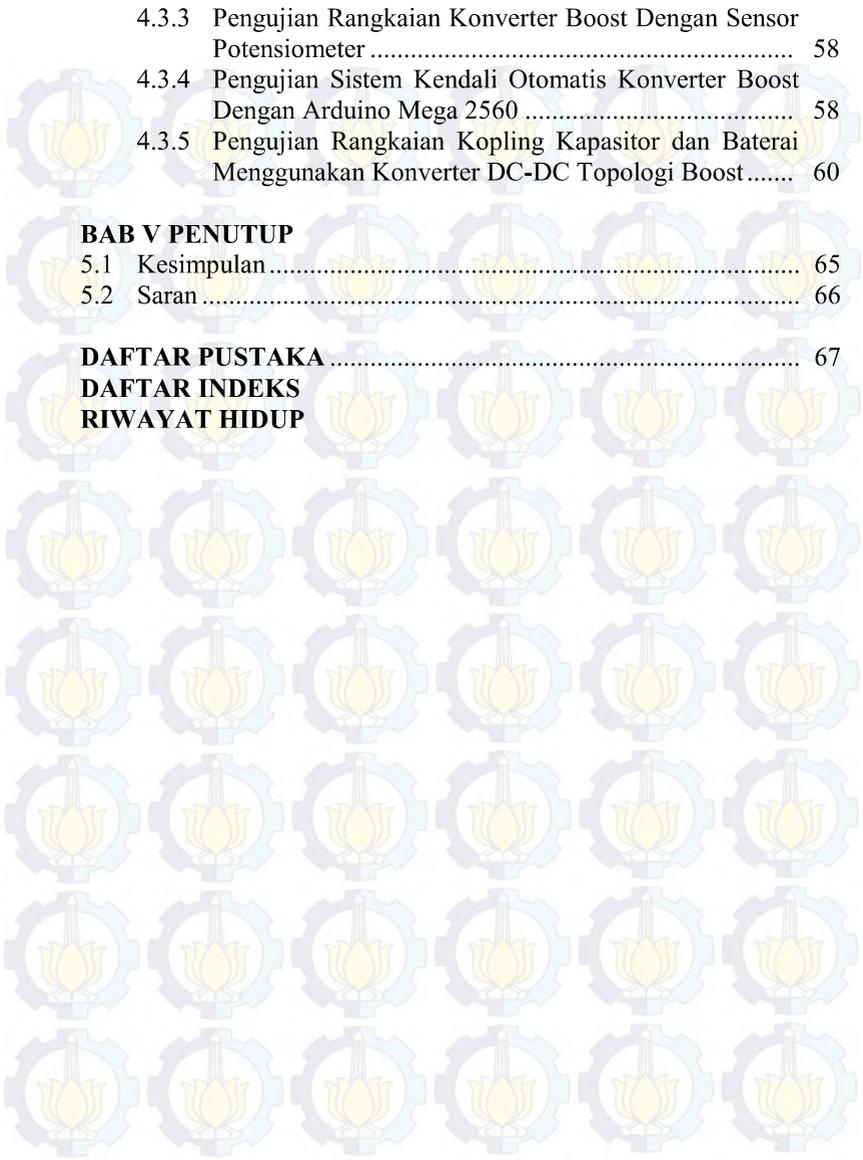
	Hal.
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR TABEL	xv
TABEL INISIAL SIMBOL	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Konverter DC-DC	5
2.1.1 <i>Hard-Switching Pulse Width Modulation (PWM) Converter</i>	5
2.1.2 <i>Resonant And Soft-Switching Converter</i>	7
2.2 Konverter boost	7
2.3 MOSFET sebagai saklar	13
2.4 Penguat <i>Push-Pull</i>	15
2.5 Rangkaian Sensor Tegangan	16
2.6 <i>Analog to Digital Conversion (ADC)</i>	16
2.6.1 Pengaruh Kecepatan <i>Sampling</i> ADC	16
2.7 Arduino Mega 2560	17
2.8 Baterai Asam Timbal (<i>Lead Acid</i>)	18
2.9 Sensor arus ACS712	19
2.10 Relay	20

BAB III PERANCANGAN SISTEM

3.1	Diagram Blok Sistem	23
3.2	Perancangan Perangkat Keras	23
3.2.1	Konverter Boost	23
3.2.2	Penguat <i>Push-Pull</i>	28
3.2.2.1	Penguat Kelas B	28
3.2.2.2	Distorsi <i>Cross-over</i> Pada Penguat.....	28
3.2.3	Rangkaian Sensor Tegangan	29
3.2.3.1	Rangkaian Pembagi Tegangan	30
3.2.4	Arduino Mega 2560	31
3.2.5	Kapasitor	32
3.3	Perancangan Perangkat Lunak.....	32
3.3.1	Perancangan Program Arduino Mega 2560	32

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL

4.1	Prosedur dan Proses Pengujian.....	35
4.1.1	Alat Ukur yang Digunakan	35
4.1.2	Prosedur Pengujian.....	36
4.1.3	Proses Pengujian	36
4.2	Hasil Pengujian.....	37
4.2.1	Pengujian Rangkaian Penguat <i>Push-Pull</i>	37
4.2.2	Pengujian Sistem Pengisian dan Pelepasan Muatan Kapasitor	38
4.2.3	Pengujian Rangkaian Konverter Boost Dengan Sensor Potensiometer.....	40
4.2.4	Pengujian Sistem Kendali Otomatis Konverter Boost dengan Arduino Mega 2560	40
4.2.4.1	Konverter Boost Menggunakan Suplai Bateri.	40
4.2.4.2	Konverter Boost Menggunakan Suplai Kapasitor	43
4.2.5	Pengujian Rangkaian Kopleng Kapasitor dan Baterai Menggunakan Konverter DC-DC Topologi Boost.....	47
4.3	Analisa Hasil	55
4.3.1	Pengujian Rangkaian Penguat <i>Push-Pull</i>	55
4.3.2	Pengujian Sistem Pengisian dan Pelepasan Muatan Kapasitor	56



4.3.3	Pengujian Rangkaian Konverter Boost Dengan Sensor Potensiometer	58
4.3.4	Pengujian Sistem Kendali Otomatis Konverter Boost Dengan Arduino Mega 2560	58
4.3.5	Pengujian Rangkaian Koping Kapasitor dan Baterai Menggunakan Konverter DC-DC Topologi Boost.....	60
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	66
DAFTAR PUSTAKA		67
DAFTAR INDEKS		
RIWAYAT HIDUP		



-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1	Diagram konverter DC-DC secara umum..... 5
Gambar 2.2	Konverter DC-DC dengan beban resistif: (a) Diagram rangkaian; (b) Bentuk gelombang tegangan keluaran. 6
Gambar 2.3	Diagram rangkaian konverter boost..... 8
Gambar 2.4	Diagram rangkaian konverter boost saat konduksi 8
Gambar 2.5	Diagram rangkaian konverter boost saat tidak konduksi 8
Gambar 2.6	Bentuk gelombang keluaran konverter boost: (a) Tegangan induktor boost; (b) Arus induktor boost; (c) Arus kapasitor boost; (d) Tegangan kapasitor boost... 9
Gambar 2.7	Bentuk fisik arduino mega 2560[6] 17
Gambar 2.8	Bateri asam timbal (<i>lead acid</i>)..... 19
Gambar 2.9	Kurva linieritas tegangan keluaran terhadap arus terukur pada sensor arus ACS712[7] 20
Gambar 2.10	Relay modul 4-kanal..... 21
Gambar 3.1	Diagram blok sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost 24
Gambar 3.2	Susunan sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost 25
Gambar 3.3	Skema rangkaian konverter boost..... 25
Gambar 3.4	Bentuk sinyal keluaran dengan distorsi <i>cross-over</i> 29
Gambar 3.5	Rangkaian <i>push-pull</i> yang digunakan pada penelitian 29
Gambar 3.6	Rangkaian pembagi tegangan 30
Gambar 3.7	Kapasitor 0,285 Farad/16 Volt..... 32
Gambar 3.8	Program menggunakan arduino mega 2560..... 33
Gambar 4.1	Bentuk gelombang keluaran pada penguat <i>push-pull</i> . 37
Gambar 4.2	Bentuk gelombang keluaran pada PWM pin 10 arduino 38
Gambar 4.3	Aplikasi CoolTerm versi 1.4.5..... 38
Gambar 4.4	Blok diagram pengujian sistem pengisian dan pelepasan muatan kapasitor 39
Gambar 4.5	Kurva pengisian dan pelepasan muatan pada kapasitor..... 39
Gambar 4.6	Kurva karakteristik nilai <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran konverter boost menggunakan sensor potensiometer..... 40

Gambar 4.7	Kurva karakteristik nilai <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran konverter boost dengan suplai baterai	41
Gambar 4.8	Kurva nilai arus masukan dan keluaran konverter boost dengan suplai baterai	41
Gambar 4.9	Kurva karakteristik nilai efisiensi dari pembebanan konverter boost dengan suplai baterai pada pembebanan 21 Watt/24 Volt.....	42
Gambar 4.10	Kurva karakteristik nilai <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran konverter boost dengan suplai baterai	42
Gambar 4.11	Kurva nilai arus masukan dan keluaran konverter boost dengan suplai baterai	43
Gambar 4.12	Kurva karakteristik nilai efisiensi dari pembebanan konverter boost dengan suplai baterai pada pembebanan 42 Watt/24 Volt.....	43
Gambar 4.13	Kurva karakteristik tegangan pengisian dan pelepasan muatan kapasitor	44
Gambar 4.14	Kurva karakteristik nilai <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran konverter boost dengan suplai kapasitor dan pada pembebanan 21 Watt/24 Volt.	44
Gambar 4.15	Kurva nilai arus masukan dan keluaran konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 21 Watt/24 Volt.	45
Gambar 4.16	Kurva karakteristik nilai efisiensi konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 21 Watt/24 Volt.....	45
Gambar 4.17	Kurva karakteristik tegangan pengisian dan pelepasan muatan kapasitor	46
Gambar 4.18	Kurva nilai arus masukan dan keluaran konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 42 Watt/24 Volt.....	46
Gambar 4.19	Kurva karakteristik nilai <i>duty cycle</i> terhadap tegangan keluaran konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 42 Watt/24 Volt	47
Gambar 4.20	Kurva karakteristik nilai efisiensi konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 42 Watt/24 Volt.....	47
Gambar 4.21	Kurva karakteristik tegangan pengisian dan pelepasan muatan kapasitor pada mode jalan menanjak	48

Gambar 4.22	Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus motor pada mode jalan menanjak.....	48
Gambar 4.23	Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus baterai pada mode jalan menanjak.....	49
Gambar 4.24	Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus konverter boost pada mode jalan menanjak.....	49
Gambar 4.25	Kurva perbandingan nilai arus baterai dan konverter boost pada mode jalan menanjak.....	50
Gambar 4.26	Kurva karakteristik nilai tegangan kapasitor pada mode jalan menurun.....	50
Gambar 4.27	Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus motor pada mode jalan menurun.....	51
Gambar 4.28	Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus baterai pada mode jalan menurun.....	51
Gambar 4.29	Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus konverter boost pada mode jalan menurun.....	52
Gambar 4.30	Kurva perbandingan nilai arus baterai, arus motor dan konverter boost pada mode jalan menurun.....	52
Gambar 4.31	Kurva karakteristik tegangan pengisian dan pelepasan muatan kapasitor pada mode jalan dengan kondisi macet.....	53
Gambar 4.32	Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus motor pada mode jalan dengan kondisi macet.....	53
Gambar 4.33	Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus baterai pada mode jalan dengan kondisi macet.....	54
Gambar 4.34	Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus konverter boost pada mode jalan dengan kondisi macet.....	54
Gambar 4.35	Kurva perbandingan nilai arus baterai dan konverter boost pada mode jalan dengan kondisi macet.....	55
Gambar 4.36	Tegangan keluaran konverter boost.....	59



-Halaman ini sengaja dikosongkan-

TABEL INISIAL SIMBOL

Simbol	Keterangan
DC	<i>Direct Current</i> (Arus Searah)
AC	<i>Alternating Current</i> (Arus bolak-balik)
CT	<i>Center Tap</i>
ZEV	<i>Zero Emission Vehicles</i>
LEV	<i>Low Emission Vehicles</i>
MOSFET	<i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i>
IGBT	<i>Insulated-Gate Bipolar Transistor</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
ADC	<i>Analog to Digital Converter</i>
D	<i>Duty cycle</i>
W	Energi/Usaha
Hz	Hertz
V	Volt
I	Arus
I_i	Arus masukan
A	Ampere
Ah	<i>Ampere hour</i>
mA	miliampere
kB	kilobyte
VCC	Tegangan catu
GND	Ground
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
I/O	<i>Input/Output</i>
T_{ON}	Periode konduksi
T_{OFF}	Periode tidak konduksi
T	Periode
F	Frekuensi
f_{sw}	Frekuensi pensaklaran
P_o	Daya Keluaran
P_i	Daya masukan
t	<i>Time</i> (waktu)
$V_{masukan}$	Tegangan masukan
V_i	

V_{keluaran}	Tegangan keluaran
V_o	
i_o	Arus keluaran
L	Induktor
i_L	Arus induktor
V_L	Tegangan induktor
C	Kapasitor
V_c	Tegangan kapasitor
i_{BE}	Arus <i>basis-emiter</i>
i_c	Arus kapasitor
SW	<i>Switch</i> (saklar)
R	Resistansi
Q	Muatan energi
Δi_L	Riak arus induktor
ΔV_c	Riak tegangan kapasitor
V_{GS}	Tegangan <i>gate-source</i>
V_{BE}	Tegangan <i>basis-emiter</i>
V_{DD}	Tegangan catu
V_{DS}	Tegangan <i>drain-source</i>
V_{th}	Tegangan <i>treshold</i>
Ω	Ohm
i_D	Arus <i>drain</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
TCCR2B	<i>Timer/Counter Control Register 2B</i>
CCM	<i>Continuous Conduction Mode</i>
DCM	<i>Discontinuous Conduction Mode</i>
L_{CCM}	Induktor untuk mode CCM
L_{DCM}	Induktor untuk mode DCM
$\frac{di}{dt}$	Degradasi arus terhadap waktu
$\frac{dv}{dt}$	Degradasi tegangan terhadap waktu

DAFTAR TABEL

	Hal
Tabel 2.1 Perbandingan <i>depletion-mode</i> dan <i>enhancement-mode</i> terhadap pengaruh $V_{GS}[4]$	14
Tabel 2.2 Spesifikasi arduino mega 2560[5].....	18
Tabel 3.1 Parameter desain konverter boost.....	25
Tabel 3.2 Perbandingan nilai komponen hasil perhitungan dan realisasi.....	27
Tabel 3.3 Penggunaan pin arduino mega 2560.....	31
Tabel 4.1 Hasil pengujian frekuensi PWM	37
Tabel 4.2 Hasil pengujian <i>duty cycle</i>	37
Tabel 4.3 Perhitungan frekuensi pada <i>Timer 2</i> (Pin 9, 10).....	55
Tabel 4.4 Perbandingan pembacaan nilai tegangan kapasitor	57
Tabel 4.5 Efisiensi konverter boost menggunakan suplai baterai dengan beban (21 Watt/24 Volt)	60
Tabel 4.6 Efisiensi konverter boost menggunakan suplai baterai dengan beban (42 Watt/24 Volt)	61
Tabel 4.7 Efisiensi konverter boost menggunakan suplai kapasitor dengan beban (21 Watt/24 Volt)	61
Tabel 4.8 Efisiensi konverter boost menggunakan suplai kapasitor dengan beban (42 Watt/24 Volt)	61



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ada keinginan publik untuk mengomersialisasikan kendaraan elektrik yang bebas dari polutan mendorong untuk terus dilakukannya pengembangan di bidang mobil listrik. Menurut *International Standard* (ISO 8713:2002) mobil listrik dikenal dengan istilah *electric road vehicles* yang di Amerika dikembangkan menjadi dua jenis, yaitu *Zero Emission Vehicles* (ZEV) dan *Low Emission Vehicles* (LEV)[1]. Mobil listrik yang dikategorikan menjadi *Zero Emission Vehicles* (ZEV) adalah mobil baterai (*battery operate*) dan mobil *fuel cell*. *Low Emission Vehicles* (LEV) adalah mobil yang sistem penggeraknya memadukan antara mesin konvensional dengan motor listrik (*hybrid electric vehicle*). Permasalahan yang muncul untuk mengembangkan mobil listrik bertenaga baterai adalah besar konsumsi daya pada baterai yang dibutuhkan untuk mengoptimalkan performa kendaraan.

Bateri merupakan salah satu sumber energi utama yang digunakan pada mobil hibrida. Untuk memperoleh daya yang besar tentu dibutuhkan kapasitas penyimpanan energi pada baterai yang besar pula. Semakin besar kapasitas penyimpanan energi pada baterai, maka dimensi baterai tentu akan semakin besar. Kebutuhan daya transien dari mobil hibrida mengakibatkan semakin tinggi tingkat konsumsi energi pada baterai. Untuk mengatasi kebutuhan daya transien pada mobil hibrida, dibutuhkan media penyimpanan energi alternatif. Media penyimpanan energi alternatif yang digunakan harus mampu menyuplai energi dengan cepat, guna menyokong baterai dalam menyuplai kebutuhan energi transien yang ada. Komponen yang dianggap tepat sebagai media penyimpanan energi alternatif adalah kapasitor[2].

Upaya optimalisasi konsumsi energi pada baterai dapat dilakukan dengan melakukan strategi manajemen energi untuk kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter arus searah (DC) ke arus searah (DC-DC) topologi boost.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem strategi manajemen energi untuk kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan kapasitor pada strategi manajemen energi untuk kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost?

1.3 Batasan Masalah

Batasan Masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Perancangan sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost.
2. Menguji efisiensi konverter boost yang digunakan.
3. Membandingkan kinerja kapasitor pada kondisi jalan menanjak, menurun dan macet.

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost.
2. Mengoptimalkan konsumsi energi baterai dengan kopling kapasitor menggunakan konverter DC-DC topologi boost.

1.5 Metodologi

Dalam penyelesaian tugas akhir ini digunakan metodologi sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dasar teori yang mendukung dalam penelitian dan penulisan tugas akhir. Dasar teori dapat diperoleh dari buku-buku, jurnal, dan artikel-artikel dari internet.

2. Perancangan Perangkat Keras

Pada tahap ini dirancang perangkat keras yang terdiri dari mikrokontroler Arduino Mega 2560, kapasitor, rangkaian konverter boost, rangkaian penguat *push-pull*, dan rangkaian pembagi tegangan.

