

TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI BUCK BOOST
CONVERTER UNTUK KONTROL KECEPATAN MOTOR
DC BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER***

PRISMA RIASHUDA PRAKOSA

NRP 07111840000051

Dosen Pembimbing

Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D.

NIP 198702062012121002

Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 198006032006041003

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - EE 184801

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI BUCK BOOST
CONVERTER UNTUK KONTROL KECEPATAN MOTOR
DC BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER***

PRISMA RIASHUDA PRAKOSA

NRP 07111840000051

Dosen Pembimbing

Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D.

NIP 198702062012121002

Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 198006032006041003

Program Studi Sarjana Teknik Elektro

Departemen Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - EE 184801

**BUCK BOOST CONVERTER DESIGN AND
IMPLEMENTATION FOR DC MOTOR SPEED CONTROL
BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER**

PRISMA RIASHUDA PRAKOSA

NRP 07111840000051

Advisor

Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D.

NIP 198702062012121002

Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

NIP 198006032006041003

Electrical Engineering Undergraduate Program

Department of Electrical Engineering

Faculty of Electrical and Intelligent Informatics Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *BUCK BOOST CONVERTER* UNTUK KONTROL KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER*






TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana pada
Program Studi S-1 Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro Dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **PRISMA RIASHUDA PRAKOSA**

NRP. 07111840000051

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | |
|--|--|
| 1. Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D. | Pembimbing  |
| 2. Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. | Ko-pembimbing  |
| 3. Prof. Dr.Ir. Soediby, MMT. | Penguji  |
| 4. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. | Penguji  |
| 5. Ir. Sjamsjul Anam, MT. | Penguji  |

SURABAYA

Juni, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET

BUCK BOOST CONVERTER DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR DC MOTOR SPEED CONTROL BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining an undergraduate degree at
Undergraduate Study Program of Power System Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By: **PRISMA RIASHUDA PRAKOSA**

NRP. 07111840000051

Approved by Final Project Examiner Team:

1. Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D.

Advisor



2. Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D.

Co-Advisor



3. Prof. Dr.Ir. Soedibyoy, MMT.

Examiner



4. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.

Examiner



5. Ir. Sjamsjul Anam, MT.

Examiner



SURABAYA

June, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Prisma Riashuda Prakosa / 07111840000051
Departemen : Teknik Elektro
Dosen Pembimbing / NIP : Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D. /
198702062012121002

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “DESAIN DAN IMPLEMENTASI *BUCK BOOST CONVERTER* UNTUK KONTROL KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

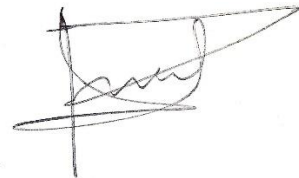
Surabaya, 10 Juni 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198702062012121002

Mahasiswa



Prisma Riashuda Prakosa
NRP. 07111840000051

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Prisma Riashuda Prakosa / 0711184000051
Department : Electrical Engineering
Advisor / NIP : Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D. /
198702062012121002

Hereby declare that the Final Project with the title of “BUCK BOOST CONVERTER DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR DC MOTOR SPEED CONTROL BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER” is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

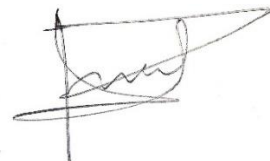
Surabaya, 10 June 2022

Acknowledged
Advisor



Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19660318 199010 1 001

Student



Prisma Riashuda Prakosa
NRP. 07111840000012

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRAK

DESAIN DAN IMPLEMENTASI *BUCK BOOST CONVERTER* UNTUK KONTROL KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS *FUZZY LOGIC CONTROLLER*

Nama Mahasiswa / NRP : Prisma Riashuda Prakosa / 0711184000014
Departemen : Teknik Elektro FTEIC – ITS
Dosen Pembimbing : Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D.

Abstrak

Motor DC merupakan mesin listrik yang banyak dimanfaatkan dalam bidang industri dan rumah. Dalam pengaplikasiannya kecepatan motor DC sering terjadi penurunan tegangan yang diakibatkan dari beban yang diterima motor, sehingga kecepatan menjadi tidak konstan. Sehingga untuk memaksimalkan kinerja motor DC diperlukan pengatur kecepatan yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC agar konstan dan sesuai dengan kecepatan aktualnya. Adapun Metode dari *Fuzzy Logic Controller* yang dimanfaatkan untuk mengatur kecepatan motor DC sehingga kecepatan aktual yang didapatkan lebih presisi serta mempunyai ketahanan terhadap gangguan dan memiliki respon yang akurat. Pada penelitian ini akan dirancang *buck boost converter* dengan metode *Fuzzy Logic Controller* untuk mengontrol kecepatan motor DC. Pada implementasinya, konverter *buck boost* memiliki rata-rata efisiensi 85,3% untuk mode buck dan 86,79% untuk mode boost pada pembebanan 10-100%. Sedangkan pada motor DC yang berbeban, konverter *buck boost* memiliki rata-rata sebesar 71,55% untuk mode buck dan 74,89% untuk mode boost. Kemudian pada pengujian motor DC yang dijaga tetap kecepataannya, konverter *buck boost* dapat menjaga tegangan *output* rata-rata nya sebesar 23,98 Volt dengan nilai *error* sebesar 0,02% ketika mode buck dan rata-rata *tegangan output* yaitu 23,95 Volt dengan nilai *error* sebesar 0,08% ketika mode boost. Sehingga kecepatan motor DC dapat dijaga konstan dengan rata-rata kecepatan sebesar 478 rpm dengan nilai *error* yaitu 0,4% pada mode buck maupun boost.

Kata kunci: *Buck boost converter, Motor DC, Fuzzy Logic Controller, Kontrol Kecepatan*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

ABSTRACT

BUCK BOOST CONVERTER DESIGN AND IMPLEMENTATION FOR DC MOTOR SPEED CONTROL BASED ON FUZZY LOGIC CONTROLLER

Student Name / NRP : Prisma Riashuda Prakosa/ 0711184000051
Department : Teknik Elektro FTEIC - ITS
Advisor : Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D.

Abstract

DC motor is an electric machine that is widely used in the industrial and home fields. In its application, the DC motor speed often decreases the *voltage* caused by the load received by the motor, so the speed is not constant. So as to maximize the performance of the DC motor, the speed regulator is used to adjust the speed of the DC motor to be constant and in accordance with the actual speed. The method of the *Fuzzy Logic Controller* is used to regulate the speed of the DC motor so that the actual speed obtained is more precise and has resistance to interference and has an accurate response. In this research, a *buck boost converter* will be designed using the *Fuzzy Logic Controller* method to control the speed of a DC motor. In its implementation, the *buck boost converter* has an average efficiency of 85.3% for buck mode and 86.79% for boost mode at 10-100% loading. While on a DC motor with a load, the *buck boost converter* has an average of 71.55% for buck mode and 74.89% for boost mode. Then in testing the DC motor which is kept at a constant speed, the buck boost converter can maintain its average output voltage of 23.98 Volts with an error value of 0.02% when in buck mode and the average output voltage is 23.95 Volts with a value of 23.95 Volts. error of 0.08% when in boost mode. So that the speed of the DC motor can be kept constant with an average speed of 478 rpm with an error value of 0.4% in buck and boost modes.

Keywords: *Buck boost converter, DC Motor, Fuzzy Logic Controller, Speed Control*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir judul “Desain dan Implementasi *Buck boost converter* Untuk Kontrol Kecepatan Motor DC Berbasis *Fuzzy Logic Controller*” ini dapat diselesaikan dengan baik.

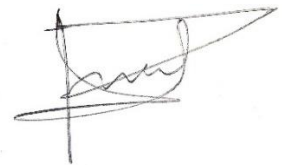
Adapun Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan menyelesaikan studi S1 pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Terima kasih banyak penulis ucapkan kepada pihak-pihak berikut yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini:

1. Allah SWT. yang dengan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.
2. Keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, nasihat dan doa kepada penulis.
3. Bapak Feby Agung Pamuji S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Heri Suryoatmojo, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan II yang telah memberikan bimbingan, dan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.
4. Mas Andhika, Mas Hilman, Angga, Tiara, Dewi dan teman-teman asisten Laboratorium Konversi Energi yang membantu penulis dalam proses menyelesaikan Tugas Akhir
5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan tugas akhir ini.

Besar harapan penulis menerima saran dan kritik untuk pengembangan serta perbaikan dari Tugas Akhir ini.