3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak meliputi pembuatan perangkat lunak pada mikrokontroler yang digunakan untuk menguji sistem yang telah dirancang.

4. Pengujian Sistem

Proses pengujian sistem dilakukan dengan menguji efisiensi konverter boost yang digunakan dan membandingkan karakteristik energi yang mampu diberikan kapasitor pada beberapa mode pengujian yang berbeda.

5. Penulisan Laporan Tugas Akhir

Tahap penulisan laporan adalah tahap akhir dari proses pengerjaan tugas akhir. Isi laporan berisikan hal yang berkaitan dengan tugas akhir yang dikerjakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk pembahasan lebih lanjut, laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan membahas latar belakang pengambilan judul, permasalahan, tujuan, metode penelitian, sistematika dari penulisan tugas akhir ini.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai dasar teori yang mendukung dalam penelitian dan penulisan tugas akhir.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pembahasan sistem dan rangkaian-rangkaian penunjang eksperimen pada kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL

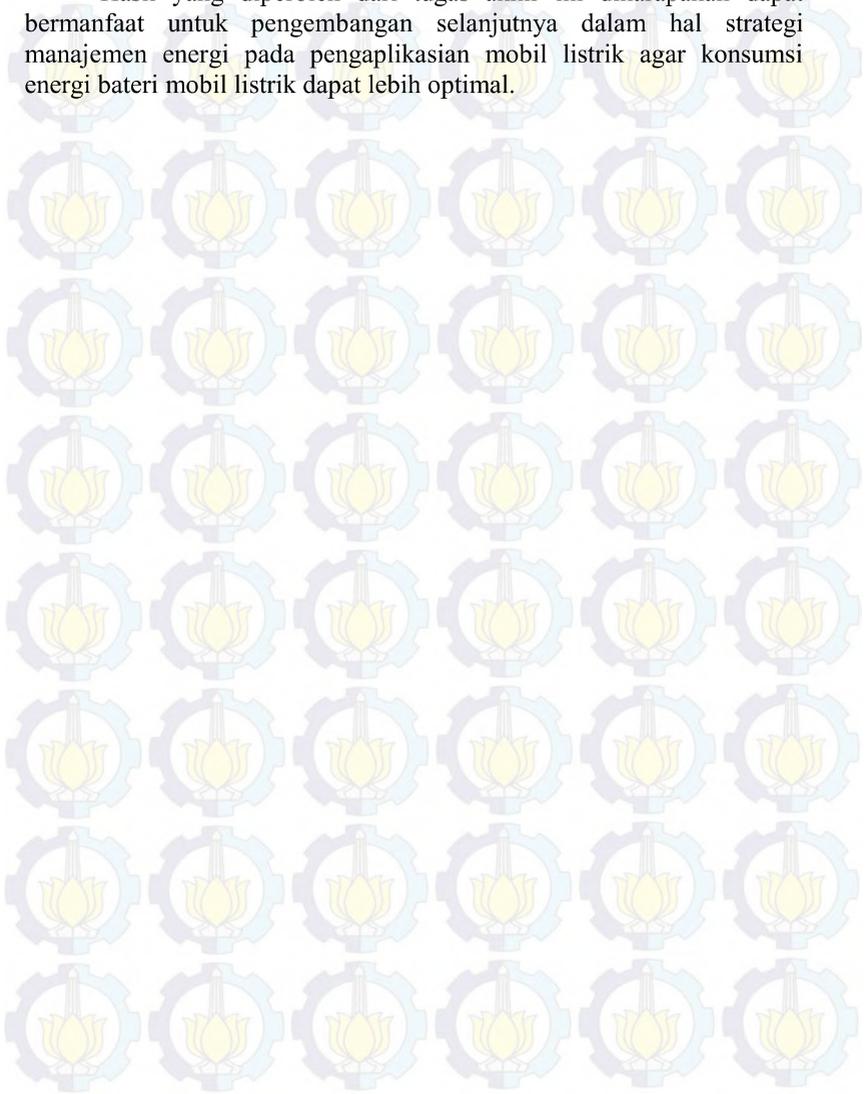
Pemaparan data yang telah diambil dan analisa dari hasil eksperimen kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost.

BAB V PENUTUP

Kesimpulan dan saran yang diperoleh dari penulisan tugas akhir ini.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat bermanfaat untuk pengembangan selanjutnya dalam hal strategi manajemen energi pada pengaplikasian mobil listrik agar konsumsi energi baterai mobil listrik dapat lebih optimal.



BAB II

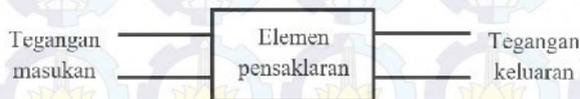
LANDASAN TEORI

2.1 Konverter DC-DC

Konverter DC-DC merupakan rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengubah suatu masukan tegangan DC (*Direct Current*) menjadi tegangan DC keluaran dengan nilai yang lebih besar atau kecil dari tegangan masukannya[3]. Secara umum terdapat 4 (empat) topologi dasar konverter DC-DC, yaitu konverter buck (penurun tegangan), konverter boost (penaik tegangan), konverter buck-boost (penaik-penurun tegangan) dan konverter cuk[5]. Keempat topologi dasar ini termasuk dalam konverter DC-DC tak terisolasi, atau secara sederhana bermakna tidak adanya penggunaan trafo (isolasi galvanis) antara tegangan masukan dan tegangan keluaran konverter DC-DC[2]. Berdasarkan metode pengolahan daya dengan metode *switching*, konverter DC-DC dapat dibagi menjadi 2 (dua) tipe utama yaitu *hard-switching pulse width modulation (PWM) converter* dan *resonant and soft-switching converter*[3].

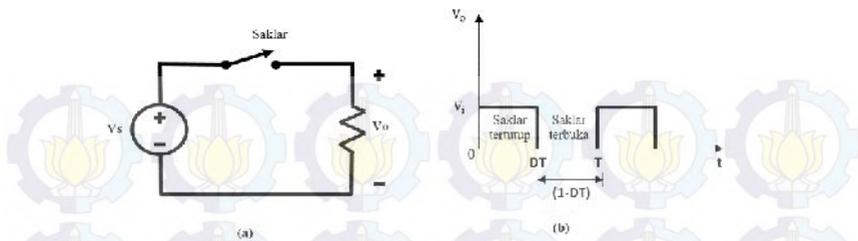
2.1.1 *Hard-Switching Pulse Width Modulation (PWM) Converter*

Pada topologi ini metode pengaturan tegangan dilakukan dengan mengubah atau mengatur periode konduksi (T_{ON}) pada tegangan berfrekuensi dengan periode frekuensi yang tetap atau sama. Perbandingan antara periode saklar saat konduksi (T_{ON}) dengan periode saklar saat tidak konduksi (T_{OFF}) disebut *duty cycle (D)*. Gambar 2.1 menunjukkan diagram sistem konverter DC-DC secara sederhana.



Gambar 2.1 Diagram konverter DC-DC secara umum

Duty cycle (D) secara sederhana dapat diperoleh menggunakan persamaan tegangan masukan terhadap tegangan keluaran. Rangkaian konverter DC-DC dengan beban resistif yang ditunjukkan oleh Gambar 2.2, persamaan yang diperoleh yaitu:



Gambar 2.2 Konverter DC-DC dengan beban resistif[5]: (a) Diagram rangkaian; (b) Bentuk gelombang tegangan keluaran

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} = \frac{T_{ON}}{T} \quad (2.1)$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (2.2)$$

$$V_{keluaran} = DV_{masukan} \quad (2.3)$$

keterangan:

D = Duty cycle

T_{ON} = Periode konduksi (detik)

T_{OFF} = Periode tak konduksi (detik)

T = Periode (detik)

f = frekuensi pensaklaran (Hertz)

Keuntungan topologi ini yaitu jumlah komponen yang rendah, efisiensi tinggi, pengoperasian pada frekuensi konstan, kontrol yang relatif sederhana dan ketersediaan pengendali sirkuit terpadu (mikrokontroler) yang komersial serta kemampuan untuk mencapai rasio konversi yang tinggi pada aplikasi penaik tegangan ataupun penurun tegangan. Kelemahan pada topologi ini adalah bahwa tegangan kotak PWM dan bentuk gelombang arus menyebabkan kerugian pensaklaran (periode konduksi dan tidak konduksi) pada perangkat semikonduktor. Secara praktis penggunaan frekuensi pensaklaran dibatasi pada ratusan kilohertz.

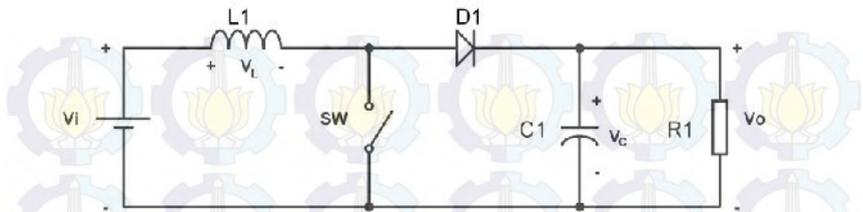
2.1.2 Resonant And Soft-Switching Converter

Pada topologi *hard-switching pulse width modulation* (PWM) *converter* pensaklaran bekerja pada kondisi arus beban mengalir, sehingga menimbulkan kerugian pensaklaran dan tekanan pensaklaran. Pensaklaran juga akan menimbulkan degradasi arus ($\frac{di}{dt}$) dan tegangan ($\frac{dv}{dt}$) terhadap waktu yang besar. Komponen degradasi arus dan tegangan terhadap waktu akan mengakibatkan timbulnya EMI (*Electro Magnetic Interference*). Untuk mengatasi kerugian tersebut dikembangkan metode *soft-switching* menggunakan rangkaian resonansi.

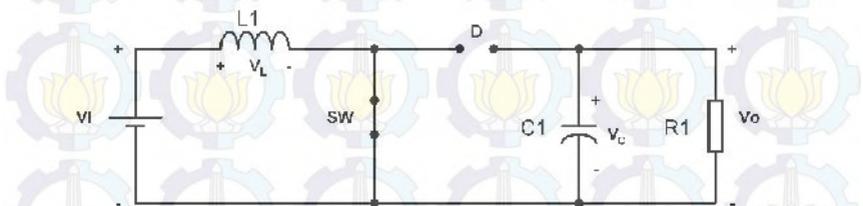
2.2 Konverter Boost

Konverter boost merupakan topologi konverter dari konverter DC-DC yang digunakan untuk memperoleh tegangan keluaran DC lebih besar daripada tegangan masukan DC. Komponen yang menyusun rangkaian konverter DC-DC topologi boost yaitu sumber tegangan DC, induktor boost (L), saklar terkendali (S), diode (D), kapasitor filter (C) dan beban (R). Komponen saklar terkendali (S) dapat berupa thyristor, MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*), IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) dan lain-lain. Gambar 2.3 menunjukkan diagram rangkaian konverter boost secara sederhana. Gambar 2.4 dan Gambar 2.5 secara berturut-turut menunjukkan rangkaian konverter boost saat kondisi konduksi dan tidak konduksi. Secara sederhana prinsip kerja dari konverter boost dapat jelaskan bahwa:

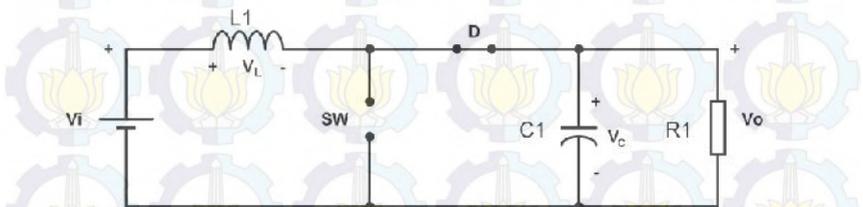
1. Ketika saklar konduksi (tertutup) dan dioda tidak konduksi, arus mengalir searah jarum jam dari sumber menuju ke induktor (terjadi pengisian muatan pada induktor). Polaritas induktor pada sisi kiri lebih positif dibandingkan sisi kanannya.
2. Ketika saklar tidak konduksi (terbuka) dan dioda konduksi, arus yang disimpan di induktor akan berkurang karena impedansi yang lebih tinggi. Berkurangnya arus pada induktor menyebabkan induktor tersebut melawannya dengan membalik polaritasnya (lebih negatif pada sisi kiri). Sehingga, arus yang mengalir pada dioda dan pada beban adalah penjumlahan antara arus pada sumber dan arus pada induktor (secara seri). Disaat yang bersamaan kapasitor juga akan melakukan penyimpanan energi dalam bentuk tegangan.



Gambar 2.3 Diagram rangkaian konverter boost



Gambar 2.4 Diagram rangkaian konverter boost saat konduksi



Gambar 2.5 Diagram rangkaian konverter boost saat tidak konduksi

Persamaan 2.4 dan 2.5 berturut-turut menunjukkan persamaan tegangan pada rangkaian konverter boost saat periode konduksi dan tidak konduksi.

$$V_L(t) = V_i \quad (2.4)$$

$$V_L(t) = V_i - V_o \quad (2.5)$$

keterangan:

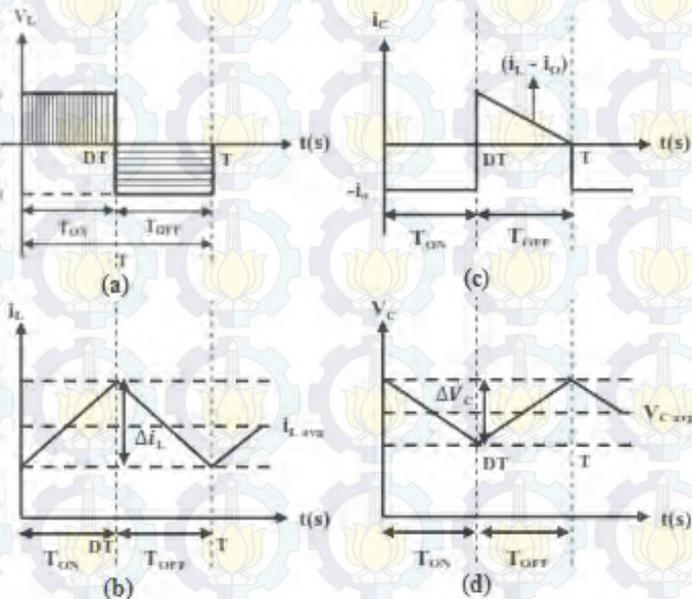
V_L = Tegangan induktor (Volt)

V_i = Tegangan masukan (Volt)

V_o = Tegangan keluaran (Volt)

Bentuk gelombang keluaran konverter boost pada periode konduksi dan tidak konduksi ditunjukkan oleh Gambar 2.5. Operasi substitusi persamaan (2.3) dan (2.4) dilakukan untuk memperoleh persamaan tegangan DC masukan dan tegangan DC keluaran dengan *duty cycle* (D). Bentuk gelombang keluaran konverter boost: (a) tegangan induktor boost, yaitu:

$$\begin{aligned} V_L(t)(\text{periode konduksi}) &= V_L(t)(\text{periode tidak konduksi}) \\ V_i(t) &= -(V_o - V_i)(t) \end{aligned} \quad (2.7)$$



Gambar 2.6 Bentuk gelombang keluaran konverter boost: (a) Tegangan induktor boost; (b) Arus induktor boost; (c) Arus kapasitor boost; (d) Tegangan kapasitor boost

Operasi substitusi nilai (t) sesuai kondisi pensaklaran dilakukan pada persamaan (2.7). Untuk persamaan (2.4), nilai (t) = T_{ON} dan untuk persamaan (2.5), nilai (t) = T_{OFF} .

$$V_i T_{ON} = (V_o - V_i) T_{OFF} \quad (2.8)$$

$$V_i T_{ON} = V_o T_{OFF} - V_i T_{OFF} \quad (2.9)$$

Diketahui bahwa periode total (T) = $T_{ON} + T_{OFF}$, maka pada persamaan (2.9) nilai T_{OFF} dapat diubah dalam bentuk ($T - T_{ON}$).

$$V_i T_{ON} = V_o (T - T_{ON}) - V_i (T - T_{ON}) \quad (2.10)$$

$$V_i T_{ON} = V_o T - V_o T_{ON} - V_i T + V_i T_{ON} \quad (2.11)$$

$$V_i T_{ON} - V_o T + V_o T_{ON} + V_i T - V_i T_{ON} = 0 \quad (2.12)$$

Persamaan 2.12 dapat disajikan dalam bentuk persamaan yang berbeda dengan mengalikan kedua ruas dengan $\frac{1}{T}$ agar nilai D dapat ditentukan. Persamaan yang dapat diperoleh adalah:

$$(-V_o T + V_o T_{ON} + V_i T) \times \frac{1}{T} = 0 \times \frac{1}{T} \quad (2.13)$$

$$V_o (-1 + D) + V_i = 0 \quad (2.14)$$

$$V_o (-1 + D) = -V_i \quad (2.15)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-1}{-1+D} \quad (2.16)$$

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{-1}{-(1-D)} \quad (2.17)$$

Persamaan antara tegangan DC masukan dan tegangan DC keluaran dengan *duty cycle* (D) dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-D} \quad (2.18)$$

Nilai *duty cycle* (D) harus memenuhi syarat $0 \leq D \leq 1$. Nilai komponen induktor (L) untuk konverter boost dapat ditentukan berdasarkan Gambar 2.6. Persamaan yang dapat diperoleh berdasarkan bentuk gelombang keluaran konverter boost: (b) arus induktor boost, yaitu:

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (2.19)$$

$$\frac{V_L}{L} = \frac{di}{dt} \quad (2.20)$$

Operasi substitusi nilai $\frac{\Delta i_L}{\Delta t}$ pada persamaan 2.21 dilakukan untuk menggantikan nilai $\frac{di}{dt}$ sebagai representasi perubahan nilai arus induktor konverter boost.

$$\frac{V_L}{L} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} \quad (2.21)$$

$$\Delta i_L = \frac{V_L \Delta t}{L} \quad (2.22)$$

$$\Delta i_L = \frac{V_i \Delta t}{L} \quad (2.23)$$

Persamaan dapat dinyatakan dengan menggantikan nilai Δt yang merupakan periode perubahan arus induktor, dengan periode konduksi dari saklar.

$$\Delta i_L = \frac{V_i T_{ON}}{L} \quad (2.24)$$

Persamaan $D = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} = \frac{T_{ON}}{T}$ dapat disubstitusikan untuk menggantikan nilai T_{ON} pada persamaan 2.24. Persamaan menjadi:

$$\Delta i_L = \frac{V_i D T}{L} \quad (2.25)$$

Diketahui bahwa $T = \frac{1}{f_{sw}}$, maka nilai T dapat digantikan dalam bentuk yang berbeda, yaitu:

$$\Delta i_L = \frac{V_i D}{L f_{sw}} \quad (2.26)$$

Berdasarkan persamaan 2.26, maka nilai induktor (L) konverter boost dapat ditentukan melalui persamaan:

$$L = \frac{V_i D}{\Delta i_L f_{sw}} \quad (2.27)$$

keterangan:

Δi_L = Riak arus inductor (Volt)

L = Induktor (Henry)

Ada 2 (dua) mode pengoperasian konverter boost, yaitu *Continuous Conduction Mode* (CCM) dan *Discontinuous Conduction Mode* (DCM). Terdapat syarat penggunaan nilai induktor (L) yang harus dipenuhi untuk masing-masing mode pengoperasian, yaitu:

1. $L_{CCM} > L$, untuk mode CCM
2. $L_{DCM} < L$, untuk mode DCM

Berdasarkan Gambar 2.6. Bentuk gelombang keluaran konverter boost: (c) arus kapasitor boost, maka dapat diperoleh persamaan daya reaktif pada kapasitor konverter boost, yaitu:

$$Q = i_o \cdot T_{ON} \quad (2.28)$$

keterangan:

Q = Daya reaktif (VAr)

i_o = Arus keluaran (Ampere)

Daya reaktif pada kapasitor konverter boost yang dapat diperoleh berdasarkan Gambar 2.6. Bentuk gelombang keluaran konverter boost: (d) tegangan kapasitor boost, direpresentasikan oleh persamaan berikut:

$$Q = \Delta V_c C \quad (2.29)$$

keterangan:

ΔV_c = Riak tegangan filter kapasitor (Volt)

C = Kapasitor (Farad)

Dilakukan operasi substitusi dari kedua persamaan daya reaktif yang diperoleh berdasarkan arus dan tegangan, untuk menentukan nilai komponen kapasitor filter (C) minimal yang digunakan pada konverter boost. Persamaan 2.30 menunjukkan operasi substitusi nilai daya reaktif.

$$Q \text{ (persamaan 2.28)} = Q \text{ (persamaan 2.29)} \quad (2.30)$$

$$\Delta V_c C = i_o T_{ON} \quad (2.31)$$

Persamaan $D = \frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} = \frac{T_{ON}}{T}$ disubstitusikan untuk menggantikan nilai T_{ON} , sehingga:

$$\Delta V_c C = i_o D T \quad (2.32)$$

$$\Delta V_c = \frac{i_o D T}{C} \quad (2.33)$$

Diketahui bahwa $T = \frac{1}{f_{sw}}$, maka persamaan 2.33 dapat direpresentasikan dalam bentuk:

$$\Delta V_c = \frac{i_o D}{C f_{sw}} \quad (2.34)$$

Berdasarkan hukum Ohm, besar nilai arus keluaran dapat ditentukan melalui persamaan $i_o = \frac{V_o}{R}$. Persamaan 2.34 dapat direpresentasikan dalam bentuk:

$$\Delta V_c = \frac{V_o D}{R C f_{sw}} \quad (2.35)$$

Berdasarkan persamaan 2.35, maka nilai minimal komponen kapasitor filter (C) yang digunakan dapat ditentukan melalui persamaan:

$$C = \frac{V_o D}{R \Delta V_c f_{sw}} \quad (2.36)$$

keterangan:

R = Resistor (Ohm)

2.3 MOSFET Sebagai Saklar

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) merupakan salah satu jenis transistor yang memiliki impedansi masukan (*gate*) sangat tinggi (hampir tak berhingga, sebab *gate* terisolasi oleh suatu bahan oksida). Jenis transistor ini disebut juga IGFET yaitu *insulated-gate FET*, karena *gate* MOSFET yang terisolasi. Ada 2 (dua) jenis MOSFET, yaitu [5]:

1. *Depletion-mode*

Untuk kanal-N MOSFET, semakin positif tegangan *gate* (tegangan *gate* mulai dari nilai negatif) maka semakin besar celah deplesi kanal (arus drain (I_D) semakin besar).

2. *Enhancement-mode*

Perbedaan MOSFET *enhancement-mode* dengan MOSFET *depletion-mode* terletak pada strukturnya, subtrat pada MOSFET *enhancement-mode* dibuat hingga menyentuh *gate*, sehingga saat V_{GS} (tegangan *gate-source*) = 0 Volt arus belum bisa mengalir. Dengan menaikkan tegangan (semakin positif) akan membuat arus dapat mengalir.

Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan MOSFET pada *depletion-mode* dan *enhancement-mode* terhadap pengaruh V_{GS} . Dengan menggunakan MOSFET sebagai saklar elektronik, hal tersebut memungkinkan untuk menghubungkan MOSFET dengan semua jenis gerbang logika.

Tabel 2.1 Perbandingan *depletion-mode* dan *enhancement-mode* terhadap pengaruh V_{GS}

Type MOSFET	$V_{GS} = (+)V_{dd}$	$V_{GS} = 0$	$V_{GS} = (-)V_{dd}$
<i>Depletion</i> kanal-N	nyala	nyala	mati
<i>Depletion</i> kanal-P	mati	nyala	nyala
<i>Enhancement</i> kanal-N	nyala	mati	mati
<i>Enhancement</i> kanal-P	mati	mati	nyala

keterangan:

V_{GS} = Tegangan *gate-source* (Volt)

V_{dd} = Tegangan catu (Volt)

Untuk memfungsikan MOSFET sebagai saklar maka hanya perlu menggunakan 2 (dua) kondisi MOSFET, yaitu pada kondisi saturasi (konduksi) dan kondisi *cut-off* (tidak konduksi)[5].

1. Kondisi *cut-off* (MOSFET Tidak Konduksi)

Pada daerah *cut-off*, MOSFET tidak mendapatkan tegangan masukan ($V_i = 0$ Volt) sehingga tidak ada arus *drain* yang mengalir. Kondisi ini akan membuat tegangan V_{DS} (tegangan *drain-source*) = V_{dd} . Berdasarkan beberapa kondisi yang terlihat pada kurva karakteristik MOSFET, maka pada daerah *cut-off* ini

MOSFET dikatakan tidak konduksi. Pada kondisi ini tegangan *gate* lebih rendah dari tegangan *threshold* ($V_{GS} < V_{th}$) dan MOSFET merupakan saklar terbuka dengan arus *drain* (I_D) = 0 Ampere.

2. Kondisi Saturasi (MOSFET Konduksi)

Pada daerah saturasi, MOSFET mendapatkan tegangan masukan (V_{GS}) secara maksimal sehingga arus *drain* pada MOSFET juga akan maksimum dan membuat tegangan $V_{DS} = 0$ Volt. Pada kondisi saturasi ini MOSFET mendapat tegangan masukan *gate* (V_{GS}) lebih tinggi dari tegangan *threshold* ($V_{GS} > V_{th}$), sehingga dapat dikatakan dalam kondisi konduksi secara penuh atau dapat dianalogikan sebagai saklar pada kondisi tertutup (resistansi *drain* dan *source* sangat rendah).

2.4 Penguat *Push-Pull*

Penguat *push-pull* merupakan rangkaian elektronik yang digunakan untuk mengendalikan arus positif ataupun negatif menuju beban. Penguat *push-pull* dapat digunakan untuk logika digital TTL (*Transistor-Transistor Logic*) dan CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*), serta beberapa jenis penguat. Secara umum penguat *push-pull* tersusun dari pasangan transistor komplementer. Skema sirkuit penguat *push-pull* digambar vertikal dengan 2 (dua) transistor yang ditumpuk, sehingga sirkuit ini sering disebut dengan penguat tiang totem (*totem pole*)[9].

Untuk rangkaian analog penguat *push-pull* banyak digunakan pada penguat daya kelas B dan kelas AB. Penggunaan penguat *push-pull* memberikan efisiensi yang tinggi dan kemampuan mengendalikan beban yang lebih besar daripada penguat linier kelas A. Penguat konvensional yang tidak menggunakan penguat *push-pull*, sering disebut penguat *single-ended* untuk membedakan dari rangkaian *push-pull*. Pada penguat daya *push-pull* analog, peranti keluaran (transistor, tabung atau FET) digerakkan dalam antifasa (terpisah 180 derajat). Kedua keluaran antifasa dihubungkan dengan beban sehingga saling menambahkan, tetapi komponen distorsi karena ketidaklinieran peranti keluaran juga ditambahkan. Ketidaklinieran dari kedua peranti keluaran sama mengakibatkan distorsi akan saling menghilangkan satu sama lain. Sebuah penguat *push-pull* lebih sedikit menimbulkan distorsi dibanding keluaran *single-ended*. Distorsi pada keluaran penguat kelas AB dan kelas B dapat diminimalkan dengan menggunakan umpan balik negatif[9].

2.5 Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor merupakan media untuk mengetahui kondisi dan mendeteksi perubahan pada sebuah objek. Variabel keluaran dari sensor yang diubah menjadi besaran listrik disebut transduser. Untuk mendapatkan informasi dari sensor ke dalam komputer, pada tahap awal sinyal dari sensor harus dibaca oleh perangkat *interface*, kemudian dari perangkat *interface* dikirim menuju komputer. Dalam pembacaan sinyal oleh perangkat *interface*, sinyal dari sensor harus sering mengalami beberapa bentuk pengkondisian. Hampir semua perangkat *interface* dirancang untuk memungkinkan *interface* sensor ke komputer dan dirancang untuk menerima sinyal tegangan di kisaran 0 (nol) sampai 5 (lima) volt.

Rangkaian pengkondisian sinyal digunakan untuk menerima dan mengkondisikan keluaran apapun yang berasal dari sensor, keluaran bisa berupa tegangan ataupun resistansi. Rangkaian ini bekerja mengubah keluaran tersebut menjadi sinyal 0 (nol) sampai 5 (lima) volt. Proses ini biasanya melibatkan kombinasi dari satu atau lebih proses sederhana, yaitu mengubah nilai resistansi menjadi tegangan, membagi tegangan, memperkuat tegangan, atau menggeser tegangan.

2.6 Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to Digital Converter (ADC) adalah pengubah masukan analog menjadi kode-kode digital. ADC banyak digunakan sebagai pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran atau pengujian. ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistem digital.

ADC (*Analog to Digital Converter*) memiliki 2 (dua) karakter prinsip, yaitu kecepatan sampling dan resolusi. Kecepatan sampling suatu ADC menyatakan seberapa sering sinyal analog dikonversikan ke bentuk sinyal digital pada selang waktu tertentu. Kecepatan sampling ADC dinyatakan dalam *sample per second* (SPS)[10].

2.6.1 Pengaruh Kecepatan Sampling ADC

Resolusi ADC menentukan ketelitian nilai hasil konversi ADC. Sebagai contoh, ADC 8 bit akan memiliki keluaran 8 bit data digital, ini berarti sinyal masukan dapat dinyatakan dalam 255 ($2^n - 1$) nilai diskrit. ADC 12 bit memiliki 12 bit keluaran data digital, ini berarti sinyal masukan dapat dinyatakan dalam 4096 nilai diskrit. Berdasarkan penjelasan contoh mengenai resolusi ADC, maka dapat diketahui bahwa

ADC 12 bit akan memberikan ketelitian nilai hasil konversi yang jauh lebih baik daripada ADC 8 bit[10].

2.7 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah sebuah *board* mikrokontroler yang menggunakan ATmega2560. Arduino Mega 2560 memiliki 54 pin digital masukan/keluaran, 15 pin digital masukan/keluaran dapat digunakan sebagai keluaran PWM, 16 pin masukan analog, resonator keramik 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, *header In-Circuit Serial Programming* (ICSP), dan tombol reset. Konten tersebut merupakan semua komponen yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Arduino Mega 2560 dapat diaktifkan dengan menghubungkan arduino ke komputer melalui kabel USB atau dengan adaptor AC-DC[5].

Arduino memiliki kelebihan tersendiri dibanding *board* mikrokontroler yang lain. Selain bersifat *open source*, arduino juga mempunyai bahasa pemrograman sendiri yang berupa bahasa C. Selain itu dalam *board* arduino sendiri sudah terdapat *loader* yang berupa *Universal Serial Bus* (USB) sehingga memudahkan proses pemrograman mikrokontroler di dalam arduino. *Port* USB juga difungsikan sebagai *port* komunikasi serial. Tabel 2.2 menunjukkan spesifikasi arduino mega 2560. Bentuk fisik dari Arduino Mega 2560 yang digunakan ditunjukkan oleh Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Bentuk fisik arduino mega 2560[6]

Tabel 2.2 Spesifikasi arduino mega 2560[6]

Mikrokontroler	ATMega2560
Tegangan operasi	5 V
Tegangan masukan (Rekomendasi)	7-12 V
Batas tegangan masukan	6-20 V
Jumlah pin I/O digital	54
Jumlah pin masukan analog	16
Arus DC per I/O	40 mA
Arus pin 3.3 V	50 mA
Flash Memory	256 KB (ATmega2560) yang mana 8 KB digunakan oleh <i>bootloader</i>
SRAM	8 KB (Atmega2560)
EEPROM	4 KB (Atmega328)
Kecepatan <i>clock</i>	16 MHz

2.8 Bateri Asam Timbal (*Lead Acid*)

Bateri asam timbal adalah baterai sekunder yang paling banyak dikembangkan di dunia. Bateri asam timbal banyak digunakan untuk aplikasi otomotif, sehingga dinamakan juga sebagai baterai SLI (*Starting, Lightning and Ignition*). Penggunaan masal baterai jenis SLI dikarenakan material untuk membuat baterai tersebut cukup murah dan baterai memiliki performa yang cukup baik. Untuk aplikasi yang membutuhkan daya yang lebih tinggi dengan waktu yang relatif lama, baterai SLI tidak dapat digunakan. Hal ini karena baterai asam timbal hanya memiliki kedalaman pelepasan muatan listrik (*Depth of Discharge - DOD*) sebesar 50% saja[11].

Bateri jenis asam timbal tersusun atas timbal dioksida sebagai katoda, sepon logam timbal sebagai anoda dan asam sulfat sebagai cairan elektrolit. Setiap sel memiliki tegangan sebesar 2 (dua) Volt. Keuntungan penggunaan baterai jenis asam timbal yaitu kuat, murah, handal, toleran terhadap kelebihan pengisian, impedansi internal yang rendah, dan banyaknya perusahaan pembuat baterai jenis ini di berbagai belahan dunia. Kekurangan dari baterai jenis SLI ini yaitu sangat berat, memiliki efisiensi energi yang rendah (sekitar 70%), berbahaya jika kelebihan panas pada saat pengisian, memiliki waktu siklus yang rendah (300-500 siklus), dan materialnya berbahaya bagi lingkungan[11]. Bentuk fisik dari baterai asam timbal ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Bateri asam timbal (*lead acid*)

2.9 Sensor Arus ACS712

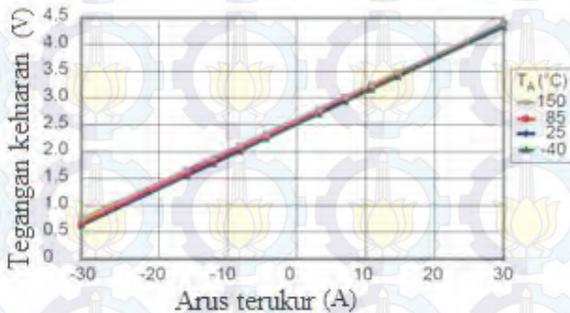
ACS712 adalah sensor arus yang bekerja berdasarkan efek medan. Sensor arus ini dapat digunakan untuk mengukur arus AC (*Alternating Current*) atau DC (*Direct Current*). Modul sensor ini telah dilengkapi dengan rangkaian penguat operasional, sehingga sensitivitas pengukuran sensor ini dapat mengukur perubahan arus yang kecil. Sensor ini digunakan pada aplikasi-aplikasi di bidang industri, komersial, maupun komunikasi[7].

Cara kerja sensor ini yaitu, arus yang diukur mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat di dalam sensor. Kabel tembaga tersebut menghasilkan medan magnet yang akan di tangkap oleh IC (*Integrated Circuit*) medan dan diubah menjadi tegangan proporsional[7]. Keluaran tegangan proporsional ini dapat di ukur menggunakan sistem digital. Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara memasang penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan tranduser medan secara berdekatan. Beberapa fitur penting dari sensor arus ACS712 adalah[7]:

1. Jalur sinyal analog yang rendah *noise*
2. Waktu naik keluaran 5 (lima) mikrodetik dalam menanggapi langkah masukan aktif
3. Bentuk yang kecil
4. Resistansi internal 1,2 m Ω
5. Operasi catu daya tunggal 5,0 Volt
6. Sensitivitas keluaran 66-185 mVolt / Ampere

7. Tegangan keluaran sebanding dengan arus bolak-balik (AC) atau searah (DC)
8. Akurasi sudah diatur oleh pabrik
9. Tegangan *offset* yang sangat stabil
10. Histeresis magnetik hampir mendekati 0 (nol)

Contoh berdasarkan Gambar 2.9, *Integrated Circuit* (IC) yang digunakan adalah versi 20 Ampere, artinya IC ini dapat dialiri arus dari (-20) Ampere sampai 20 Ampere dengan sensitivitas 100mVolt/Ampere.



Gambar 2.9 Kurva linieritas tegangan keluaran terhadap arus terukur pada sensor arus ACS712[7]



Gambar 2.10 Sensor arus ACS712

2.10 Relay

Relay adalah suatu peranti yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan sejumlah kontaktor yang tersusun atau sebuah saklar elektronik yang dapat dikendalikan dari rangkaian

elektronik lain dengan memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber energi. Kontaktor akan tertutup (konduksi) atau terbuka (tidak konduksi) karena efek induksi magnet yang dihasilkan kumparan (induktor) ketika dialiri arus listrik. Relay modul 4-kanal merupakan salah satu piranti saklar elektronis yang digunakan untuk keperluan pensaklaran, dan dapat dikendalikan melalui mikrokontroler. Modul relay ini juga sudah dilengkapi dengan *optocoupler* untuk menghindari arus balik dari piranti yang dikendalikan ke mikrokontroler. Modul relay ini memiliki spesifikasi, yaitu:

1. Tegangan relay = 5 Volt
2. Arus maksimal = 10 Ampere
3. Tegangan maksimal = $125 V_{AC} / 28 V_{DC}$



Gambar 2.13 Relay modul 4-kanal



BAB III

PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost terdiri dari beberapa bagian. Bagian-bagian tersebut diantaranya yaitu perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak dan gabungan dari kedua perangkat tersebut menjadi realisasi alat. Berikut ini merupakan penjelasan dari masing-masing bagian.

3.1 Diagram Blok Sistem

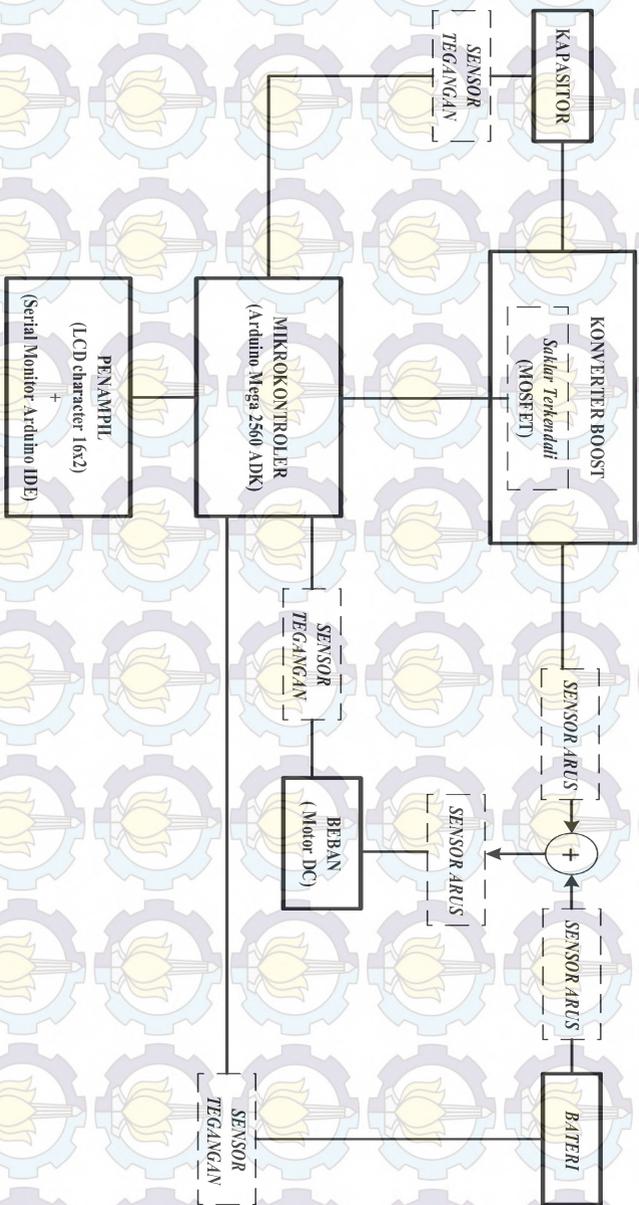
Diagram blok secara keseluruhan dari perancangan sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost ditunjukkan pada Gambar 3.1.

3.2 Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras yang akan dilakukan pada sistem kopling kapasitor dan baterai yaitu perancangan rangkaian konverter boost, penguat *push-pull* dan sensor tegangan.

3.2.1 Konverter Boost

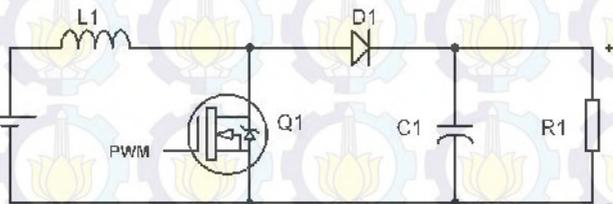
Dalam perancangan perangkat keras, untuk tahap awal yaitu melakukan perancangan rangkaian konverter DC-DC topologi boost. Komponen yang menyusun rangkaian tersebut adalah induktor (L), dioda (D), dan kapasitor filter (C). Komponen tersebut disusun seperti Gambar 3.3, sehingga dengan menggunakan tegangan masukan DC yang lebih kecil dapat menghasilkan tegangan keluaran DC yang lebih besar. Gambar 3.2 menunjukkan alat yang dibuat guna melakukan pengujian terhadap sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan DC-DC konverter. Parameter-parameter yang diinginkan terlebih dahulu ditentukan sebelum mendesain sebuah konverter boost. Dengan menentukan parameter yang akan dibuat, maka komponen penyusun yang akan digunakan akan dapat ditentukan melalui metode perhitungan. Parameter yang perlu ditentukan sebelum mendesain sebuah konverter boost antara lain, yaitu tegangan DC masukan (V_i) yang akan digunakan, tegangan DC keluaran (V_o) yang diinginkan, daya keluaran (P_o) yang diinginkan, frekuensi pensaklaran (f_{sw}), riak tegangan filter kapasitor (ΔV_c) dan riak arus induktor (ΔI_L).



Gambar 3.1 Diagram blok sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost



Gambar 3.2 Susunan sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost



Gambar 3.3 Skema rangkaian konverter boost

Parameter yang digunakan dalam mendesain konverter boost pada tugas akhir ini ditunjukkan pada Tabel 3.1. Perhitungan untuk nilai komponen-komponen yang akan digunakan berdasarkan parameter yang telah ditentukan, yaitu:

Tabel 3.1. Parameter desain konverter boost

No.	Nama Parameter	Nilai
1	Tegangan DC masukan (V_i)	12 Volt
2	Tegangan DC keluaran (V_o)	24 Volt
3	Daya keluaran (P_o)	48 Watt
4	Frekuensi pensaklaran (f_{SW})	4 kHz
5	Riak tegangan filter kapasitor (ΔV_c)	1%
6	Riak arus induktor (Δi_L)	10%

1. Nilai *duty cycle*

Besar nilai *duty cycle* yang akan digunakan dihitung melalui persamaan (2.18), yaitu:

$$\begin{aligned}\frac{V_o}{V_i} &= \frac{1}{1-D} \\ \frac{24}{12} &= \frac{1}{1-D} \\ 24(1-D) &= 12 \\ 24 - 24D &= 12 \\ D &= \frac{12}{24} \\ D &= 0,5\end{aligned}$$

2. Nilai induktor

Besar nilai komponen induktor konverter boost yang akan digunakan dihitung melalui persamaan (2.27), yaitu:

$$L = \frac{V_i D}{\Delta i_L f_{sw}}$$

Digunakan asumsi $\Delta i_L = 10\%$, maka nilai Δi_L dapat diperoleh menggunakan persamaan:

(asumsi komponen bekerja dengan ideal, sehingga daya masukan sama dengan daya keluaran ($P_i = P_o$));

$$\begin{aligned}i_{AVG} &= \frac{P_o}{V_i} = \frac{48}{12} = 4 \text{ Ampere} \\ \Delta i_L &= 20\% \times i_{AVG} = 20\% \times 4 = 0,8 A_{pp}\end{aligned}$$

Nilai induktor yang akan digunakan sebagai komponen penyusun konverter boost, yaitu:

$$L = \frac{12 \times 0,5}{0,8 \times 4 \cdot 10^3} = \frac{6}{3200} = 1,875 \text{mF} \approx 2 \text{mF}$$

Oleh karena sistem yang digunakan adalah *Continuous Conduction Mode* (CCM), maka syarat yang harus dipenuhi yaitu $L_{CCM} > L$.

3. Nilai kapasitor

Besar nilai komponen kapasitor yang akan digunakan dihitung melalui persamaan (2.36), yaitu:

$$C = \frac{V_O D}{R \Delta V_C f_{SW}}$$

Digunakan asumsi $\Delta V_C = 1\%$, maka nilai ΔV_C dapat diperoleh menggunakan persamaan:

$$\Delta V_C = 1\% \times V_O = 1\% \times 24 = 0,24 A_{PP}$$

Besar nilai resistansi (R) dapat diperoleh menggunakan persamaan:

$$R = \frac{V_o^2}{P_o} = \frac{24^2}{48} = 12 \text{ Ohm}$$

Nilai kapasitor filter (C) yang akan digunakan sebagai komponen penyusun konverter boost, yaitu:

$$C = \frac{V_O D}{R \Delta V_C f_{SW}}$$

$$C = \frac{24 \times 0,5}{12 \times 0,24 \times 4.10^3} = \frac{12}{11520} = 1041,67 \mu F$$

Nilai kapasitor filter (C) konverter boost berdasarkan hasil perhitungan adalah sebesar 1041,67 μF . Nilai kapasitor filter tersebut merupakan nilai minimal yang perlu digunakan, maka kapasitor filter (C) yang digunakan pada rangkaian konverter boost yang akan dibuat lebih besar daripada nilai tersebut (d disesuaikan dengan komponen yang dikomersialkan).

Berdasarkan nilai komponen hasil perhitungan yang digunakan untuk mendesain konverter boost, maka dilakukan pemilihan komponen yang sesuai dan tersedia secara komersial. Perbandingan nilai komponen hasil perhitungan dan komponen yang digunakan pada rangkaian dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Perbandingan nilai komponen hasil perhitungan dan realisasi

No.	Nama Parameter	Perhitungan	Realisasi
1	Induktor (L_{CCM})	2 mH	3 mH
2	Kapasitor (C)	1041,67 μ F	4700 μ F / 50V
3	Resistansi (R)	12 Ohm	
	2 lampu pijar @21W/24V		13,71 Ohm
5	Frekuensi pensaklaran	3,9216 kHz	3846,15 Hz

3.2.2 Penguat *Push-Pull*

Untuk menguatkan sinyal dari mikrokontroler guna mengendalikan komponen pensaklaran (MOSFET) dari konverter boost, maka digunakan sebuah rangkaian *push-pull* berupa rangkaian penguat kelas B. Pada penggunaan penguat kelas B, rangkaian perlu dimodifikasi untuk menghilangkan efek distorsi silang (*cross-over*) yang muncul.

3.2.2.1 Penguat Kelas B

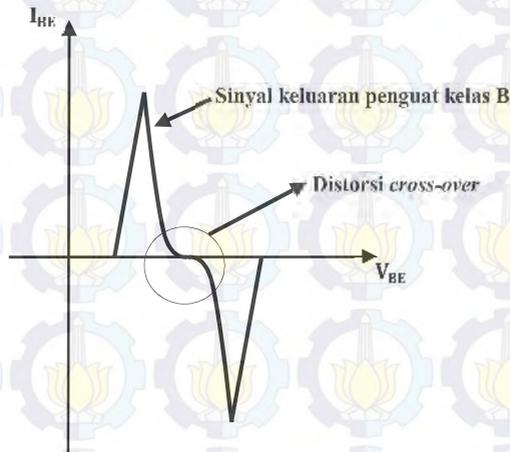
Penguat Kelas B adalah penguat yang memiliki titik operasi pada ujung kurva karakteristik (titik *cut-off*). Apabila sinyal masukan merupakan gelombang sinus, maka penguatan yang terjadi hanya berlangsung selama setengah siklus. Transistor bekerja hanya dalam daerah aktif selama setengah periode, pada setengah periode lain transistor tidak konduksi (*cut-off*). Alasan tersebut membuat penguat kelas B selalu dibuat dengan 2 buah transistor Q1 (NPN) dan Q2 (PNP) yang bekerja secara bergantian (*push-pull*). Keuntungan dari penguat kelas B adalah kehilangan daya transistor dapat diminimalisir, daya beban dan efisiensi penguatan yang lebih besar. Efisiensi daya penguat kelas B tergolong tinggi karena mendekati 80%, sehingga daya yang hilang menjadi panas relatif kecil[9].

3.2.2.2 Distorsi *Cross-over* Pada Penguat

Transistor secara nyata memiliki ketidakidealan, yaitu ada

tegangan bias pada dioda *basis-emitor* transistor (tegangan jepit V_{BE}). Transistor akan tetap tidak konduksi bila sinyal masukan belum mencapai 0,7 Volt (untuk transistor berbahan silicon) atau 0,3 Volt (untuk transistor berbahan germanium). Kondisi transisi transistor NPN dan PNP menjadi aktif pada penguat kelas B menyebabkan distorsi *cross-over*. Gambar 3.4 menunjukkan bentuk sinyal keluaran yang mengalami distorsi.

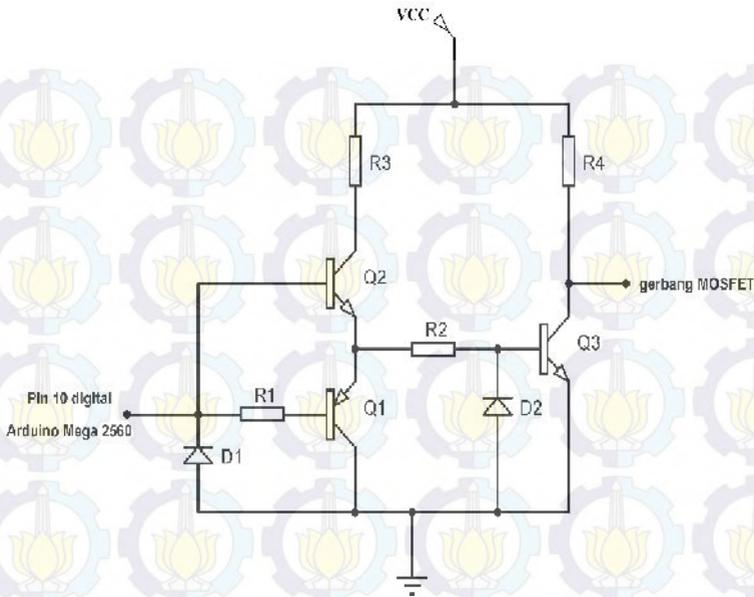
Distorsi *cross-over* dapat dihilangkan dengan cara memberi tegangan bias *basis-emitor* pada kedua transistor penguat tersebut, yaitu dipasang secara paralel dengan dioda yang berbahan sama dengan transistor (berbahan silicon atau germanium), sehingga kedua transistor tidak mengambil sebagian signal masukan (digunakan sebagai V_{BE}) yang mengakibatkan cacat silang. Gambar 3.5 menunjukkan rangkaian *push-pull* yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 3.4 Bentuk sinyal keluaran penguat kelas B dengan distorsi *cross-over*

3.2.3 Rangkaian Sensor Tegangan

Pada perancangan rangkaian sensor tegangan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode pembagi tegangan atau *voltage divider* yang kemudian hasil keluaran dari pembagi tegangan akan dimasukkan ke mikrokontroler.



Gambar 3.5 Rangkaian *push-pull* yang digunakan pada penelitian

3.2.3.1 Rangkaian Pembagi Tegangan

Secara sederhana, sebuah pembagi tegangan menggunakan dua buah resistor secara seri untuk membagi tegangan masukan. Tegangan keluaran yang diinginkan berdasarkan nilai resistansi yang digunakan, pada Gambar 3.6 menunjukkan rangkaian pembagi tegangan. Persamaan pembagi tegangan sesuai yang ditunjukkan oleh Gambar 3.6 adalah:

$$V_O = V_i \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (3.3)$$

Dengan menggunakan dasar pembagi tegangan, rangkaian sensor tegangan dirancang dan digunakan untuk mendeteksi tegangan DC keluaran dari rangkaian konverter boost. Karena tegangan keluaran yang timbul mempunyai nilai sebesar ± 24 Volt, maka dirancang sensor tegangan yang mampu mendeteksi tegangan hingga 60 Volt. Dengan menggunakan dasar persamaan (3.3), nilai resistor yang digunakan adalah $R_1 = 110 \text{ k}\Omega$ dan $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$.

$$\begin{aligned}
 V_0 &= V_i \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\
 5 &= 60 \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\
 \frac{5}{60} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\
 \frac{10 \cdot 10^3}{110 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2}
 \end{aligned}$$

Nilai tegangan sebesar 5 (lima) Volt merupakan tegangan kerja dari mikrokontroler, dengan tegangan keluaran (V_0) pembagi tegangan tersebut mewakili rancangan pembacaan sensor sebesar 60 Volt.



Gambar 3.6 Rangkaian pembagi tegangan

3.2.4 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 digunakan sebagai kontrol dari sistem yang dibuat. Tabel 3.3 menunjukkan penggunaan pin I/O pada Arduino Mega 2560 yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3.3. Penggunaan pin arduino mega 2560

Nomor Pin	<i>Mapped Pin Name</i>	Keterangan
10	VCC	+5 Volt
11	GND	GND
97	Analog pin 0	ACS712
96	Analog pin 1	
95	Analog pin 2	
94	Analog pin 3	<i>Voltage Divider</i>
85	Analog pin 12	
84	Analog pin 13	
83	Analog pin 14	
82	Analog pin 15	Keluaran PWM
23	Digital pin 10	
2	Digital pin 7	
3	Digital pin 8	
6	Digital pin 9	
7	Digital pin 11	
1	Digital pin 12	<i>Display LCD Character (16x2)</i>
5	Digital pin 13	
51	Digital pin 41	
41	Digital pin 43	
39	Digital pin 45	Relay
37	Digital pin 47	
35	Digital pin 49	Tombol

3.2.5 Kapasitor

Penelitian ini menggunakan 19 (sembilan belas) buah kapasitor dengan nilai 15000 μ Farad /16 Volt dihubungkan secara paralel. Nilai Kapasitor total yang digunakan yaitu sebesar 0,285 Farad / 16 Volt. Gambar 3.8 menunjukkan kapasitor yang digunakan pada penelitian untuk kopling kapasitor dan baterai.



Gambar 3.7 Kapasitor 0,285 Farad / 16 Volt

3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak pada penelitian ini adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram arduino mega 2560. Pada penelitian ini mikrokontroler berupa arduino mega 2560 memiliki peran sebagai piranti kendali dan pengendali pensaklaran untuk rangkaian konverter boost.

3.3.1 Perancangan Program Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 digunakan sebagai pengendali pensaklaran dari piranti pensaklaran yang digunakan (dalam hal ini piranti pensaklaran berupa MOSFET). Arduino akan melakukan kendali sinyal PWM (*duty cycle*) pada MOSFET berdasarkan kondisi yang ditentukan. Arduino Mega 2560 diprogram menggunakan perangkat lunak bawaan dari Arduino yaitu Arduino IDE versi 1.6.5. Pada Gambar 3.8 merupakan program Arduino Mega 2560 menggunakan Arduino IDE.

```
Program_TA_UphillRoad.ino | Arduino 1.6.5
File Edit Sketch Tools Help
Program_TA_UphillRoad.ino
//*****SET PWM FREQUENCY*****
// TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000001; // set timer 2 di
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000010; // set timer 2 divis
// TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000011; // set timer 2 c
// TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000100; // set timer 2 c
// TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000101; // set timer 2 c
// TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000110; // set timer 2 c
// TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000111; // set timer 2 c
}

void loop() {
  lcd.clear();

  int Vbattery = analogRead(A13);
  int Vbattery1 = map(Vbattery, 0, 1023, 0, 255);
  d5 = d4;
  d4 = d3;
  d3 = d2;
  d2 = d1;
}
```

Arduino Mega ADK on COM3

Gambar 3.8 Program menggunakan arduino mega 2560

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA HASIL

Pada bab ini dilakukan analisa yang bertujuan untuk mengetahui kualitas hasil pengujian dari sistem kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC. Rangkaian konverter DC-DC yang digunakan sebagai kopling adalah topologi boost.