Surabaya, 10 Juni 2022



Prisma Riashuda Prakosa

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------|
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| APPROVAL SHEET | iii |
| PERNYATAAN ORISINALITAS | v |
| STATEMENT OF ORIGINALITY | vii |
| ABSTRAK | ix |
| ABSTRACT | xi |
| KATA PENGANTAR | xiii |
| DAFTAR ISI | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xix |
| DAFTAR TABEL | xxiii |
| BAB 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 1 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan | 2 |
| 1.5 Manfaat | 2 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu | 3 |
| 2.1.1 Analisis Pengendalian Kecepatan DC Motor Berbasis Buck-Boost Konverter | 3 |
| 2.1.2 Pengaruh Penggunaan <i>Fuzzy Logic Control</i> pada Pulse Width Modulation Boost Converter sebagai Penggerak Motor DC Seri | 3 |
| 2.2 Dasar Teori | 3 |
| 2.2.1 Konverter <i>Buck boost</i> | 3 |
| 2.2.1.1 Penurunan Parameter Komponen | 7 |
| 2.2.2 Motor DC | 9 |
| 2.2.2.1 Motor DC Penguat Terpisah | 10 |
| 2.2.2.2 Motor DC Shunt | 11 |
| 2.2.2.3 Motor DC Seri | 12 |
| 2.2.2.4 Motor DC Permanen Magnet | 13 |
| 2.2.2.5 Karakteristik Motor DC | 14 |
| 2.2.2.6 Pengaturan Kecepatan Motor DC | 15 |
| 2.2.3 <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 16 |
| 2.2.3.1 Proses Fuzzification | 17 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.2.3.2 | Inference Engine | 18 |
| 2.2.3.3 | Defuzzification | 18 |
| 2.2.3.4 | Rules..... | 19 |
| BAB 3 | METODOLOGI DAN PEMODELAN SISTEM | 21 |
| 3.1 | Permodelan Blok Sistem | 22 |
| 3.1.1 | Metode yang Digunakan | 23 |
| 3.1.1.1 | Fuzzy Logic Controller | 23 |
| 3.2 | Alat dan Bahan | 23 |
| 3.2.1 | Spesifikasi Motor DC..... | 23 |
| 3.2.2 | Desain Konverter <i>Buck boost</i> | 24 |
| 3.2.3 | Penentuan Nilai Rasio Konversi dan <i>Duty cycle</i> | 24 |
| 3.2.4 | Penentuan Nilai Beban | 26 |
| 3.2.5 | Penentuan Nilai Kapasitor..... | 26 |
| 3.2.6 | Penentuan Nilai Induktor | 28 |
| 3.2.7 | Penentuan Komponen MOSFET..... | 30 |
| 3.2.8 | Penentuan Dioda | 32 |
| 3.3 | Simulasi Konverter <i>Buck boost</i> dalam Keadaan Steady State | 33 |
| 3.3.1 | Rangkaian Konverter <i>Buck boost</i> | 34 |
| 3.3.2 | Simulasi Pensaklaran | 34 |
| 3.3.3 | Simulasi Arus Induktor | 36 |
| 3.3.4 | Simulasi Tegangan Dioda | 37 |
| 3.3.5 | Simulasi Arus MOSFET dan Dioda..... | 38 |
| 3.3.6 | Simulasi Tegangan Kapasitor | 39 |
| 3.3.7 | Simulasi Tegangan <i>Output</i> | 40 |
| 3.3.8 | Simulasi Daya <i>Output</i> | 41 |
| 3.3.9 | Simulasi Efisiensi Konverter..... | 42 |
| 3.4 | Parameter Algoritma <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 43 |
| 3.5 | Simulasi Sistem Konverter <i>Buck boost</i> | 48 |
| 3.5.1 | Simulasi Konverter dengan <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 48 |
| 3.5.2 | Simulasi Konverter dengan Motor tanpa Beban | 51 |
| 3.5.3 | Simulasi Konverter dengan motor Berbeban | 54 |
| 3.5.4 | Simulasi Konverter dengan kecepatan motor dijaga Tetap..... | 56 |
| BAB 4 | HASIL DAN PEMBAHASAN | 61 |
| 4.1 | Realisasi Prototipe..... | 61 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 4.1.1 | Implementasi Konverter <i>Buck boost</i> | 61 |
| 4.1.2 | Pengujian Alat | 62 |
| 4.1.3 | Pengujian Sensor Arus dan Tegangan..... | 63 |
| 4.2 | Pengujian Konverter <i>Buck boost</i> | 65 |
| 4.2.1 | Pengujian Sinyal Pulse Width Modulatiton (PWM)..... | 65 |
| 4.2.2 | Pengujian Pensakelaran <i>Voltage Gate Source</i> dan <i>Voltage Drain Source</i> ... | 67 |
| 4.2.3 | Pengujian Tegangan Dioda | 68 |
| 4.2.4 | Pengujian Arus Induktor | 69 |
| 4.2.5 | Pengujian Tegangan Kapaitor | 70 |
| 4.2.6 | Pengujian Tegangan <i>Input</i> dan <i>Output</i> | 71 |
| 4.2.7 | Pengujian Efisiensi Konverter..... | 72 |
| 4.3 | Pengujian Konverter dengan motor DC Tidak Berbeban | 74 |
| 4.3.1 | Pengujian mode Buck | 74 |
| 4.3.2 | Pengujian Mode Boost | 76 |
| 4.4 | Pengujian Komverter dengan motor DC Berbeban | 79 |
| 4.4.1 | Pengujian Mode Buck | 79 |
| 4.4.2 | Pengujian mode Boost..... | 83 |
| 4.5 | Pengujian Konverter dengan motor DC untuk kecepatan dijaga Tetap | 86 |
| 4.5.1 | Pengujian Mode Buck | 86 |
| 4.5.2 | Pengujian Mode Boost | 90 |
| BAB 5 | Kesimpulan dan Saran..... | 95 |
| 5.1 | Kesimpulan | 95 |
| 5.2 | Saran..... | 95 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 97 |
| | LAMPIRAN..... | 99 |
| | BIODATA PENULIS | 111 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Rangkaian <i>Buck boost</i> | 4 |
| Gambar 2.2 Gelombang Tegangan dan Arus | 4 |
| Gambar 2.3 Rangkaian Konverter <i>Buck boost</i> Ketika <i>Switch Off</i> | 5 |
| Gambar 2.4 Rangkaian Konverter <i>Buck boost</i> Ketika <i>Switch on</i> | 6 |
| Gambar 2.5 Motor DC PG45 100 Watt..... | 9 |
| Gambar 2.6 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Penguat Terpisah..... | 10 |
| Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Shunt | 11 |
| Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Seri | 12 |
| Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Permanen Magnet | 13 |
| Gambar 2.10 Karakteristik Torque dengan Kecepatan pada Motor DC | 14 |
| Gambar 2.11 Karakteristik Torque dengan Arus medan pada Motor DC..... | 14 |
| Gambar 2.12 Karakteristik Kecepatan dengan Arus medan pada Motor DC | 15 |
| Gambar 2.13 Diagram <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 17 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 21 |
| Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem..... | 22 |
| Gambar 3.3 Grafik Rasio Berdasarkan Nilai <i>Duty cycle</i> | 25 |
| Gambar 3.4 Simulasi Rangkaian Konverter <i>Buck boost</i> Steady State | 34 |
| Gambar 3.5 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan VDS Mode Buck..... | 35 |
| Gambar 3.6 Bentuk Gelombang VGS dan VDS Mode Boost..... | 35 |
| Gambar 3.7 Bentuk Gelombang VGS dan Arus Induktor ketika mode buck | 36 |
| Gambar 3.8 Bentuk Gelombang VGS dan Arus Induktor ketika mode boost | 37 |
| Gambar 3.9 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Dioda ketika mode buck | 37 |
| Gambar 3.10 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Dioda ketika mode boost | 38 |
| Gambar 3.11 Bentuk Gelombang Arus <i>Drain-Source</i> dan Arus Dioda ketika mode Buck..... | 38 |
| Gambar 3.12 Bentuk Gelombang Arus <i>Drain-Source</i> dan Arus Dioda ketika mode Boost.... | 39 |
| Gambar 3.13 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Kapasitor ketika mode buck..... | 39 |
| Gambar 3.14 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Kapasitor ketika mode boost..... | 40 |
| Gambar 3.15 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Input</i> konverter..... | 40 |
| Gambar 3.16 Bentuk Gelombang Tegangan Kapasitor dan Tegangan <i>Output</i> ketika mode buck | 41 |
| Gambar 3.17 Bentuk Gelombang Tegangan Kapasitor dan Tegangan <i>Output</i> ketika mode boost | 41 |
| Gambar 3.18 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Output</i> dan Arus <i>Output</i> dari konverter Buck.... | 42 |
| Gambar 3.19 Bentuk Gelombang Tegangan <i>Output</i> dan Arus <i>Output</i> dari konverter Boost... | 42 |
| Gambar 3.20 Bentuk Gelombang Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> ketika mode buck | 43 |
| Gambar 3.21 Bentuk Gelombang Daya <i>Input</i> dan Daya <i>Output</i> ketika mode boost..... | 43 |
| Gambar 3.22 Membership function <i>input Error</i> (E) | 44 |
| Gambar 3.23 Membership function <i>input delta Error</i> (dE) | 44 |
| Gambar 3.24 Membership function <i>output Duty cycle</i> | 45 |
| Gambar 3.25 <i>Rule Editor Fuzzy</i> | 46 |
| Gambar 3.26 Simulasi <i>Rule Viewer Fuzzy</i> ketika mode buck | 47 |
| Gambar 3.27 Simulasi <i>Rule Viewer Fuzzy</i> ketika mode boost..... | 47 |
| Gambar 3.28 <i>Surface rule viewer Fuzzy logic</i> | 48 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.29 Simulasi sistem <i>buck boost</i> konverter dengan FLC..... | 49 |
| Gambar 3.30 Tegangan <i>output</i> ketika konverter mode Buck..... | 50 |
| Gambar 3.31 Arus <i>output</i> ketika konverter mode Buck..... | 50 |
| Gambar 3.32 Tegangan <i>output</i> ketika konverter mode Boost..... | 50 |
| Gambar 3.33 Arus <i>output</i> ketika konverter mode Boost..... | 50 |
| Gambar 3.34 Hasil nilai <i>Error</i> [E] pada <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 51 |
| Gambar 3.35 Hasil nilai delta <i>Error</i> [dE] pada <i>Fuzzy Logic Controller</i> | 51 |
| Gambar 3.36 Grafik mode buck tanpa beban..... | 52 |
| Gambar 3.37 Grafik mode boost tanpa beban..... | 54 |
| Gambar 3.38 Grafik mode buck berbeban..... | 55 |
| Gambar 3.39 Grafik mode boost berbeban..... | 56 |
| Gambar 3.40 Simulasi Konverter dengan kecepatan motor dijaga tetap ketika mode buck ... | 58 |
| Gambar 3.41 Simulasi Konverter dengan kecepatan motor dijaga tetap ketika mode boost ... | 59 |
| Gambar 4.1 Rangkaian Konverter <i>Buck boost</i> | 62 |
| Gambar 4.2 Set up Pengujian Konverter dengan Motor DC..... | 63 |
| Gambar 4.3 Bentuk Gelombang PWM Arduino dan TLP250 ketika mode Buck | 66 |
| Gambar 4.4 Bentuk Gelombang PWM Arduino dan TLP250 ketika mode Boost | 66 |
| Gambar 4.5 Bentuk Gelombang VGS dan VDS pada MOSFET ketika mode buck..... | 67 |
| Gambar 4.6 Bentuk Gelombang VGS dan VDS pada MOSFET ketika mode boost..... | 67 |
| Gambar 4.7 Bentuk VGS dan Tegangan Dioda ketika mode buck | 68 |
| Gambar 4.8 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Dioda ketika boost | 68 |
| Gambar 4.9 Bentuk VGS dan Arus induktor ketika buck | 69 |
| Gambar 4.10 Bentuk VGS dan Arus induktor ketika boost | 69 |
| Gambar 4.11 Bentuk VGS dan Tegangan Kapasitor ketika mode buck | 70 |
| Gambar 4.12 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Kapasitor ketika mode boost..... | 70 |
| Gambar 4.13 Bentuk Gelombang Tegangan <i>input</i> dan <i>output</i> ketika mode buck..... | 71 |
| Gambar 4.14 Bentuk Gelombang Tegangan <i>input</i> dan <i>output</i> ketika mode boost..... | 71 |
| Gambar 4.15 Grafik Efisiensi Konverter ketika mode | 72 |
| Gambar 4.16 Grafik Efisiensi Konverter ketika mode boost | 72 |
| Gambar 4.17 Grafik Efisiensi pada konverter beban motor DC saat mode buck | 73 |
| Gambar 4.18 Grafik Efisiensi pada konverter beban motor DC saat mode boost..... | 73 |
| Gambar 4.19 Grafik Duty Cyle dengan tegangan ketika mode buck | 75 |
| Gambar 4.20 Grafik Duty Cyle dengan Daya <i>output</i> ketika mode buck..... | 76 |
| Gambar 4.21 Grafik Duty Cyle dengan Daya <i>output</i> ketika mode buck..... | 76 |
| Gambar 4.22 Grafik <i>Duty cycle</i> dengan Tegangan ketika mode boost | 78 |
| Gambar 4.23 Grafik Duty Cyle dengan Daya <i>output</i> ketika mode boost..... | 78 |
| Gambar 4.24 Grafik Tegangan dengan Kecepatan ketika mode boost | 79 |
| Gambar 4.25 Grafik Torque dengan Tegangan ketika mode buck | 81 |
| Gambar 4.26 Grafik Torque dengan Arus ketika mode buck | 81 |
| Gambar 4.27 Grafik Torque dengan Kecepatan ketika mode buck | 82 |
| Gambar 4.28 Grafik Kecepatan dengan Tegangan ketika mode buck | 82 |
| Gambar 4.29 Grafik Torque dengan Tegangan ketika mode boost..... | 84 |
| Gambar 4.30 Grafik Torque dengan Arus ketika mode boost..... | 85 |
| Gambar 4.31 Grafik Torque dengan kecepatan ketika mode boost | 85 |
| Gambar 4.32 Grafik kecepatan dengan tegangan ketika mode boost..... | 86 |
| Gambar 4.33 Grafik Torque dan Tegangan ketika mode Buck..... | 88 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.34 Grafik Torque dan Tegangan ketika mode Buck..... | 88 |
| Gambar 4.35 Grafik Torque dan Arus ketika mode Buck..... | 89 |
| Gambar 4.36 Grafik Torque dan Daya Konverter ketika mode Buck..... | 89 |
| Gambar 4.37 Torque dan Daya Motor ketika mode Buck | 90 |
| Gambar 4.38 Grafik Torque dan Tegangan ketika mode Boost..... | 92 |
| Gambar 4.39 Grafik Torque dan Tegangan ketika mode Boost..... | 92 |
| Gambar 4.40 Grafik Torque dan arus ketika mode Boost..... | 93 |
| Gambar 4.41 Grafik Torque dan Daya konverter ketika mode Boost..... | 93 |
| Gambar 4.42 Grafik Torque dan Daya Motor ketika mode Boost | 94 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Logika aturan <i>Fuzzy</i> | 18 |
| Tabel 3.1 Spesifikasi Motor DC PG45 | 23 |
| Tabel 3.2 Desain Spesifikasi Konverter <i>Buck boost</i> | 24 |
| Tabel 3.3 Spesifikasi Kabel AWG 10 dan 25 | 30 |
| Tabel 3.4 Parameter Komponen yang digunakan pada Konverter | 33 |
| Tabel 3.5 <i>Rule</i> Tabel <i>Fuzzy</i> | 46 |
| Tabel 4.1 Parameter Komponen Konverter | 61 |
| Tabel 4.2 Pengujian Sensor Arus ACS712 | 64 |
| Tabel 4.3 Pengujian Sensor Tegangan Multiturn 100 k Ω | 64 |
| Tabel 4.4 Data pengujian konverter ketika mode buck tidak berbeban..... | 74 |
| Tabel 4.5 Data pengujian konverter ketika mode boost tidak berbeban..... | 77 |
| Tabel 4.6 Data pengujian konverter ketika mode buck berbeban..... | 79 |
| Tabel 4.7 Data pengujian konverter ketika mode boost berbeban..... | 83 |
| Tabel 4.8 Data pengujian konverter ketika mode Buck..... | 87 |
| Tabel 4.9 Data pengujian konverter ketika mode Boost..... | 90 |

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era saat ini, banyaknya perkembangan dan kemajuan dari bidang teknologi maupun ilmu pengetahuan membuat inovasi di bidang teknologi dan kontrol menjadi beraneka ragam, tidak terkecuali dengan mesin listrik dan pemanfaatannya yang tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan sehari-hari. Salah satu contohnya adalah pemanfaatan motor DC yang sering diimplementasikan dalam bidang industri dan rumahan. Namun, kemajuan teknologi di bidang industri dan rumahan justru mengalami suatu permasalahan terkait ketidakstabilan dari kecepatan motor DC. Dengan adanya ketidakstabilan kecepatan tersebut, maka akan berpengaruh pada proses suatu sistem, sehingga akan menyebabkan hasil yang tidak maksimal. Dalam kenyataannya, motor DC memiliki torsi kecepatan yang lebih menguntungkan daripada jenis motor lainnya, sehingga pengaturan kecepatan sangat dibutuhkan (Saeed et al., n.d.).

Dalam pengaplikasiannya kecepatan motor DC sering terjadi penurunan tegangan yang diakibatkan dari beban yang diterima motor, sehingga kecepatan menjadi tidak konstan. Pada umumnya untuk mengatur kecepatan motor DC masih menggunakan kontrol dengan metode PI (Proporsional-Integral). Metode PI berfungsi untuk menentukan kepresisian atau kestabilan suatu sistem instrumentasi dengan karakteristik umpan balik. Parameter PI dapat diatur dalam sistem yang akan dikendalikan, agar respon *output* sistem sesuai terhadap *input* sistem yang diinginkan (Dutta et al., 2014). Namun, pertimbangan penggunaan kontrol sangat diperhatikan dalam mengatur kecepatan motor DC. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem kontrol yang mempunyai ketahanan terhadap gangguan dan memiliki respon yang akurat.

Buck boost converter merupakan salah satu banyaknya sistem kontrol yang digunakan untuk mengatur kecepatan dengan menaik dan menurunkan tegangan *inputnya*. Konverter DC-DC digunakan untuk menstabilkan nilai DC yang diberikan tegangan ke nilai yang diinginkan. Biasanya dicapai dengan memotong dan menyaring tegangan *input* melalui *Switching* yang sesuai, dan umumnya diterapkan dengan menggunakan PWM (Jung et al., 2018). Adapun beberapa metode yang telah digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC, seperti PID dan PI. Dalam penggunaan PID Controller mempunyai struktur yang sederhana namun respon yang belum cepat dengan kondisi beban yang dinamis dan set point yang bervariasi. Sedangkan, PI controller memiliki reaksi yang cepat terhadap gangguan namun kurang efektifnya sistem dengan parameter yang beragam (Guo & Mohamed, 2020). Dengan kondisi tersebut, pada tugas akhir ini akan dilakukan desain dan implementasi *buck boost converter* untuk mengatur kecepatan motor DC. Metode dari *Fuzzy Logic Controller* dimanfaatkan agar dapat mengatur kecepatan motor DC sehingga kecepatan aktual yang didapatkan lebih presisi serta mempunyai ketahanan terhadap gangguan dan memiliki respon yang akurat

1.2 Rumusan Masalah

Motor DC merupakan mesin listrik yang banyak dimanfaatkan dalam bidang industri dan rumahan. Dalam pengaplikasiannya kecepatan motor DC sering terjadi penurunan tegangan yang diakibatkan dari beban yang diterima motor, sehingga kecepatan menjadi tidak konstan. Sehingga untuk memaksimalkan kinerja motor DC diperlukan pengatur kecepatan yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor DC agar konstan dan sesuai dengan kecepatan aktualnya. Adapun beberapa metode yang telah digunakan untuk mengatur kecepatan dari motor DC, seperti PID dan PI. Namun, metode tersebut dirasa kurang optimal dalam menghasilkan respon yang akurat dan tahan terhadap gangguan.