4.1 Prosedur dan Proses Pengujian

Pada bagian ini berisikan mengenai alat ukur yang digunakan dalam pengujian, prosedur dalam pengukuran dan pengujian, serta proses dalam melakukan pengukuran dan pengujian.

4.1.1 Alat Ukur yang Digunakan

Pada proses pengujian digunakan beberapa alat ukur yaitu multimeter digital, osiloskop, sensor arus dan rangkaian pembagi tegangan. Alat ukur tersebut digunakan dalam proses uji kelayakan alat dan sistem yang telah dibuat.

1. Multimeter digital buatan Sanwa model CD800a, merupakan alat ukur multi fungsi. Alat ukur yang digunakan dalam proses uji coba adalah untuk pengukuran tegangan DC, resistansi, dan titik pengujian rangkaian.
2. Osiloskop Textronix TDS2012B, merupakan instrumen untuk melakukan pengukuran dengan data berupa grafik. Osiloskop ini digunakan untuk melakukan proses pengecekan frekuensi PWM yang digunakan.
3. Sensor arus ACS712, merupakan rangkaian sensor *efek-hall* yang linier, *low-offset* dan presisi. Sensor ini digunakan untuk pengukuran arus searah (DC) dari sistem yang telah dibuat, keluaran pembacaan arus dilihat melalui sebuah perangkat lunak (dapat melalui serial monitor pada aplikasi arduino IDE versi 1.6.5).
4. Rangkaian pembagi tegangan, merupakan rangkaian yang digunakan sebagai sensor tegangan pada penelitian ini. Nilai tegangan yang dihasilkan oleh rangkaian pembagi tegangan akan diakuisisi oleh mikrokontroler berdasarkan rancangan rangkaian guna memperoleh nilai tegangan terukur.

4.1.2 Prosedur Pengujian

Pengujian yang dilakukan meliputi beberapa bagian, yaitu pengujian rangkaian penguat *push-pull*, rangkaian konverter boost, sistem pengisian dan pelepasan muatan kapasitor, sistem kendali otomatis konverter boost, serta rangkaian kopling kapasitor dan baterai. Berikut merupakan penjelasan dari prosedur pengujian dari alat yang telah direalisasikan.

1. Pengujian rangkaian penguat *push-pull* bertujuan untuk mengetahui kesesuaian keluaran dari rangkaian yang digunakan untuk mengendalikan MOSFET.
2. Pengujian rangkaian konverter boost dengan sensor potensiometer bertujuan untuk mengetahui kesesuaian prinsip kerja dari rangkaian konverter boost berdasar nilai *duty cycle* yang diberikan.
3. Pengujian sistem pengisian dan pelepasan muatan kapasitor bertujuan untuk mengetahui kesesuaian sistem kontrol terhadap proses pengisian dan pelepasan muatan kapasitor.
4. Pengujian sistem kendali otomatis konverter boost dengan Arduino Mega 2560 bertujuan untuk mengetahui tegangan keluaran konverter boost mampu dipertahankan pada nilai tegangan yang ditentukan untuk sistem.
5. Pengujian rangkaian kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter boost bertujuan untuk mengetahui kesesuaian sistem yang akan telah direalisasikan.

4.1.3 Proses Pengujian

Proses pengujian yang dilakukan, yaitu:

1. Pengujian rangkaian penguat *push-pull*.
2. Pengujian sistem pengisian dan pelepasan muatan kapasitor.
3. Pengujian rangkaian konverter boost dengan sensor potensiometer.
4. Pengujian sistem kendali otomatis konverter boost dengan Arduino Mega 2560.
5. Pengujian rangkaian kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter boost.

4.2 Hasil Pengujian

Setelah melakukan prosedur dan proses pengujian maka diperoleh hasil pengujian berupa data sebagai berikut:

4.2.1 Pengujian Rangkaian Penguat *Push-Pull*

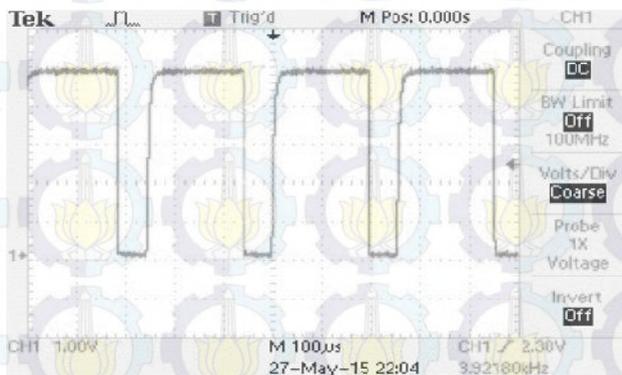
Berikut merupakan hasil pengukuran keluaran rangkaian penguat *push-pull* dengan menggunakan alat ukur berupa osiloskop TDS2012B. Tabel 4.1 menunjukkan hasil perbandingan frekuensi PWM yang ada pada program dengan hasil pengujian pada osiloskop. Hasil pengujian *duty cycle* berdasarkan program yang digunakan dan gelombang keluaran hasil pengujian ditunjukkan oleh Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil pengujian frekuensi PWM

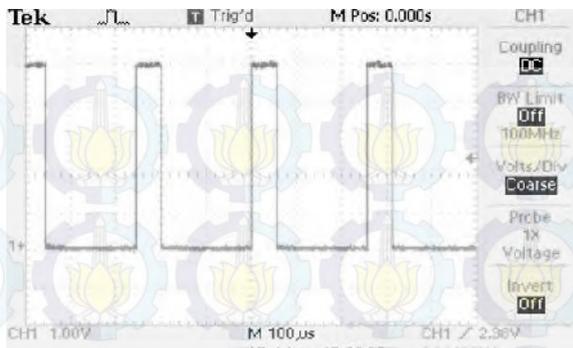
Variabel	Program	Osiloskop
Frekuensi PWM	3,9216 kHz	3,92171kHz

Tabel 4.2 Hasil pengujian *duty cycle*

Variabel	Program	Keluaran <i>Push-Pull</i>
<i>Duty cycle</i>	21,6%	78.4%
	68.63%	31.37%



Gambar 4.1 Bentuk gelombang keluaran pada penguat *push-pull*



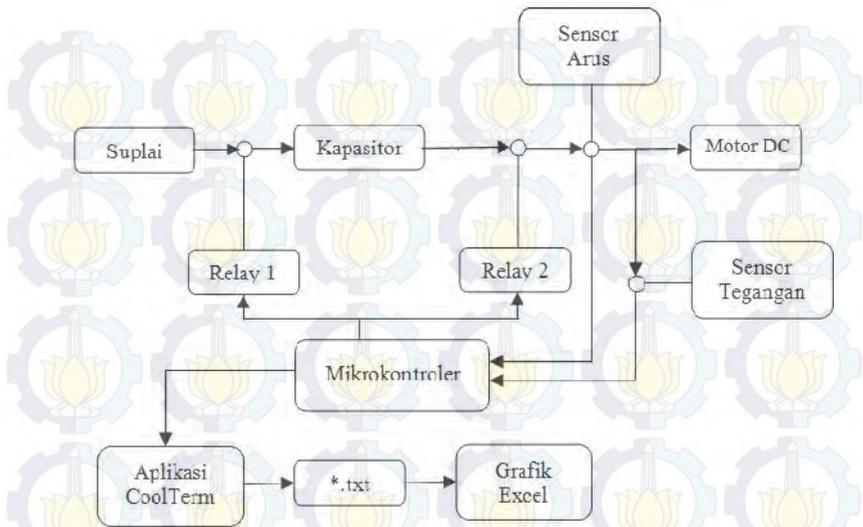
Gambar 4.2 Bentuk gelombang keluaran pada PWM pin 10 arduino

4.2.2 Pengujian Sistem Pengisian dan Pelepasan Muatan Kapasitor

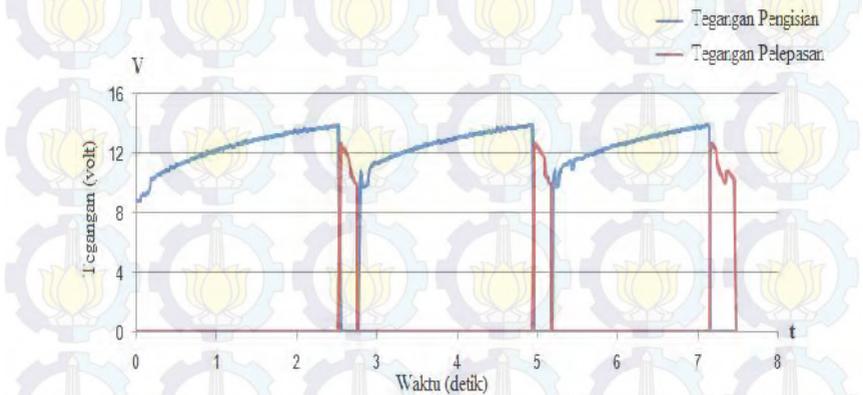
Pada pengujian sistem Pengisian dan pelepasan muatan digunakan 2 (dua) buah relay yang bekerja secara komplementer. Relay tersebut digunakan sebagai saklar untuk memisahkan antara suplai yang digunakan untuk pengisian kapasitor dan Pelepasan kapasitor melalui rangkaian konverter boost. Kendali penyalan relay tersebut dilakukan oleh Arduino Mega 2560. Gambar 4.8 menunjukkan diagram blok proses pengujian sistem pengisian dan pelepasan muatan kapasitor. Aplikasi CoolTerm digunakan sebagai akuisisi data dari mikrokontroler. Data pengujian yang diperoleh dari aplikasi CoolTerm dapat disajikan dalam bentuk *.txt, kemudian data pengujian dalam bentuk *.txt disajikan dalam grafik Ms. Excel.



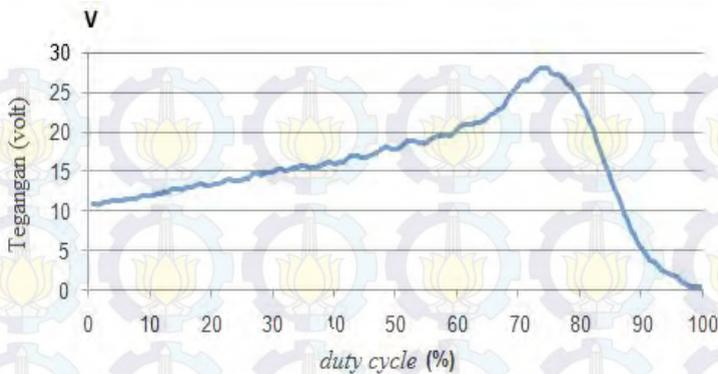
Gambar 4.3 Aplikasi CoolTerm versi 1.4.5



Gambar 4.4 Blok diagram pengujian sistem pengisian dan pelepasan muatan kapasitor



Gambar 4.5 Kurva pengisian dan pelepasan muatan muatan pada kapasitor



Gambar 4.6 Kurva karakteristik nilai *duty cycle* terhadap tegangan keluaran konverter boost menggunakan sensor potensiometer

4.2.3 Pengujian Rangkaian Konverter boost Dengan Sensor Potensiometer

Pengujian dilakukan dengan mengatur nilai *duty cycle* yang keluar dari pin 10 Arduino menggunakan sensor potensiometer. Pengujian konverter boost dilakukan dengan memberi suplai sebuah baterai 12 Volt / 7,0 Ah dan beban lampu pijar sebesar 42 Watt/24 Volt.

4.2.4 Pengujian Sistem Kendali Otomatis Konverter boost Dengan Arduino Mega 2560

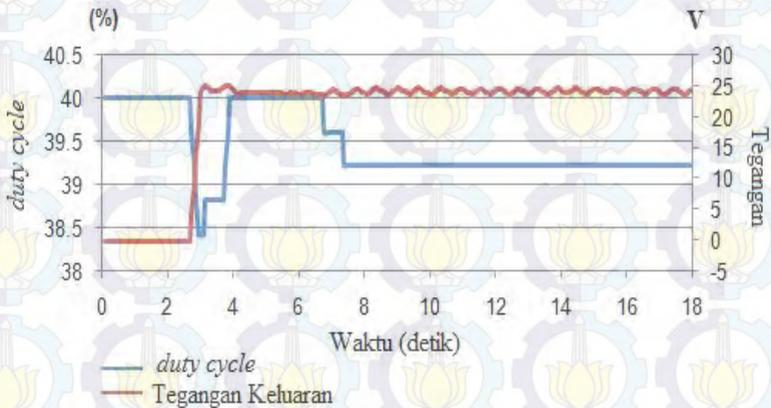
Pada pengujian sistem kendali otomatis konverter boost dilakukan 2 (dua) macam pengujian. Pengujian pertama, yaitu pengujian rangkaian konverter boost menggunakan suplai berupa baterai. Pengujian kedua yaitu, pengujian konverter boost menggunakan suplai berupa kapasitor.

4.2.4.1 Konverter Boost Menggunakan Suplai Bateri

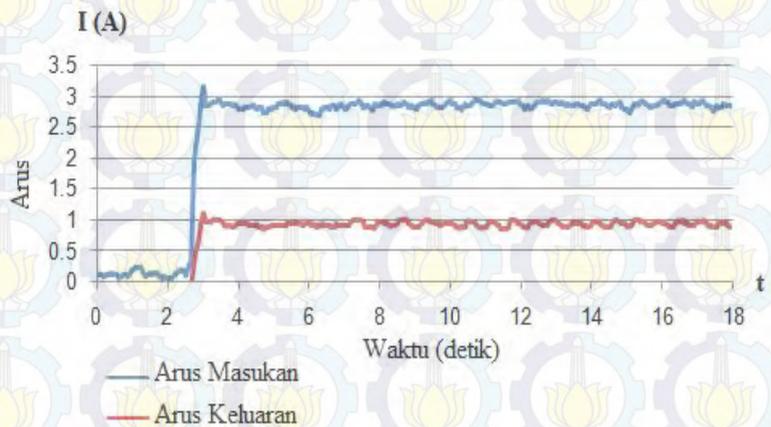
Pada pengujian konverter boost menggunakan baterai, digunakan baterai *lead acid* dengan spesifikasi 12 Volt / 7,0 Ah sebagai suplai. Kemudian dilakukan variasi beban guna melihat karakteristik efisiensi yang dihasilkan. Pembebanan pertama digunakan beban lampu pijar dengan spesifikasi beban sebesar 21 Watt/24 Volt, dan pembebanan kedua dengan spesifikasi beban sebesar 42 Watt/24 Volt.

1. Pengujian konverter boost menggunakan suplai baterai dengan beban 21 Watt/24 Volt

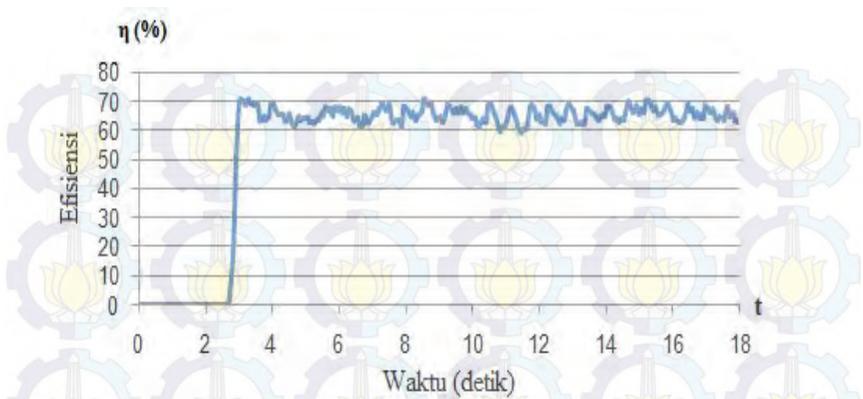
Pada pengujian ini konverter boost dibebani dengan beban sebuah lampu pijar 21 Watt/24 Volt dan diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 4.7 Kurva karakteristik nilai *duty cycle* terhadap tegangan keluaran konverter boost dengan suplai baterai



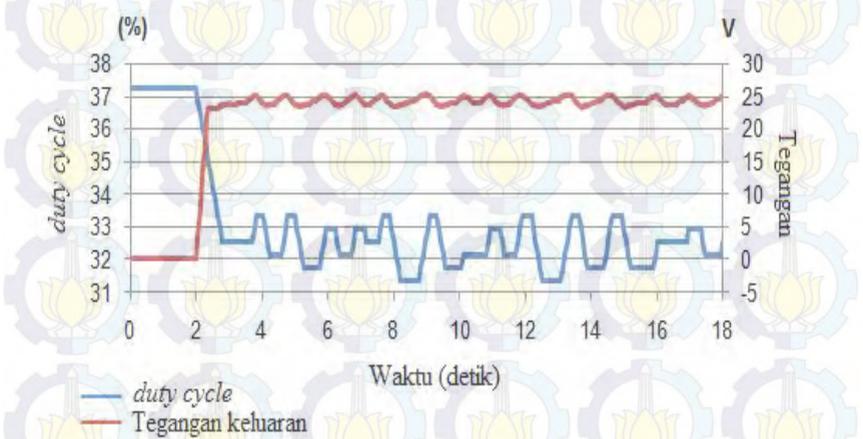
Gambar 4.8 Kurva nilai arus masukan dan keluaran konverter boost dengan suplai baterai



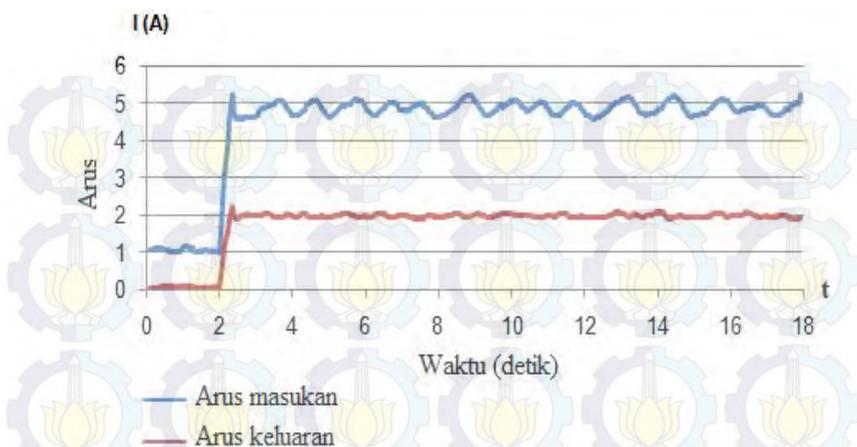
Gambar 4.9 Kurva karakteristik nilai efisiensi dari pembebanan konverter boost dengan suplai baterai pada pembebanan 21 Watt/24 Volt

2. Pengujian konverter boost menggunakan suplai baterai dengan beban 42 Watt/24 Volt

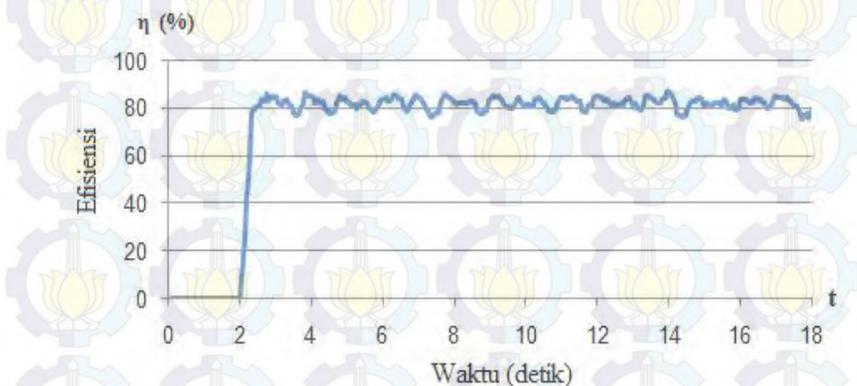
Pada pengujian ini konverter boost dibebani dengan beban sebuah lampu pijar 42 Watt/24 Volt dan diperoleh hasil sebagai berikut.