Maka dari itu, akan dilakukan desain dan implementasi *buck boost converter* untuk mengatur kecepatan motor DC. Metode dari *Fuzzy Logic Controller* dimanfaatkan agar dapat mengatur kecepatan motor DC sehingga kecepatan aktual yang didapatkan lebih presisi serta mempunyai ketahanan terhadap gangguan dan memiliki respon yang akurat. Permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah mendesain dan mengimplementasikan *buck boost converter* untuk kontrol kecepatan motor DC berbasis *Fuzzy Logic Controller*

1.3 Batasan Masalah

Ruang lingkup atau pembatasan masalah sebagai upaya untuk memfokuskan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis motor DC yang digunakan pada penelitian ini adalah Motor DC PG45 yang berkapasitas 100 watt
2. Implementasi alat disesuaikan dengan komponen yang terdapat di pasaran dan peralatan pengujian di Laboratorium Konversi Energi Listrik
3. Hasil pengujian menggunakan sumber tegangan dari DC power supply, rheostat, serta beban motor DC yang terdapat pada laboratorium
4. Semua analisis dan perhitungan dilakukan dalam mode tunak (*steady state*)
5. Simulasi hanya digunakan sebagai pendekatan dan acuan karakteristik dari alat yang akan diimplementasi

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendesain dan mengimplentasikan *buck boost converter* dengan metode *Fuzzy Logic Controller* untuk mengontrol kecepatan motor DC.
2. Membandingkan dan menganalisis hasil implementasi *buck boost converter* dengan hasil desain dan simulasi untuk mengontrol kecepatan motor DC dengan metode *Fuzzy Logic Controller*.
3. Melakukan analisa hasil pengujian *buck boost converter* untuk mendapatkan karakteristik pada kontrol kecepatan motor DC dengan menaikkan dan menurunkan tegangan.
4. Melakukan analisa hasil pengujian *buck boost converter* untuk mendapatkan karakteristik pada kontrol kecepatan motor DC saat tegangan dan kecepatan konstan.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dan manfaat bagi ilmu pengetahuan dan teknologi, yakni:

1. Dapat digunakan sebagai referensi penegmbangan kontrol motor DC menggunakan *buck boost converter*
2. Dapat digunakan sebagai referensi dalam penelitian yang menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller*
3. Dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa lain dalam mengerjakan penelitian di bidang kontrol untuk Motor DC

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

2.1.1 Analisis Pengendalian Kecepatan DC Motor Berbasis Buck-Boost Konverter

Dalam penelitian tersebut membahas bahwa konverter *buck boost* dapat mengontrol penggunaan aplikasi daya yang rendah dan menengah yang efisien dan ekonomis. Untuk keunggulan lainnya adalah desainnya yang sederhana. Kemudian memiliki respon yang sangat cepat, komponen ditorsi harmonik yang mempunyai nilai rendah, serta factor daya yang tinggi. Pada penelitian ini, untuk kontrol simulasi motor DC menggunakan perangkat lunak yaitu PSIM. Kemudian didapatkan hasilnya ketika kondisi loop terbuka kecepatan dari motor DC dalam keadaan stabil pada waktu 4,181 detik dan kecepatan motor DC -2,499 rpm. Pada kondisi loop tertutup yang dikontrol, kecepatan motor dc stabil pada waktu 2,308 detik dan kecepatan motor DC 6,702 rpm (Ajiatmo & Robandi, 2018).

2.1.2 Pengaruh Penggunaan *Fuzzy Logic Control* pada *Pulse Width Modulation Boost Converter* sebagai Penggerak Motor DC Seri

Pada penelitian ini menampilkan performa motor dc seri dengan menggunakan boost converter sebagai penggeraknya. Boost converter menaikkan tegangan DC dari satu level ke level lainnya. Permasalahan yang terjadi pada gelombang keluaran boost converter adalah transient tegangan keluaran yang muncul pada saat start up. Hal ini tentu akan mempengaruhi performa dari motor dc seri sehingga akan timbulnya overshoot, dan settling time yang lama pada keluaran boost converter maupun performa dari motor dc seri. Gejala transient ini tidak dapat dihilangkan, tetapi dapat diperkecil dampaknya dengan melakukan pengontrolan PWM pada boost converter. Pengontrolan PWM menggunakan *fuzzy logic control* pada proses *Switching* boost converter. *Fuzzy logic control* menggunakan metode Mamdani dengan 2 *input* yaitu *error* ($e(k)$) dan *change in error* ($ce(k)$), serta 1 *output* berupa *dutycycle*. Dari uji coba yang telah dilakukan menggunakan software MATLAB didapat performa motor dc seri open loop nilai overshoot kecepatan 3,96% dengan *ripple* 3,9 rad, overshoot arus *armature* sama dengan arus medan 190% dan *ripple* yang dihasilkan 1,119 A, untuk torsi nilai overshoot 740% dengan *ripple* 0,25 Nm . Nilai overshoot tegangan 99% *ripple* 1,66V. Untuk performa motor dc seri close loop nilai overshoot kecepatan 0 dengan *ripple* 0, overshoot arus *armature* sama dengan arus medan 129% dan *ripple* yang dihasilkan 0, untuk torsi nilai overshoot 428% dengan *ripple* 0. Nilai tegangan overshoot 0,041% *ripple* 0,05 V dan arus keluaran sama dengan arus *armature* dan arus medan memiliki overshoot 129% *ripple* 0 (Siahan, 2018)

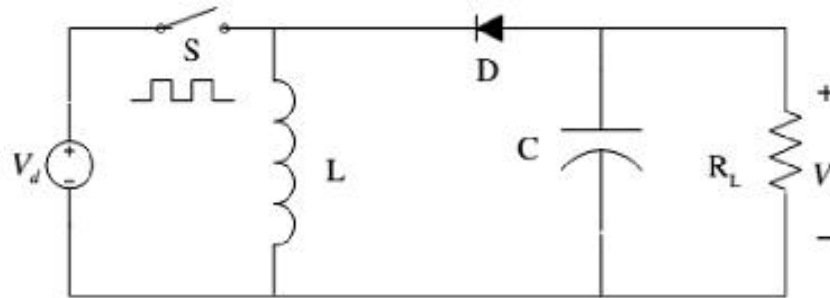
Hasil penelitian terdahulu merupakan upaya peneliti untuk menemukan perbandingan dan selanjutnya untuk menemukan inspirasi baru untuk peneltiain selanjutnya. Selain itu penelitian terdahulu membantu penelitian dapat memposisikan penelitian serta menunjukkan orisinalitas dari penelitian. Maka dalam tinjauan pustaka ini peneliti mencantumkan hasil-hasil penelitian terdahulu.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Konverter *Buck boost*

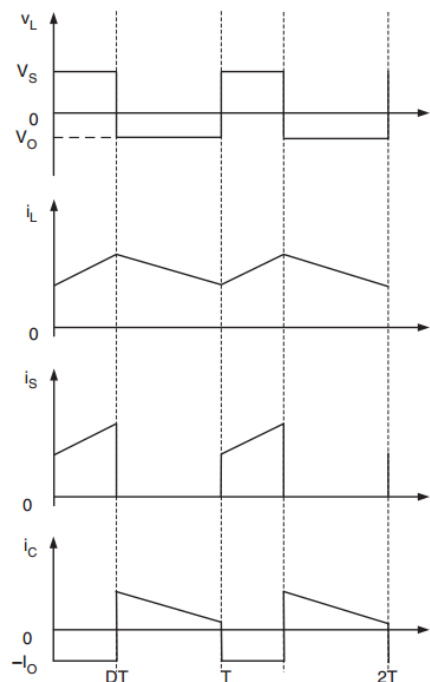
Konverter *Buck boost* merupakan salah satu jenis komponen elektronika daya yang mampu menghasilkan variasi tegangan dengan cara menaikkan dan menurunkan tegangan *inputnya* berdasarkan *Switching* frekuensinya. Konverter ini mempunyai nilai polaritas

tegangan *output* yang berlawanan dengan tegangan *input* nya. Komponen penyusun dari *buck boost converter* terdiri dari transistor (Q), induktor (L), diode (D), dan kapasitor (C) (Hernández-Márquez et al., 2018). Prinsip kerja dari rangkaian *buck boost* konverter terbagi menjadi dua mode, yaitu pada saat kondisi switch ON dan switch OFF. Topologi ini memiliki keuntungan yaitu *ripple* tegangan yang rendah pada sisi *input* maupun *output*, sehingga *Buck boost converter* merupakan topologi yang tepat untuk digunakan dalam aplikasi yang berhubungan dengan motor DC. Berikut merupakan rangkaian dari konverter *Buck boost*.