Gambar 4.10 Kurva karakteristik nilai *duty cycle* terhadap tegangan keluaran konverter boost dengan suplai baterai



Gambar 4.11 Kurva nilai arus masukan dan keluaran konverter boost dengan suplai baterai



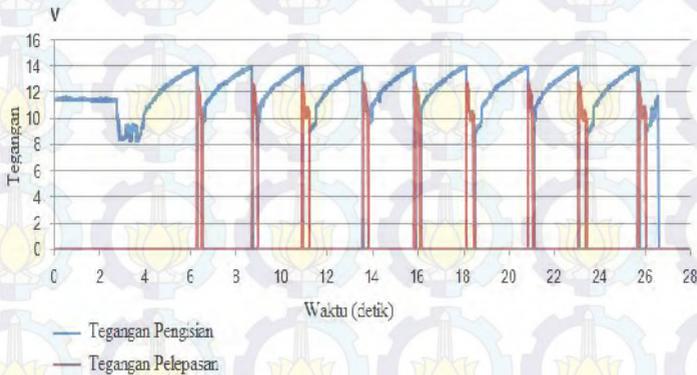
Gambar 4.12 Kurva karakteristik nilai efisiensi dari pembebanan konverter boost dengan suplai baterai pada pembebanan 42 Watt/24 Volt

4.2.4.2 Konverter Boost Menggunakan Suplai Kapasitor

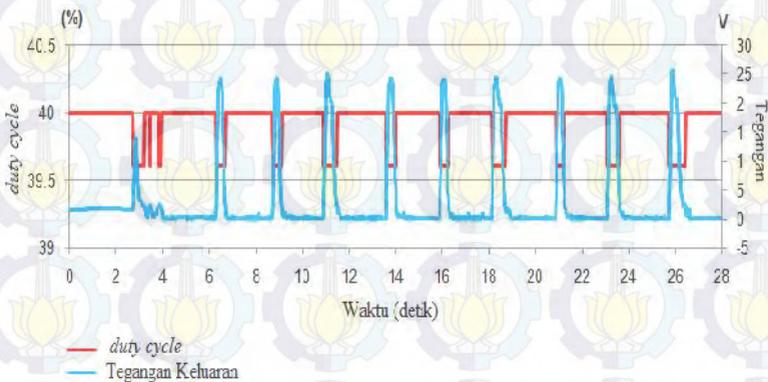
Pada pengujian ini, suplai konverter boost diubah dari baterai menjadi kapasitor dengan pembebanan yang sama. Kapasitor yang digunakan bernilai 0,285 Farad / 16 Volt. Trafo *center tap* (CT) 2 Ampere

digunakan sebagai suplai kapasitor saat kondisi pengisian muatan untuk mengatasi keterbatasan energi dari kapasitor dalam menyuplai beban.

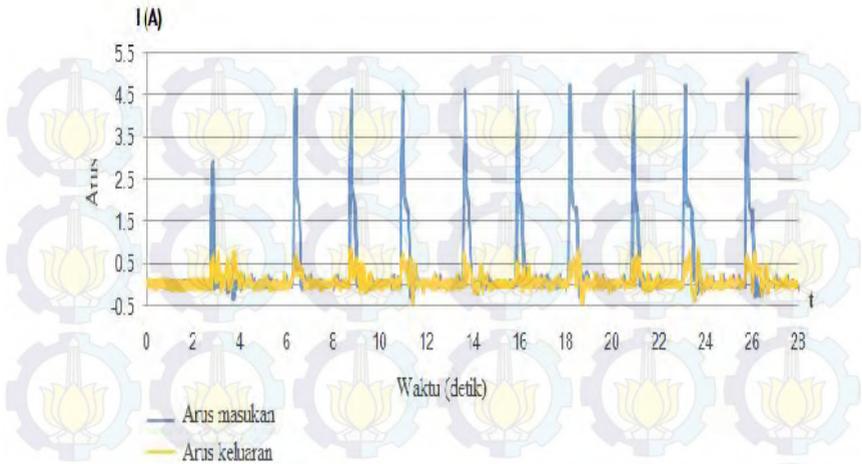
1. Pengujian konverter boost menggunakan suplai kapasitor dengan beban 21 Watt/24 Volt



Gambar 4.13 Kurva karakteristik tegangan pengisian dan pelepasan muatan kapasitor



Gambar 4.14 Kurva karakteristik nilai *duty cycle* terhadap tegangan keluaran konverter boost dengan suplai kapasitor dan pada pembebanan 21 Watt/24 Volt

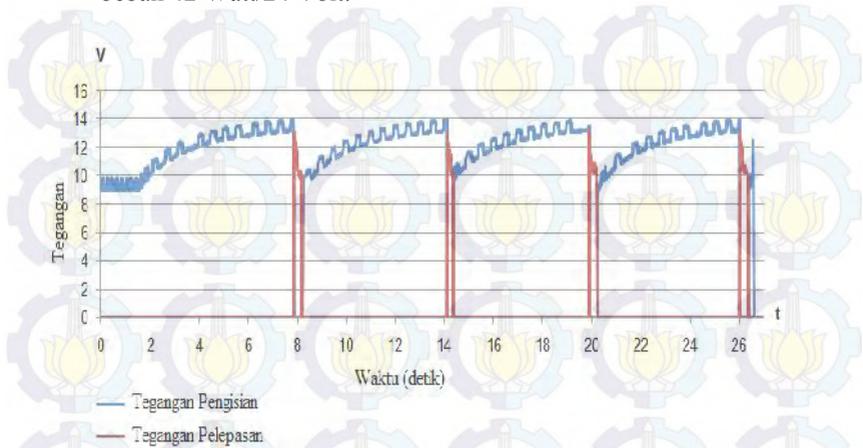


Gambar 4.15 Kurva nilai arus masukan dan keluaran konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 21 Watt/24 Volt

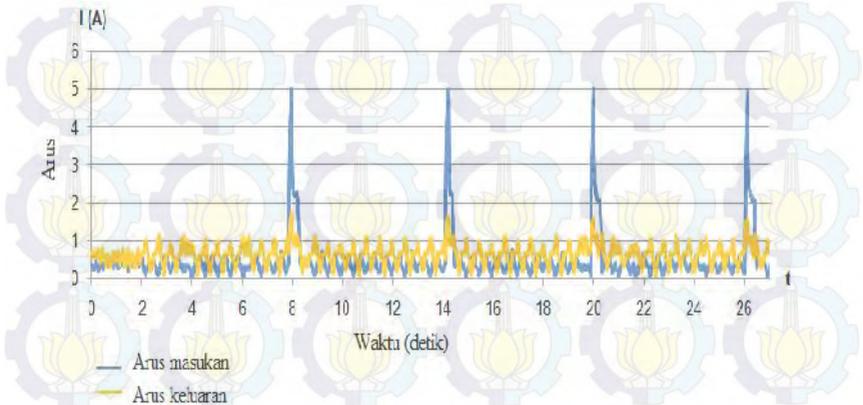


Gambar 4.16 Kurva karakteristik nilai efisiensi konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 21 Watt/24 Volt

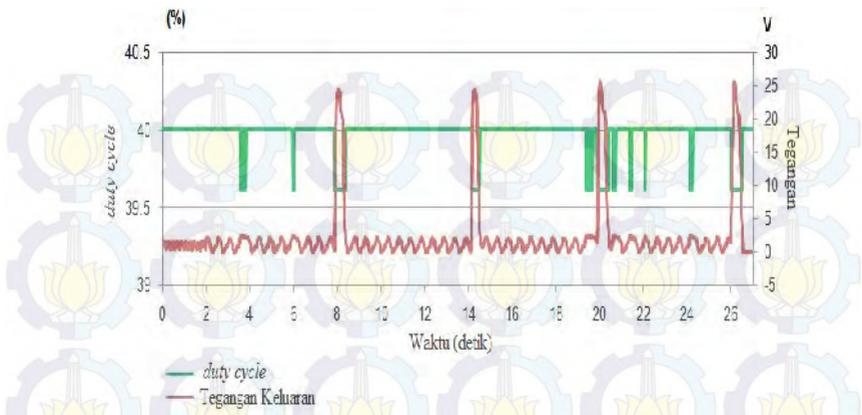
2. Pengujian konverter boost menggunakan suplai kapasitor dengan beban 42 Watt/24 Volt.



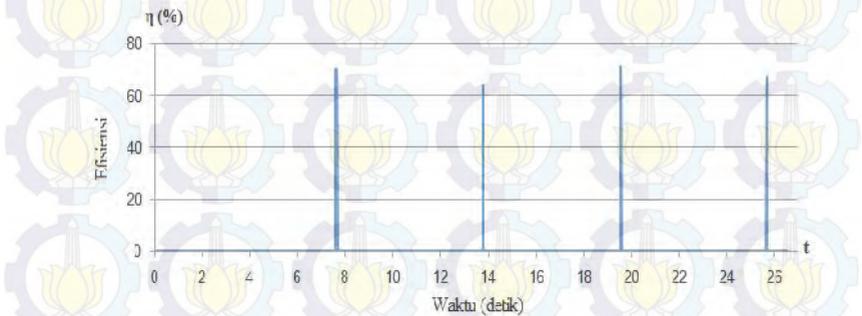
Gambar 4.17 Kurva karakteristik tegangan pengisian dan pelepasan muatan kapasitor



Gambar 4.18 Kurva nilai arus masukan dan keluaran konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 42 Watt/24 Volt



Gambar 4.19 Kurva karakteristik nilai *duty cycle* terhadap tegangan keluaran konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 42 Watt/24 Volt

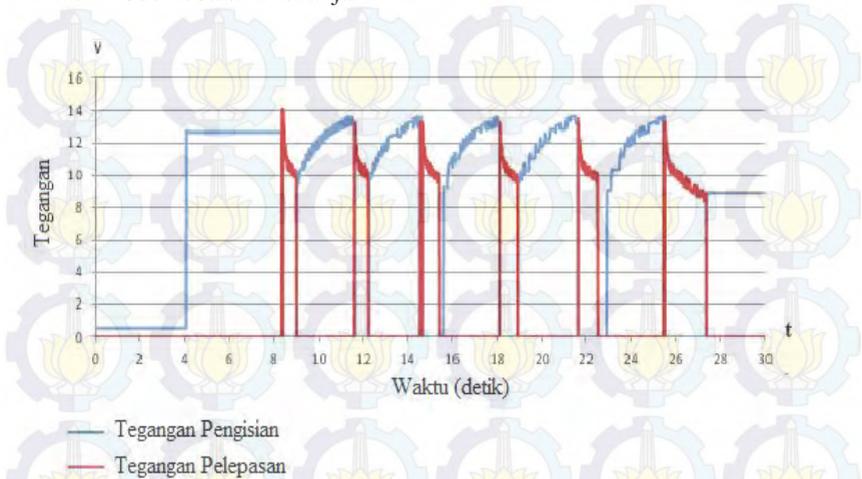


Gambar 4.20 Kurva karakteristik nilai efisiensi konverter boost dengan suplai kapasitor pada pembebanan 42 Watt/24 Volt

4.2.5 Pengujian Rangkaian Kopling Kapasitor dan Bateri Menggunakan Konverter DC-DC Topologi Boost

Pada pengujian rangkaian kopling kapasitor dan bateri menggunakan konverter DC-DC topologi boost ini terdapat 3 (tiga) macam pengujian, yaitu mode-1 untuk pengujian pada jalan menanjak, mode-2 untuk pengujian jalan menurun, dan mode-3 untuk pengujian jalan dengan kondisi macet.

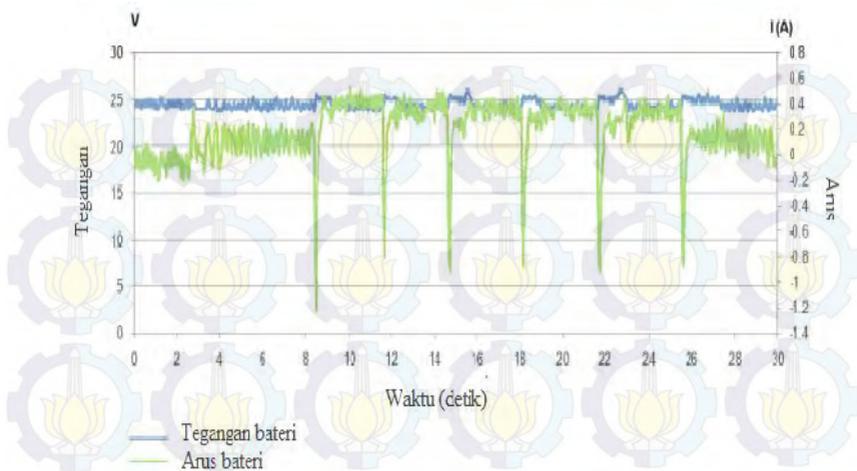
1. Mode-1: Jalan Menanjak



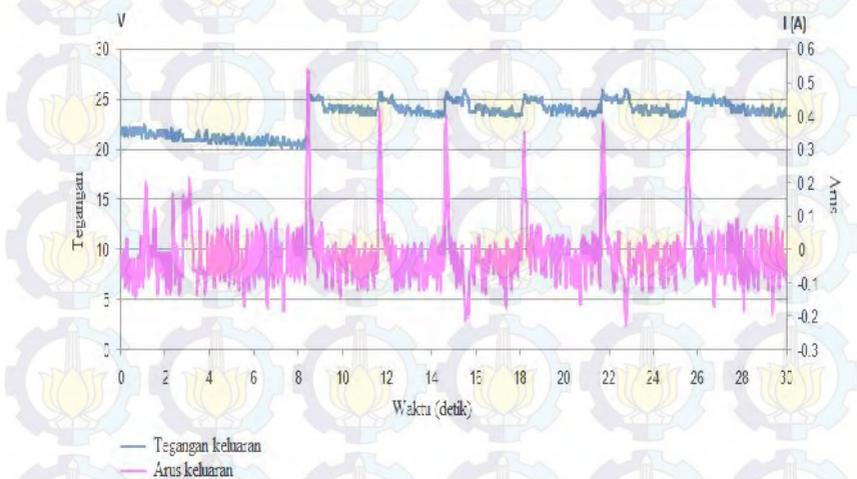
Gambar 4.21 Kurva karakteristik tegangan pengisian dan pelepasan muatan kapasitor pada mode jalan menanjak



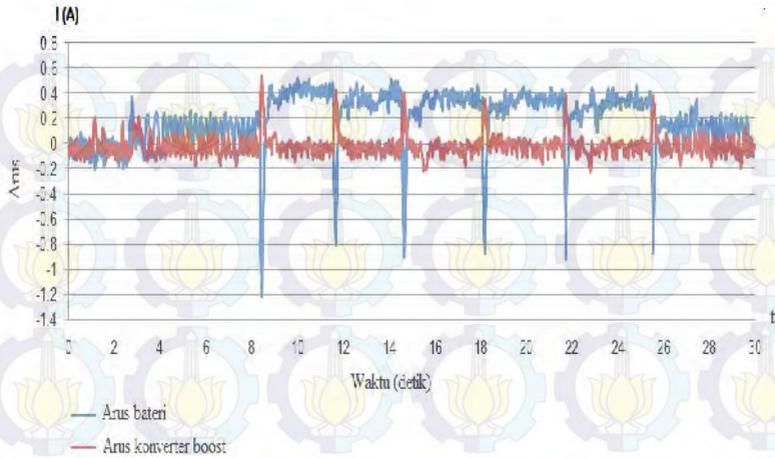
Gambar 4.22 Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus motor pada mode jalan menanjak



Gambar 4.23 Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus baterai pada mode jalan menanjak

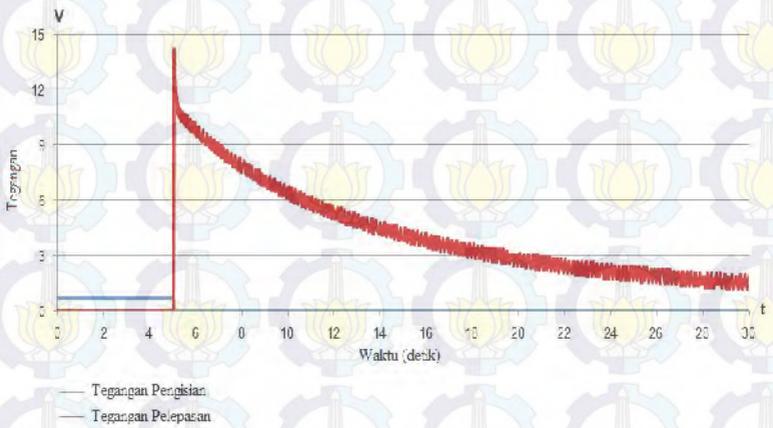


Gambar 4.24 Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus konverter boost pada mode jalan menanjak

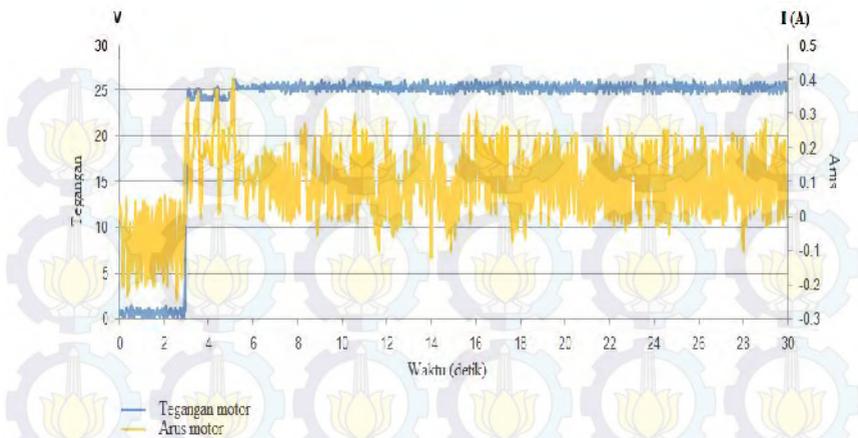


Gambar 4.25 Kurva perbandingan nilai arus baterai dan konverter boost pada mode jalan menanjak

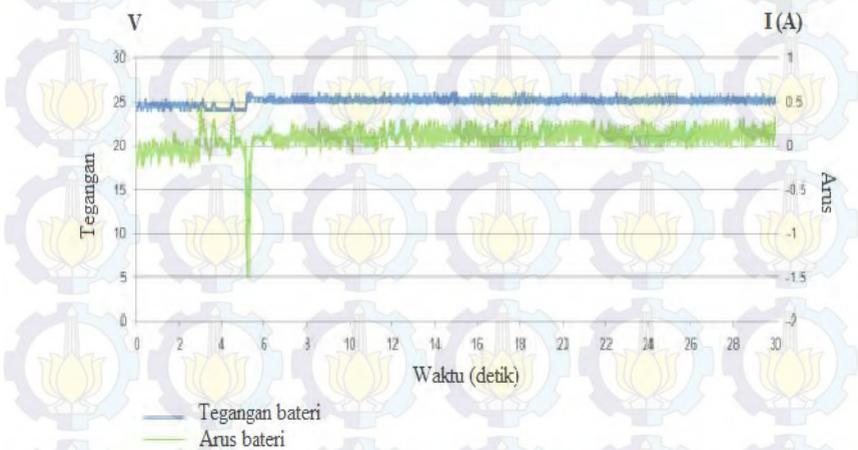
2. Mode-2: Jalan Menurun



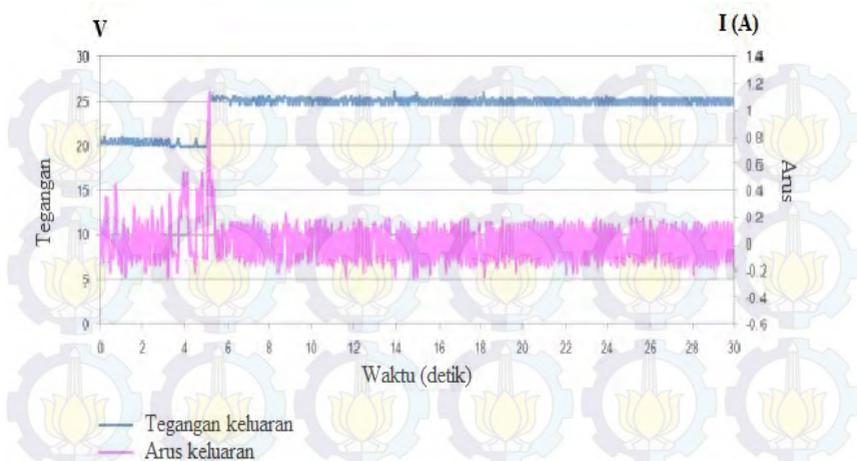
Gambar 4.26 Kurva karakteristik nilai tegangan kapasitor pada mode jalan menurun



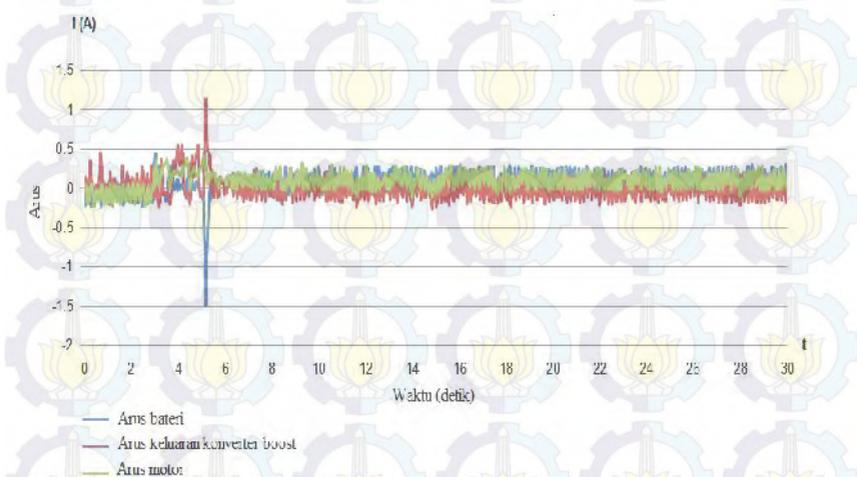
Gambar 4.27 Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus motor pada mode jalan menurun



Gambar 4.28 Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus baterai pada mode jalan menurun

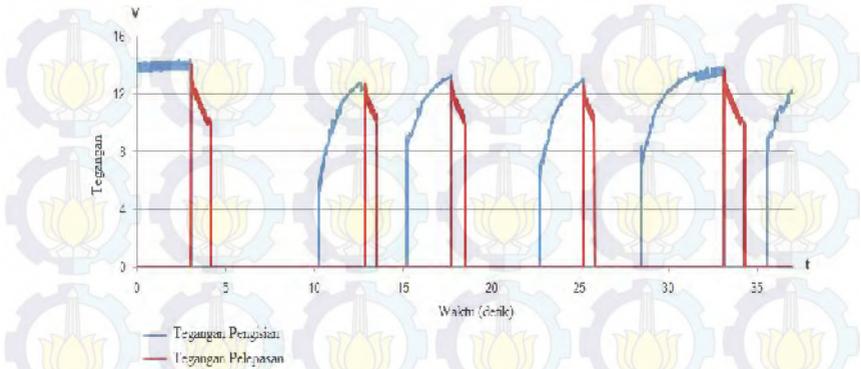


Gambar 4.29 Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus konverter boost pada mode jalan menurun

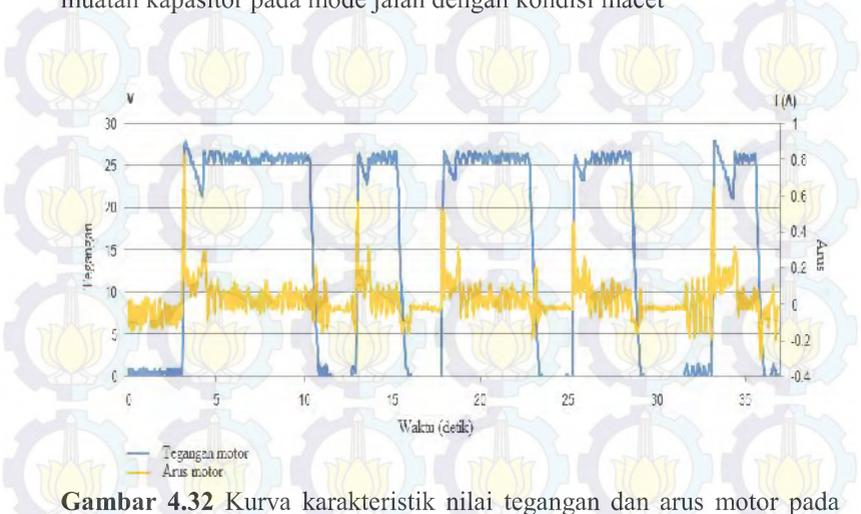


Gambar 4.30 Kurva perbandingan nilai arus baterai, arus motor dan konverter boost pada mode jalan menurun

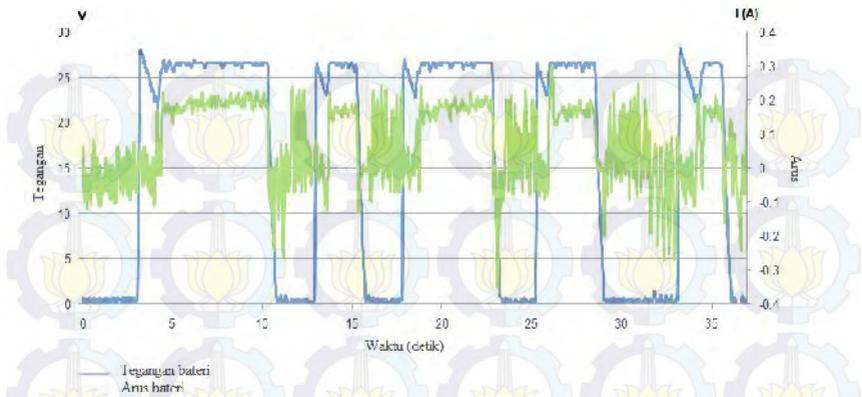
3. Mode-3: Jalan Dengan Kondisi Macet



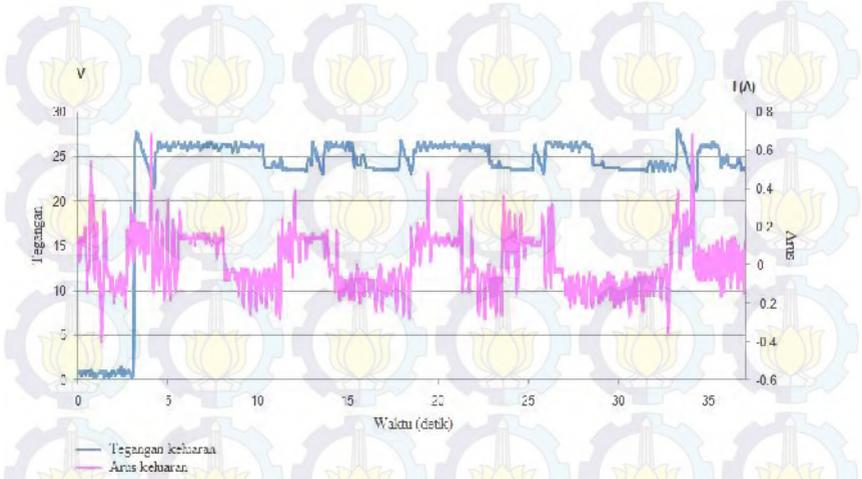
Gambar 4.31 Kurva karakteristik tegangan pengisian dan pelepasan muatan kapasitor pada mode jalan dengan kondisi macet



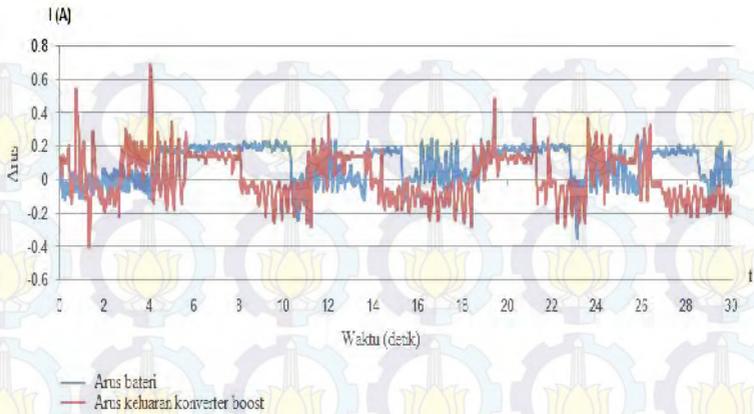
Gambar 4.32 Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus motor pada mode jalan dengan kondisi macet



Gambar 4.33 Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus baterai pada mode jalan dengan kondisi macet



Gambar 4.34 Kurva karakteristik nilai tegangan dan arus konverter boost pada mode jalan dengan kondisi macet



Gambar 4.35 Kurva perbandingan nilai arus baterai dan konverter boost pada mode jalan dengan kondisi macet

4.3 Analisa Hasil

4.3.1 Pengujian Rangkaian Penguat *Push-Pull*

Berdasarkan hasil pengujian rangkaian penguat *push-pull* yang ditunjukkan oleh Tabel 4.1, maka dapat disimpulkan bahwa nilai frekuensi PWM yang terukur pada alat ukur berupa osiloskop sesuai dengan nilai frekuensi PWM yang diberikan dalam program Arduino. Pada sistem digunakan pin 10 pada Arduino Mega 2560 sebagai keluaran frekuensi PWM, maka frekuensi dapat ditentukan berdasar Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perhitungan frekuensi pada *Timer 2* (Pin 9, 10)

Nilai	Pembagi	Frekuensi
0×01	1	31.374 KHz
0×02	8	3.921 KHz
0×03	32	980.3 Hz
0×04	64	490.1 Hz // standar
0×05	128	245 hz
0×06	256	122,5 hz
0×07	1024	30.63 hz

Kode: $TCCR2B = (TCCR2B \& 0xF8) | \text{Nilai};$

Ditentukan frekuensi yang akan digunakan adalah 3.921kHz maka kode yang ditulis pada program adalah:

Nilai = 0x02;

TCCR2B = (TCCR2B & 0xF8) | 0x02,

atau ditulis dalam biner menjadi TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000010.

Berdasarkan data Tabel 4.2 dapat terlihat bahwa rangkaian penguat *push-pull* memberikan nilai keluaran *duty cycle* yang berkebalikan (berbeda 180 derajat) dengan nilai keluaran *duty cycle* dari pin digital 10 Arduino. Untuk memperoleh *duty cycle* yang diinginkan, nilai yang ditentukan pada program adalah nilai sebaliknya dari nilai yang diinginkan. Misalkan untuk memperoleh nilai *duty cycle* sebesar 30% pada keluaran rangkaian penguat *push pull*, maka pada program arduino (keluaran pin 10 Arduino Mega 2560) ditentukan, $100\% - 30\% = 70\%$; atau dalam desimal sebesar, $70\% \times 255 = 178,5$ (8bit).

4.3.2 Pengujian Sistem Pengisian dan Pelepasan Muatan Kapasitor

Sistem pengisian dan pelepasan muatan muatan dari kapasitor memanfaatkan relay sebagai saklar untuk konduksi dan tidak konduksi. Relay dikendalikan melalui Arduino berdasarkan kondisi yang ditentukan pada program. Program untuk kondisi pengisian dan pelepasan muatan muatan pada kapasitor, yaitu:

```
/*******RELAY*****//  
/*******charging*****//  
if (state1 == 0) {  
  lcd.setCursor (13, 0);  
  lcd.print("ch");  
  lcd.setCursor (13, 1);  
  lcd.print(data1);  
  int cap_sensor1 = analogRead(A0);  
  int outcap_sensor1 = map(cap_sensor1, 0, 1023, 0, 255);  
  data1 = outcap_sensor1;  
  if (data1 <= 100) {  
    digitalWrite (RELAY1, LOW);  
    digitalWrite (RELAY2, HIGH);  
  }  
  else if (data1 >= 143) {
```


Berdasarkan data yang ditunjukkan oleh Tabel 4.4, diketahui bahwa ketidaksesuaian yang dimiliki antara hasil perhitungan dan akuisisi mikrokontroler adalah sebesar 0,713-1,02%.

4.3.3 Pengujian Rangkaian Konverter Boost Dengan Sensor Potensiometer

Berdasarkan data pengujian yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6, maka dapat diketahui bahwa nilai tegangan keluaran dari konverter boost berbanding lurus dengan besar nilai *duty cycle* yang diberikan. Nilai *duty cycle* akan menentukan periode T_{ON} (konduksi) dan T_{OFF} (tak konduksi) dari komponen pensaklaran. Semakin lama waktu konduksi yang diberikan maka semakin besar juga daya yang diberikan. Nilai tegangan keluaran naik secara linier terhadap kenaikan *duty cycle*. Nilai puncak tegangan keluaran ($V_{maksimal} = 28$ Volt) diperoleh pada *duty cycle* (D) = 74%, setelah itu nilai tegangan berangsur-angsur turun menuju nilai 0 (nol). Hal ini terjadi karena efek parasitik dari penggunaan komponen penyusun yang tidak ideal, dan ketidaklinieran fungsi transfer nilai tegangan pada konverter boost.

4.3.4 Pengujian Sistem Kendali Otomatis Konverter Boost Dengan Arduino Mega 2560

Pada pengujian tahap ini tegangan keluaran konverter boost dibuat agar tetap mampu mempertahankan tegangan keluaran pada titik acuan tegangan tertentu yang ditentukan. Tegangan keluaran sistem yang akan dipertahankan adalah sebesar 24 Volt (akan di paralel dengan baterai 24 Volt pada sistem kopling kapasitor dan baterai). Data pengujian yang dapat diperoleh dari pengujian rangkaian konverter boost dengan sensor potensiometer, diketahui bahwa nilai desimal yang mewakili tegangan keluaran konverter boost sebesar ± 24 Volt adalah pada kisaran nilai desimal 101-105. Berdasarkan data nilai desimal yang diperoleh untuk mewakili tegangan sebesar ± 24 Volt, sistem kendali dibuat untuk mempertahankan tegangan keluaran konverter boost sebesar ± 24 Volt dengan mengubah-ubah nilai *duty cycle*. Program yang digunakan pada Arduino untuk mempertahankan tegangan keluaran dari konverter boost, yaitu:

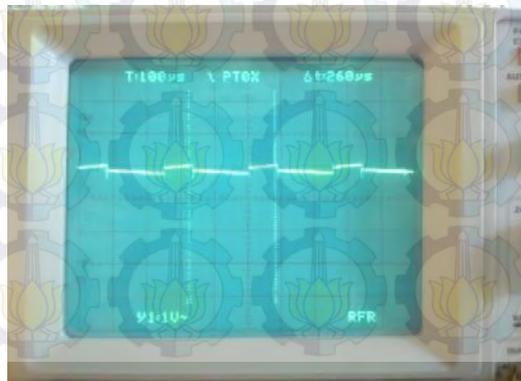
```
/*******kontrol PID*****//  
outPID = outP + outI + outD;
```

```

//*****pengkondisian Vo Boost*****//
if (data3 < 10) {
    D = D;
}
else if ((data3 >= 10) && (data3 <= 100)) {
    D = D + x;
}
else if (data3 > 105) {
    D = D - x;
}
else if ((data3 >= 101) && (data3 <= 104)) {
    D = D;
}
}

```

Menggunakan program pengondisian tersebut, sistem akan mempertahankan nilai tegangan keluaran konverter boost tetap pada ± 24 Volt walaupun terjadi perubahan tegangan masukan dan beban. Hal tersebut ditunjukkan oleh Gambar 4.7 dan 4.10. Pengujian dengan pembebanan berbeda (lampu pijar 21 Watt/24 Volt dan 42 Watt/24 Volt) menunjukkan sistem tetap mampu mempertahankan tegangan keluaran sebesar ± 24 Volt. Gambar 4.36 menunjukkan bentuk gelombang tegangan keluaran konverter boost pada pengujian konverter boost menggunakan suplai baterai asam timbal dengan parameter 12 Volt/7,0 Ah, dan beban berupa lampu pijar dengan parameter 42 Watt/24 Volt yang dilihat melalui alat ukur berupa osiloskop.