Gambar 2.1 Rangkaian *Buck boost*

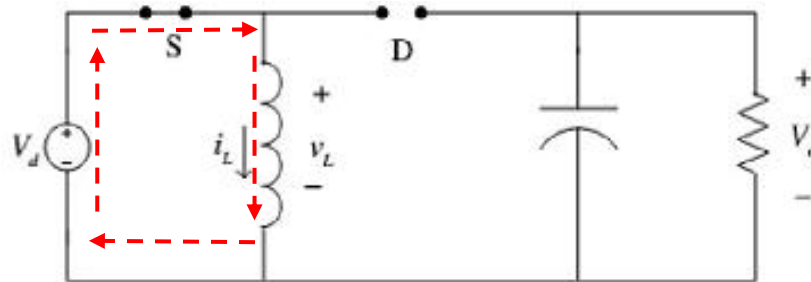
Dalam konverter *Buck boost* terdapat dua mode arus yang mengalir yaitu mode arus kontinu atau *Continuous Current Mode (CCM)* dan mode arus diskontinu atau *Discontinuous Current Mode (DCM)*. Untuk mode arus kontinu (CCM) ditandai dengan arus induktor saat charge dan discharge mengalir secara terus menerus atau tidak pernah bernilai nol. Sedangkan mode arus diskontinu (DCM) ditandai dengan adanya interval arus induktor yang bernilai nol untuk beberapa saat pada saat proses charge dan discharge. Gambar dibawah ini akan membahas tentang mode arus kontinu atau *Continuous Current Mode (CCM)*. Pada kondisi *inverting* nilai tegangan *output* akan memiliki polaritas yang berlawanan dengan tegangan *input*. Hal ini disebabkan oleh catu daya mode aktif dengan menggunakan topologi rangkaian yang hampir sama dengan konverter boost dan konverter buck. Kemudian, untuk tegangan *output* dapat disesuaikan berdasarkan prinsip kerja dari komponen transistor atau mosfet (Rashid, 2014). Berikut merupakan gambar gelombang dan arus pada komponen.



Gambar 2.2 Gelombang Tegangan dan Arus

Dengan menganalisa rangkaian pada kondisi yang steady state kemudian akan dijelaskan pada mode CCM (*Continuous Conduction Mode*). Kondisi ini mempunyai dua mode, untuk mode pertama ketika keadaan switch on kemudian untuk mode yang kedua adalah dengan kondisi switch *off*. Sehingga dari kondisi tersebut didapatkan bentuk gelombang tegangan dan arus dua mode itu dari konverter ketika dioperasikan dapat dilihat pada gambar di atas. Dapat dianalisa untuk lebar periode dari arus induktor bergantung pada frekuensi yang diberikan oleh rangkaian kontrol. Oleh karena itu ketika sakelar terjadi konduksi, sehingga akan menyebabkan charging untuk arus induktor yang terlihat ketika arus induktor akan perlahan naik. Kemudian ketika sakelar pada kondisi switch on akan terjadi discharging pada arus induktor sehingga dapat dilihat arus induktor akan mulai menurun. Besar nilai *duty cycle* akan menentukan waktu sakelar konduksi dan Switch on (Caricchi et al., 1998).

Ketika konverter *buck boost* dalam keadaan *switch off*, diode akan bekerja dalam keadaan reverse bias sehingga arus akan mengalir menuju ke Induktor. Dari kondisi arus yang mengalir pada induktor sehingga akan terjadi charging pada induktor yang menyebabkan arus induktor akan mengalami kenaikan.



Gambar 2.3 Rangkaian Konverter *Buck boost* Ketika *Switch Off*

Dari gambar diatas didapatkan rangkaian ekuivalen dari konverter ketika kondisi sakelar S tertutup. Sehingga ketika sakelar S konduksi didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$di = \Delta I = I_2 - I_1 \quad (2.1)$$

$$dt = t_{on} = t_2 - t_1 \quad (2.2)$$

Dengan menerapkan hukum Kirchoff *Voltage Law*, maka persamaan diatas dapat diturunkan sebagai berikut

$$V_L = V_d \quad (2.3)$$

$$V_d = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.4)$$

$$V_d = L \frac{\Delta I_L}{t_{on}} \quad (2.5)$$

Apabila nilai dari *duty cycle* (D) merupakan rasio antara interval dari waktu sakelar S menyala dan lama waktu periode sistem. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.6)$$

$$t_{on} = D T \quad (2.7)$$

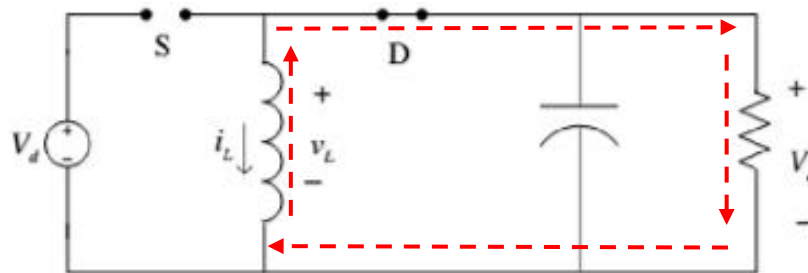
$$t_{off} = (1 - D)T \quad (2.8)$$

Setelah diperoleh persamaan tersebut, maka dapat mensubstitusikan persamaan di atas sehingga persamaan V_d akan mengalami perubahan sebagai berikut:

$$V_d = L \frac{\Delta I_L}{DT} \quad (2.9)$$

$$V_d D = L \frac{\Delta I_L}{T} \quad (2.10)$$

Ketika konverter *buck boost* dengan kondisi switch ON, diode akan bekerja dalam keadaan forward bias sehingga arus yang tersimpan pada induktor akan berapapun dikondisi yang kosong dan selanjutnya akan mengalir menuju ke beban. Arah dari arus yang mengalir dan proses pengisian adalah sama. Kemudian untuk energi yang tersimpan pada induktor akan mengalami keadaan discharging. Oleh karena itu pada konverter *buck boost* dapat menghasilkan tegangan *output* yang nilainya terbalik dengan tegangan *input*. Tegangan *output* yang dihasilkan oleh konverter *buck boost* ini dapat bernilai tinggi ataupun rendah dari tegangan *input* nya. Berikut merupakan gambar dari rangkaian konverter *buck boost* ketika *switch on*:



Gambar 2.4 Rangkaian Konverter *Buck boost* Ketika *Switch on*

Dari gambar di atas didapatkan rangkaian ekuivalen dari konverter ketika kondisi sakelar S terbuka. Sehingga ketika sakelar S padam didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$di = \Delta I = - I_1 - I_2 \quad (2.11)$$

$$dt = t_{off} = t_2 - t_1 \quad (2.12)$$

Dengan menerapkan hukum Kirchoff Voltage Law, maka persamaan di atas dapat diturunkan sebagai berikut:

$$V_L = - V_o \quad (2.13)$$

$$L \frac{diL}{dt} = -V_o \quad (2.14)$$

$$L \frac{\Delta I_L}{t_{off}} = -V_o \quad (2.15)$$

$$L \frac{\Delta I_L}{(1-D)T} = -V_o \quad (2.16)$$

$$L \frac{\Delta I_L}{T} = -(1-D)V_o \quad (2.17)$$

Kemudian dengan menerapkan Volatge Second balance pada Induktor, sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$V_a D = -(1-D)V_o \quad (2.18)$$

$$V_o = -V_a \frac{D}{(1-D)} \quad (2.19)$$

Dari persamaan yang telah didapatkan dapat diartikan bahwa tegangan *output* dari konverter *buck boost* dapat diatur sesuai dengan nilai *duty cycle* nya. Untuk nilai *duty cycle* dimiulasi dari 0 hingga 100 %. Dapat diketahui untuk *duty cycle* yang bernilai 0 maka sakelar S tidak akan terjadi keadaan konduksi. Sedangkan untuk *duty cycle* yang bernilai 100% yang terjadi adalah sakelar S akan ber konduksi. Kemudian ketika nilai *duty cycle* bernilai lebih dari 50 % maka tegangan ouput nilainya akan lebih tinggi daripada tegangan *input*. Sebaliknya jika nilai dari *duty cyle* adalah kurang dari 50% sehingga tegangan *output* akan bernilai lebih rendah daripada tegangan *input*.

2.2.1.1 Penurunan Parameter Komponen

Pada subab ini akan dibahas tentang parameter dari konverter buck boost yang nilai nya perlu ditentukan. Komponen tersebut antara lain nilai dari induktor L, kapasitor C, dan resistor R. Sehingga untuk menentukan nilai dari induktor maka harus ditentukan nilai ripple arus ΔI_L dan kondisi switching sakelar. Berikut merupakan perhitungan dari nilai induktor saat kondisi konduksi:

$$V_a D = L \frac{\Delta I_L}{T} \quad (2.20)$$

$$L = \frac{V_a D}{\Delta I_L f} \quad (2.21)$$

Kemudian dapat ditentukan nilai dari kapasitor pada konverter buck boost menggunakan persamaan tegangan saat keadaan kapasitor discharge. Kondisi discharge pada kapasitor ketika sakelar S dalam keadaan tertutup. Untuk menentukan nilai dari kapasitor

diperlukan penentuan terhadap nilai ripple tegangan ΔV . Dapat diketahui bahwa ripple tegangan merupakan selisih antara tegangan maksimal dan minimal sehingga dapat ditulis atau $\Delta V = V_{max} - V_{min}$. Nilai dari tegangan maksimal didapatkan dari tegangan output ditambah nilai setengah ripple tegangan ($\Delta V/2$), sedangkan nilai dari tegangan minimal dihasilkan dari tegangan output dikurangi dengan ripple tegangan ($\Delta V/2$).

$$V_{max} = V_o + \frac{\Delta V}{2} \quad (2.22)$$

$$V_{min} = V_o - \frac{\Delta V}{2} \quad (2.23)$$

Berikut merupakan persamaan saat kapasitor mengalami discharge:

$$V_{min} = V_{max} \left(e^{-\frac{1}{RC}t_{off}} \right) \quad (2.24)$$

Maka persamaan ripple tegangan (ΔV) dirubah sebagai berikut:

$$\Delta V = V_{max} - V_{min} \quad (2.25)$$

$$\Delta V = V_{max} - V_{max} \left(e^{-\frac{1}{RC}t_{off}} \right) \quad (2.26)$$

$$\Delta V = V_{max} \left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t_{off}} \right) \quad (2.27)$$

Dengan menerapkan deret Taylor sehingga persamaan dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\Delta V = V_{max} \left(\frac{t_{off}}{RC} \right) \quad (2.28)$$

Selanjutnya mensubstitusi persamaan $t_{off} = (1 - D)T$ kedalam persamaan yang dia atas, Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta V = V_{max} \left(\frac{1 - D}{RC} \right) \quad (2.29)$$

$$C = V_{max} \left(\frac{1 - D}{f R \Delta V} \right) \quad (2.30)$$

Kemudian untuk menentukan nilai R, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = \frac{V_o^2}{P_o} \quad (2.31)$$

Dari persamaan diatas dapat diketahui bahwa V_o merupakan tegangan *output* dari konverter, kemudian untuk P_o merupakan daya output dari konverter yang kondisinya dianggap ideal. Maka didapatkan nilai daya *output* P_o sama dengan daya *input* P_o .

2.2.2 Motor DC

Motor DC adalah mesin listrik yang mengubah energi listrik arus se arah menjadi energi mekanik. Pemanfaatan dari motor DC hampir ada di setiap aspek kehidupan sehari-hari, seperti pada mainan, kipas angin, dan penggerak mobil. Motor DC kecil digunakan dalam mainan, peralatan, dan peralatan (Sadiq.A.A, 2013). Sedangkan motor DC yang lebih besar digunakan dalam mobil listrik, sistem propulsi, dan elevator. Dalam skala industri diperlukan pengendalian kecepatan tinggi, keadaan stabil, dan karakteristik kecepatan torsi yang baik terhadap kinerja motor DC. Kecepatan motor DC sangat mudah dikendalikan dibandingkan dengan motor AC. Pengaturan pada motor juga merupakan hal yang sangat penting untuk tujuan industri. Agar performanya maksimal, motor DC harus memiliki kecepatan yang sangat baik, sistem kontrol, dan pengaturan beban yang baik. Keuntungan motor DC adalah mudah dirancang jika dibandingkan dengan motor AC yang berukuran besar dan sangat ekonomis ketika dibutuhkan untuk tenaga yang besar.



Gambar 2.5 Motor DC PG45 100 Watt

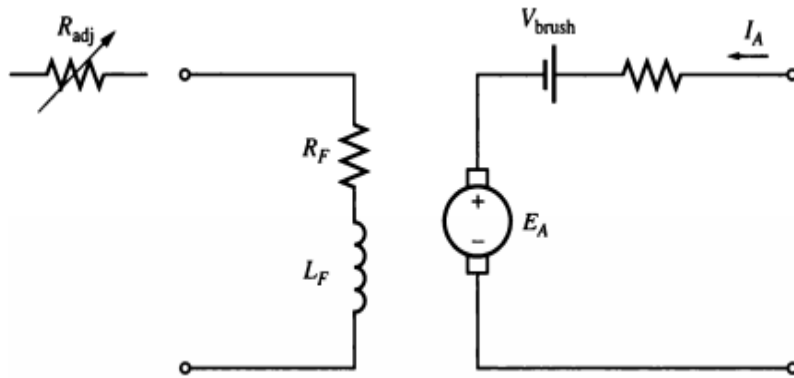
Pada motor DC, terbagi menjadi 2 komponen utama yaitu stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam, sekaligus tempat dari kumparan medan yang berfungsi untuk menghasilkan fluks magnet. Sedangkan rotor merupakan bagian yang berputar dan tempat melekatnya kumparan jangkar serta terdapat komutator dan sikat. Pada prinsipnya motor DC bekerja berdasarkan interaksi antara dua fluks magnetik. Fluks magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan akan dihasilkan pada kumparan medan, sedangkan fluks magnet yang melingkar akan dihasilkan pada kumparan jangkar (S.J.Chapman., 2005). Dari adanya interaksi antara kedua fluks tersebut, akhirnya akan menimbulkan torsi atau disebut momen putar.

Motor dikasifikasikan menjadi beberapa macam, yaitu motor DC penguat terpisah (*separately excited*), Motor DC shunt, Motor DC seri, Motor DC . Untuk motor DC penguat terpisah mendapatkan suplai arus medan dari sumber yang terpisah, sumber arus medan untuk field winding terpisah dari sumber arus medan untuk *armature* winding. Berikutnya pada motor

DC shunt, sumber arus stator dirangkai paralel terhadap arus *armature*-nya (Fitzgerald et al., 2003).

2.2.2.1 Motor DC Penguat Terpisah

Motor DC penguat terpisah merupakan motor yang rangkaian medannya disuplai dari daya tegangan konstan yang terpisah dari suplai. Untuk motor DC penguat terpisah memiliki kelebihan yaitu membangkitkan daya dan kecepatan karena memiliki fluks medan yang dihasilkan oleh kumparan medan, yang letaknya secara terpisah, selain itu motor DC ini juga mempunyai sumber pembangkit tersendiri berupa tegangan DC. Oleh karena itu jenis motor DC ini sangat memungkinkan untuk dapat membangkitkan fluks medan bila dibandingkan dengan motor DC magnet permanen atau jenis lainnya (Taufiq Arif, 2020).



Gambar 2.6 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Penguat Terpisah

Dari rangkaian ekuivalen motor DC diatas didapatkan persamaan yang digunakan untuk menganalisa karakteristik daripada motor DC:

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad (2.32)$$

$$P = \tau \omega \quad (2.33)$$

$$\tau_{\text{ind}} = K \phi I_A \quad (2.34)$$

$$E_A = K \phi \omega \quad (2.35)$$

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} \quad (2.36)$$

$$I_L = I_A \quad (2.37)$$

dimana:

V_T = Tegangan Terminal

E_A = Tegangan Terinduksi

I_A = Arus armature

R_f = Tahanan medan

P = Daya output motor

τ = Torque

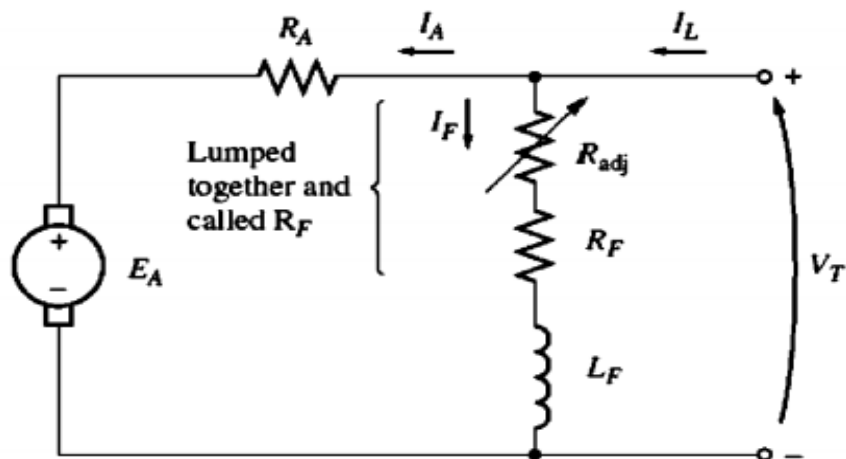
ω = Kecepatan Sudut

ϕ = Fluks

I_L = Arus Beban

2.2.2.2 Motor DC Shunt

Motor dc shunt merupakan motor yang rangkaian medannya mendapat daya langsung terhubung dengan terminal jangkar dari motornya. Pada motor ini lilitan jangkar langsung terhubung secara paralel dengan catu daya yang sama sehingga lilitan medan akan terhubung ke seluruh tegangan terminal. Untuk karakteristik motor DC shunt adalah kecepatannya konstan dan tidak bervariasi dengan beban mekanik pada sisi *output* serta memiliki torque awal yang rendah. Pada Motor DC tipe Shunt ini merupakan jenis motor yang sering digunakan, hal ini dikarenakan memiliki kecepatan yang hampir konstan meskipun terjadi perubahan beban, kecepatan akan berkurang apabila mencapai torsi (*torque*) tertentu (Tapia-Olvera et al., 2016).