Gambar 4.36. Tegangan keluaran konverter boost

Parameter gelombang keluaran yang ditunjukkan oleh Gambar 4.36, yaitu:

1. Volt/div = 1 Volt; Time/div = 100 μ s
2. $\Delta V_c = 0,2$ Volt
3. $\Delta V_t = 260 \mu\text{s}$; maka $f_{sw} = \frac{1}{260 \mu\text{s}} = 3.84615 \text{ kHz} \cong 3,9216 \text{ kHz}$
4. Duty cycle (D) = 60,4%
5. Arus keluaran boost = 1,85 A (dengan menggunakan alat ukur multimeter digital DT-9205B)

Tabel 4.5, 4.6, 4.7 dan 4.8 menunjukn perbandingan efisiensi berdasarkan pengujian yang dilakukan dari konverter boost yang telah direalisasikan. Nilai efisiensi (η) pada saat menggunakan suplai berupa baterai untuk beban 21 Watt/24 Volt dan 42 Watt/24 Volt berturut-turut berkisar pada $\pm 64\%$ dan $\pm 80\%$. Nilai efisiensi (η) pada saat menggunakan suplai berupa kapasitor untuk beban 21 Watt/24 Volt dan 42 Watt/24 Volt berturut-turut berkisar pada $\pm 31\%$ dan $\pm 71\%$.

Tabel 4.5 Efisiensi konverter boost menggunakan suplai baterai dengan beban (21 Watt/24 Volt)

Metode Pengukuran	V_i (V)	I_i (A)	V_o (V)	I_o (A)	P_i (W)	P_o (W)	η (%)
Simulasi (ISIS Profesional 7)	12	2,7	27	0,95	32,4	25,6	79,01
Sensor pembagi tegangan dan ACS712	11,9	2,84	23,9	0,91	34,04	21,9	64,6
Multimeter digital dan Ampermeter analog	11,5	2,86	24,02	0,85	32,89	20,4	62,02

4.3.5 Pengujian Rangkaian Kopling Kapasitor dan Bateri Menggunakan Konverter DC-DC Topologi Boost

Pengujian pada tahap ini merupakan strategi yang dilakukan dalam upaya mengoptimalkan konsumsi daya baterai yang digunakan. Dalam hal

ini terdapat tiga mode pengujian, yaitu mode pada jalan menanjak, mode pada jalan menurun dan mode pada kondisi jalanan macet.

Tabel 4.6 Efisiensi konverter boost menggunakan suplai baterai dengan beban (42 Watt/24 Volt)

Metode Pengukuran	V_i (V)	I_i (A)	V_o (V)	I_o (A)	P_i (W)	P_o (W)	η (%)
Simulasi (ISIS Profesional 7)	12	5,01	26,5	1,86	60,12	49,1	81,7
Sensor pembagi tegangan dan ACS712	11,9	4,92	24	2,1	58,65	49,2	83,88
Multimeter digital dan Ampermeter analog	11,5	5,3	24,02	1,86	60,95	44,7	73,3

Tabel 4.7 Efisiensi konverter boost menggunakan suplai kapasitor dengan beban (21 Watt/24 Volt)

Metode Pengukuran	V_i (V)	I_i (A)	V_o (V)	I_o (A)	P_i (W)	P_o (W)	η (%)
Simulasi (ISIS Profesional 7)	10,8	2,45	24,3	0,85	26,46	20,7	78,1
Sensor pembagi tegangan dan ACS712	10,29	2,07	24,0	0,28	21,31	6,72	31,5

Tabel 4.8 Efisiensi konverter boost menggunakan suplai kapasitor dengan beban (42 Watt/24 Volt)

Metode Pengukuran	V_i (V)	I_i (A)	V_o (V)	I_o (A)	P_i (W)	P_o (W)	η (%)
Simulasi (ISIS Profesional 7)	11,17	3,36	24,2	1,24	37,5	30,0	80,03
Sensor pembagi tegangan dan ACS712	11,05	2,73	19,3	1,11	30,2	21,5	71,1

1. Mode pada jalan menanjak

Pada mode ini dilakukan pengkondisian untuk kopling kapasitor dan baterai, saat arus normal kapasitor belum bekerja. Saat ada kenaikan arus pada motor (motor ditahan), maka kapasitor akan turut bekerja menyuplai motor untuk membantu baterai. Kapasitor akan terus dalam siklus pengisian dan pelepasan muatan, selama arus yang terukur pada motor masih lebih besar atau sama dengan titik acuan. Saat arus yang terukur telah di bawah batas titik acuan yang ditentukan, maka kapasitor akan berhenti bekerja. Gambar 4.25 menunjukkan grafik nilai arus konverter boost terhadap arus baterai. Berdasarkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 4.25, terlihat saat kapasitor pada kondisi pelepasan muatan maka arus konverter boost akan membantu baterai menyuplai beban.

2. Mode pada jalan menurun

Pada mode ini kapasitor tidak bekerja membantu baterai, hanya baterai saja yang bekerja menyuplai motor DC. Gambar 4.30 menunjukkan grafik nilai arus konverter boost terhadap arus baterai. Dari grafik terlihat bahwa nilai arus yang lebih besar pada motor dibanding arus baterai terjadi karena motor diputar secara manual saat sistem bekerja (ibarat jalan menurun).

3. Mode pada kondisi jalanan macet

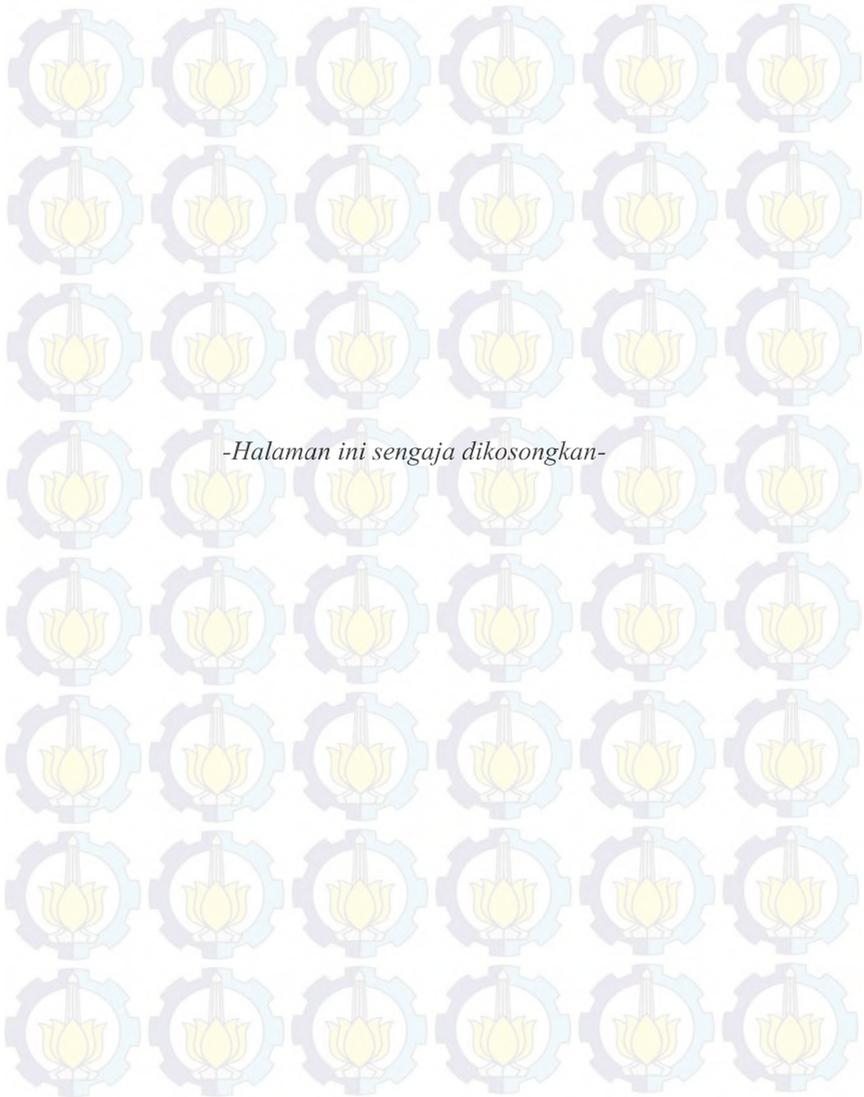
Pada model ini sistem menggunakan dua buah tombol yang diibaratkan sebagai pedal gas dan pedal rem. Pada saat tombol-1 (pedal gas) ditekan maka kapasitor akan bekerja terlebih dahulu. Pada periode pelepasan muatan kapasitor, saat tombol-2 (pedal rem) belum ditekan, maka baterai akan langsung bekerja. Kapasitor akan berhenti bekerja dan tidak mengaktifkan baterai jika saat kapasitor pada periode melepas muatan, tombol-2 langsung ditekan dan belum menyentuh nilai titik acuan untuk mengaktifkan baterai. Gambar 4.35 menunjukkan grafik nilai arus konverter boost terhadap arus baterai.

Optimalisasi konsumsi energi baterai dengan bantuan kapasitor pada pengujian ini kurang terlihat secara signifikan, karena energi yang mampu diberikan oleh kapasitor tergolong kecil untuk menyuplai beban yang digunakan. Kapasitas kapasitor yang digunakan adalah sebesar 0,285 Farad / 16 Volt dan tegangan kerja kapasitor yang digunakan pada kondisi pengisian dan pelepasan muatan muatan adalah sebesar 14,53

Volt. Energi yang mampu diberikan oleh kapasitor saat kapasitor melepas muatan dapat dihitung menggunakan persamaan 4.1, yaitu:

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{2} CV^2 & (4.1) \\ &= \frac{1}{2} \times 0,285 \times 14,53 = 30,08 \text{ Joule} \\ &= 30,08 \text{ Watt per detik} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan energi dari kapasitor yang digunakan dalam penelitian menunjukkan bahwa, kapasitor hanya mampu menyuplai daya sebesar 30,08 Watt per detik. Waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk mengisi (pengisian muatan kapasitor menggunakan trafo *center tap* (CT) 2 Ampere dengan tegangan sebesar 14,53 Volt) serta melepas muatan pada pengujian mode jalan menanjak dan jalan dengan kondisi macet berturut-turut adalah sebesar $\pm 2,5$ dan $\pm 0,6$ detik. Pada pengujian kondisi jalan menurun penggunaan energi baterai tidak disokong dengan penggunaan energi kapasitor.



-Halaman ini sengaja dikosongkan-

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.B. Camara, F. Gustin, H. Gualous, A. Berthon., "Energy management strategy for coupling capacitors and batteries with DC-DC converters for hybrid vehicle applications", IEEE, 2008.
- [2] A. L. Allègre, R. Trigui, A. Bouscayrol, "Different energy management strategies of Hybrid Energy Storage System (HESS) using batteries and capacitors for vehicular applications", Univ. Lille Nord de France, MEGEVH national project, 2010.
- [3] Andrew Burke, Marshall Miller, "The power capability of ultracapacitors and lithium batteries for electric and hybrid vehicle applications", Elsevier, 2010.
- [4] Sangyoung Park, Younghyun Kim and Naehyuck Chang, "Hybrid Energy Storage Systems and Battery Management for Electric Vehicles", ACM 978-1-4503-2071-9/13/05 ...\$15.00, 2013.
- [5] Muhammad H. Rasid, "*Power Electronics Handbook*", Academic Press, San Diego, 2001.
- [6] "Arduino Mega 2560", <URL:<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>>, April, 2015.
- [7] (Datasheet of ACS712) Allegromicro. (2011). "Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor" <URL: <http://www.allegromicro.com/~Media/Files/Datasheets/ACS712Ddatasheet.ashx>>, April, 2015
- [8] David A. Bell, "*Solid State Pulse Circuit*", Secon Edition, Reston Publishing Company, Virginia, Ch.4, 1981
- [9] Herman D. Surjono, "*Elektronika Analog*", Penerbit Cerdas Ulet Kreatif, Bab 4, 2008.
- [10] Jerry Luecke, "Analog and Digital Circuit for Electronic Control System Applications", Elsevier, 2005.
- [11] Budhi Anto, Edy Hamdani, dan Rizki Abdullah, "Portable Battery Charger Berbasis Sel Surya", Jurnal Rekayasa Elektrika Vol. 11, Universitas Riau, 2014.



-Halaman ini sengaja dikosongkan-

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Keseluruhan proses penelitian tugas akhir ini yang meliputi studi literatur, perancangan, pengujian alat, dan analisa hasil pengujian pada strategi manajemen energi untuk kopling kapasitor dan baterai menggunakan konverter DC-DC topologi boost dapat disimpulkan yaitu:

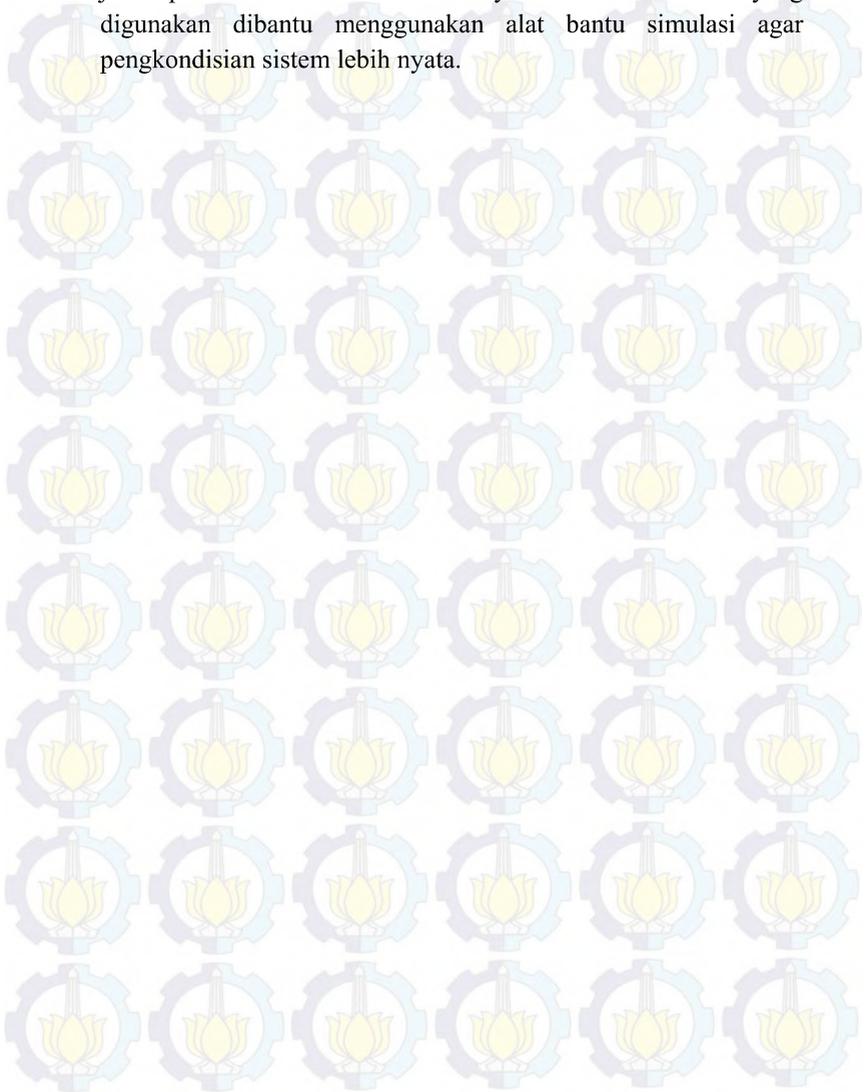
1. Rangkaian *push-pull* menghasilkan keluaran gelombang frekuensi PWM yang berkomplemen (berbeda 180 derajat) dengan gelombang yang dihasilkan oleh pin 10 Arduino Mega 2560.
2. Karakteristik perubahan kenaikan nilai *duty cycle* terhadap tegangan keluaran konverter boost tidak memiliki fungsi linier melainkan memiliki fungsi eksponensial.
3. Konverter boost yang telah dirancang mampu menunjukkan nilai efisiensi (η) sebesar $\pm 80\%$ pada pembebanan lampu pijar 42 Watt/24 Volt dengan suplai menggunakan baterai. Hal ini dikarenakan baterai mampu memberikan tegangan dan arus yang sesuai dengan rancangan konverter boost yang dibuat. Hal ini didukung juga dengan pembebanan yang sesuai.
4. Waktu yang dibutuhkan kapasitor untuk mengisi serta melepas muatan pada pengujian mode jalan menanjak dan jalan dengan kondisi macet berturut-turut adalah sebesar $\pm 2,5$ dan $\pm 0,6$ detik.
5. Daya yang diberikan oleh kapasitor tergolong kecil yaitu 30,08 Watt per detik, sehingga pengaruh pada strategi manajemen energi untuk mengoptimalkan penggunaan konsumsi energi baterai pada penelitian ini kurang terlihat.

5.2 Saran

Saran yang bisa penulis berikan untuk penelitian ke depan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Komponen kapasitor yang digunakan hendaknya memiliki kemampuan menyimpan energi (energi potensial) yang lebih besar, agar energi yang dihemat oleh baterai juga lebih besar.

2. Pengujian alat pada simulasi jalan menanjak, jalan menurun dan jalan pada kondisi macet sebaiknya beban motor DC yang digunakan dibantu menggunakan alat bantu simulasi agar pengkondisian sistem lebih nyata.



RIWAYAT PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Rahmat Fitriadi. Lahir di Cilacap pada tanggal 22 April 1991. Penulis mengawali pendidikan di SD Negeri 02 Gumilir Cilacap pada tahun 1997-2003, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMP Negeri 1 Cilacap hingga tahun 2006. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Cilacap pada tahun 2009, penulis melanjutkan pendidikannya di Universitas Gadjah Mada, Program Studi Diploma Teknik Elektro, Bidang Keahlian Teknik Sistem Tenaga Listrik. Setelah lulus Program Studi Diploma Teknik Elektro UGM pada tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan untuk meraih gelar Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui program Lintas Jalur, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis pernah menjadi *Electrical Staff ITS Team 5* pada kompetisi *Shell Eco Marathon* pada tahun 2014.

Email :

rahmat.fitriadi@gmail.com / rahmat.fitriadi12@mhs.ee.its.ac.id