Gambar 2.7 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Shunt

Dari rangkaian ekuivalen motor DC diatas didapatkan persamaan yang digunakan untuk menganalisa karakteristik daripada motor DC:

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad (2.38)$$

$$P = \tau \omega \quad (2.39)$$

$$\tau_{\text{ind}} = K \phi I_A \quad (2.40)$$

$$E_A = K \phi \omega \quad (2.41)$$

$$I_f = \frac{V_T}{R_f} \quad (2.42)$$

$$I_L = I_A + I_f \quad (2.43)$$

dimana:

V_T = Tegangan Terminal

E_A = Tegangan Terinduksi

I_A = Arus armature

R_f = Tahanan medan

P = Daya output motor

$\tau = \text{Torque}$

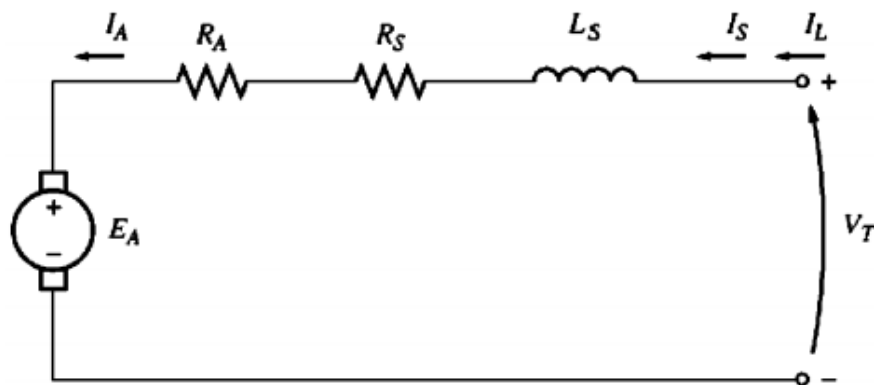
$\omega = \text{Kecepatan Sudut}$

$\phi = \text{Fluks}$

$I_L = \text{Arus Beban}$

2.2.2.3 Motor DC Seri

Motor DC seri adalah sekelompok motor DC self-excited di mana kumparan medan dihubungkan secara seri ke belitan jangkar dan dengan sehingga arus yang mengalir akan lebih tinggi. Prinsip kerja dari Motor DC seri mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berdasarkan prinsip elektromagnetik. Pada motor DC jenis ini, terminal catu daya berada di salah satu ujung kumparan jangkar dan medan. Dengan menerapkan tegangan, daya dimulai di terminal ini dan melewati dinamo dan gulungan medan. Karena konduktor dalam belitan ini sangat besar, sehingga memiliki resistansi minimal. Akibatnya, motor mendapat pasokan daya yang besar dari terminal. Dengan aliran arus besar ini di *armature* dan kumparan medan, medan magnet yang kuat dihasilkan yang menciptakan torsi besar di poros. Torsi yang kuat ini, pada gilirannya, memutar angker dan menghasilkan energi mekanik target. Selanjutnya adapun kekurangan dari motor DC seri yaitu kecepatannya sangat bergantung pada beban, artinya semakin berat bebannya maka semakin rendah kecepatan jangkar motor dan semakin ringan bebannya, kecepatannya akan meningkat. Akibatnya, dengan menghilangkan beban sepenuhnya, motor akan beroperasi sangat cepat sehingga menyebabkan bagian jangkar akan hancur (Muruganandam & Madheswaran, 2009).



Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Seri

Dari rangkaian ekuivalen motor DC diatas didapatkan persamaan yang digunakan untuk menganalisa karakteristik daripada motor DC:

$$V_t = E_a + I_a(R_a + R_s) \quad (2.44)$$

$$P = \tau\omega \quad (2.45)$$

$$\tau_{ind} = K\phi I_A \quad (2.46)$$

$$E_A = K\phi\omega \quad (2.47)$$

$$I_s = I_A \quad (2.48)$$

dimana:

$V_T =$ Tegangan Terminal

$E_A =$ Tegangan Terinduksi

$I_A =$ Arus armature

$R_f =$ Tahanan medan

$P =$ Daya output motor

$\tau =$ Torque

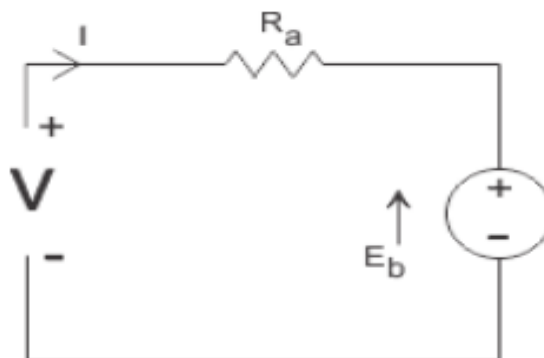
$\omega =$ Kecepatan Sudut

$\phi =$ Fluks

$I_L =$ Arus Beban

2.2.2.4 Motor DC Permanen Magnet

Pada motor DC ini keadaan fluks medan utama dihasilkan oleh magnet permanen sehingga disebut motor DC permanen magnet. Pada motor DC tipe ini, hanya ada satu sumber suplai DC eksternal yang diperlukan, untuk memasok daya listrik ke *armature*. Motor DC permanen magnet merupakan jenis Motor DC yang kutubnya terbuat dari magnet permanen. Pada motor ini memiliki kelebihan dibandingkan dengan motor dc shunt atau jenis lainnya dalam beberapa aplikasi. Karena motor ini tidak memerlukan rangkaian medan eksternal, sehingga tidak memiliki rugi-rugi tembaga pada rangkaian medannya yang membedakannya dengan motor dc jenis lainnya. Konstruksi pada motor DC permanen magnet tidak diperlukan lilitan medan, sehingga ukurannya lebih kecil daripada motor dc shunt atau jenis lainnya (Tir et al., 2017).



Gambar 2.9 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Permanen Magnet

Dari rangkaian ekuivalen motor DC diatas didapatkan persamaan yang digunakan untuk menganalisa karakteristik daripada motor DC:

$$V_t = E_a + I_a R_a \quad (2.49)$$

$$P = \tau \omega \quad (2.50)$$

$$\tau_{ind} = K \phi I_A \quad (2.51)$$

$$E_A = K \phi \omega \quad (2.52)$$

$$I_f = \frac{V_T}{R_f} \quad (2.53)$$

$$I_L = I_A + I_f \quad (2.54)$$

dimana:

V_T = Tegangan Terminal

E_A = Tegangan Terinduksi

I_A = Arus armature

R_f = Tahanan medan

P = Daya output motor

τ = Torque

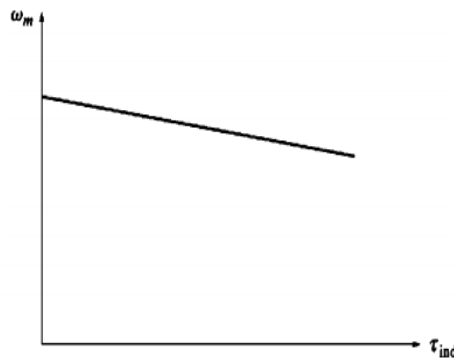
ω = Kecepatan Sudut

ϕ = Fluks

I_L = Arus Beban

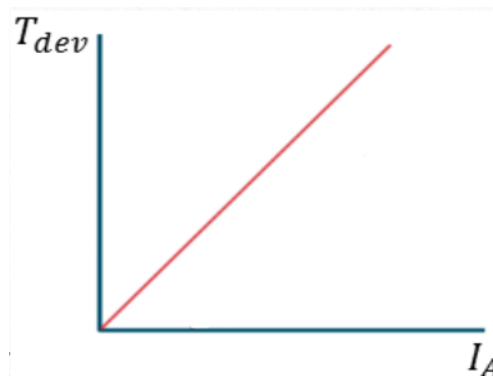
2.2.2.5 Karakteristik Motor DC

Setelah memahami prinsip kerja dari beberapa jenis motor DC, sehingga didapatkan persamaan dari rangkaian ekuivalent pada motor DC. Dari persamaan yang telah ditulih pada subab sebelumnya maka didapatkan karakteristik secara umum pada motor DC.



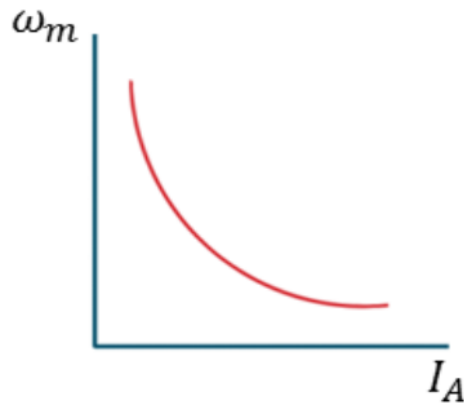
Gambar 2.10 Karakteristik Torque dengan Kecepatan pada Motor DC

Dari grafik karaktersitik diatas dapat dilihat bahwa nilai torque mempengaruhi daripada kecepatan motor DC. Sehingga didapatkan hubungan dari keduanya adalah berbanding terbalik. Ketika Torque nilainya semakin ditambah maka kecepatan akan menurun. Penjelasan tersebut sesuai dengan persamaan yang dutilis pada subab sebelumnya.



Gambar 2.11 Karakteristik Torque dengan Arus medan pada Motor DC

Dari grafik karakteristik diatas diatas dapat dilihat bahwa nilai Torque berbanding lurus dengan Arus medan nya. Jika toque ditambah maka nilai dari arus medan juga ikut meningkat, kondisi tersebut diasumsikan ketika fluks medan konstan karena tegangan suplai konstan.



Gambar 2.12 Karakteristik Kecepatan dengan Arus medan pada Motor DC

Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa nilai kecepatan motor berbanding terbalik dengan Arus medan dengan asumsi bahwa tegangan terminal dijaga tetap atau konstan. Hubungan anantara keduanya juga linier dengan ketika nilai torque semakin tambah maka kecepatan pada motor akan berangsur menurun. Hal tersebut dapat dilihat dengan hubungan antara nilai arus medan dan torque yang berbanding lurus, namun berbanding terbalik dengan kecepatan motor DC.

2.2.2.6 Pengaturan Kecepatan Motor DC

Dalam implementasinya, pada motor DC terdapat beberapa cara untuk mengatur kecepatannya. Pada kecepatan motor DC dapat dipenngaruhi oleh tegangan jangkar, besar dari fluks medan, dan resistansi jangkarnya. Berikut merupakan pengaturan kecepatan pada motor DC:

a. Pengaturan Tegangan Jangkar

Tegangan yang mensuplai jangkar dikkondisikan tanpa mengubah tegangan yang masuk pada medan, sehingga fluks medannya akan tetap konstan. Dalam mengatur kecepatan motor DC, tegangan jangkar harus dinaik atau turun-kan dengan perubahan yang kecil. Oleh karena itu ketika diberikan beban tertentu karena kondisi fluks yang tetap maka terjadi peningkatan pada tegangan jangkarnya, sehingga kecepatan motor akan meningkat. Penjelasan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\omega_m = \frac{V_s - I_A R_A}{K\phi} \quad (2.55)$$

b. Pengaturan Fluks medan

Dengan menyesuaikan nilai dari fluks medan, pengaturan kecepatan ini dapat diterapkan pada motor eksitasi terpisian dan motor shunt. Oleh karena itu, dengan mengasumsikan tegangan suplai yang konstan ketika diberikan beban tertentu sehingga

peningkatan fluks akan menurunkan kecepatan motor. Penjelasan tersebut didasarkan pada persamaan berikut :

$$I_f = \frac{V_T}{R_f} \quad (2.56)$$

c. Pengaturan Resistansi Jangkar

Pada pengaturan kecepatan ini, diketahui bahwa resistor akan dipasang secara seri pada rangkaian jangkar. Kondisi ini dapat diterapkan untuk jenis motor DC penguat terpisah dan shunt. Dengan suplai tegangan yang diberikan pada nilai konstan dan fluks yang tetap ketikadiberikan beban tertentu. Maka peningkatan nilai R_A akan menyebabkan penurunan pada kecepatan motor.

2.2.3 Fuzzy Logic Controller

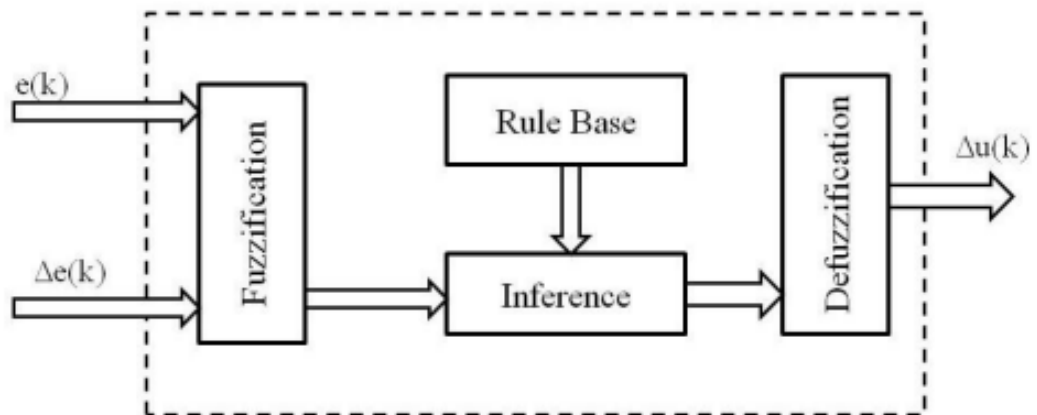
Teori *Fuzzy* pertama kali dikemukakan oleh L.A. Zadeh pada tahun 1965. Zadeh merasa bahwa teori klasik banyak berkonsentrasi pada presisi daripada mekanisme pengendalian yang mudah dan efisien. Tidak seperti himpunan klasik, himpunan *fuzzy* memiliki derajat keanggotaan tertentu untuk setiap elemennya (So et al., 1994). Untuk kebutuhan penalaran seperti pada sistem yang menangani masalah yang sulit didefinisikan, maka logika ini sangat cocok diterapkan. Suatu himpunan *fuzzy* sangat bergantung pada *rule* tertentu, karena *rule* merupakan persyaratan yang penting di dalam logika *fuzzy*.

Prinsip kerja dari logika *fuzzy* diawali dari *input* yang memiliki nilai tegas akan mengalami proses *fuzzyfikasi*, yaitu suatu proses yang mengubah *input* sistem menjadi variable linguistik. Fungsi tersebut akan disimpan dalam basis pengetahuan *fuzzy*. Proses selanjutnya bertujuan untuk mengubah *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* melalui aturan (If-Then) yang sudah ditentukan dalam basis pengetahuan *fuzzy*. Untuk tahap terakhir adalah *fuzzyfikasi*, di mana akan mengubah *output fuzzy* yang diperoleh dari inference menjadi nilai tegas menggunakan suatu fungsi keanggotaan yang sesuai dengan proses *fuzzyfikasi* (Lin & Hua, 1993).

Penerapan logika *fuzzy* memiliki perbedaan dengan logika yang digunakan seperti pada umumnya atau *Boolean*. Karena pada logika yang biasa digunakan hanya beracuan dengan kondisi tegas (*Crisp*), yang artinya adalah “ya” atau “tidak”, bernilai “0” atau bahkan “1” dan “off” serta “on”. Sedangkan untk logika *fuzzy* penerapannya meniru dengan cara berpikir manusia yaitu menggunakan kondisi kesamaan pada suatu nilai yang ditentukan. Oleh karena itu, untuk logika *fuzzy* nilai yang digunakan tidak terpaku pada “0” dan “1”, tetapi menggunakan semua kemungkinan yang terdapat pada nilai “0” dan “1”. Sehingga didapatkan kesederhanaan konsep yang membuat logika *fuzzy* mudah untuk dimengerti. Karena pada dasarnya untuk Logika *fuzzy* tidak beracuan pada suatu keputusan, penerapannya fleksibel sesuai dengan kebutuhan, sehingga dapat memberi nilai toleransi pada ketidakpastian. Berikut merupakan alasan dipilihnya logika *fuzzy*:

1. Penerapan konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti. Sehingga dapat mengubah logika yang sangat sederhana dari konsep yang matematis
2. logika *fuzzy* memiliki sifat yang fleksibel.
3. Pada Logika *fuzzy* dapat menggambarkan fungsi-fungsi linier yang sifatnya lebih kompleks.

Dalam aplikasinya logika *fuzzy* dapat diterapkan dalam berbagai aplikasi dan kegunaan. Salah satu penerapan logika *fuzzy* di industri yaitu sebagai pengontrol kecepatan motor DC. Sehingga konverter *buck boost* dapat mengontrol kecepatan motor DC. Hasil yang didapatkan adalah ketika motor DC diberikan beban bervariasi, maka kecepatannya dapat dijaga konstan atau stabil. Dalam penelitian ini proses menentukan logika *fuzzy* untuk mengontrol konverter *buck boost*, pertama yang akan dibuat adalah membership function atau fungsi keanggotaan. Dengan menentukan parameter *input* dan *output*, yang mana disini diberikan bahwa *input* nya adalah *error* dan *delta error*. Sedangkan untuk *output*-nya adalah *duty cycle*, di mana akan diatur oleh nilai masukan dari *error* dan *delta error*. *Output* dari *duty cycle* yang akan mengatur switch pada *buck boost converter*. Berikut merupakan diagram dari *Fuzzy Logic Controller*:



Gambar 2.13 Diagram *Fuzzy Logic Controller*

2.2.3.1 Proses *Fuzzification*

Pada proses fuzzifikasi untuk nilai variabel *input* crisp akan diubah menjadi label linguistik yang mana kondisi tersebut sesuai dengan membership functions (MFs) yang telah ditentukan. Untuk *input fuzzy* yang menghasilkan keputusan verbal telah melalui proses konversi dari label linguistik. Proses selanjutnya bertujuan untuk mengubah *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* melalui aturan (*If-Then*) yang sudah ditentukan dalam basis pengetahuan *fuzzy*. Untuk tahap terakhir adalah *fuzzyfikasi*, di mana akan mengubah *output fuzzy* yang diperoleh dari inference menjadi nilai tegas menggunakan suatu fungsi keanggotaan yang sesuai dengan proses *fuzzyfikasi*. Untuk penerapan pada konverter *buck boost*, diberikan dua *input* yaitu *error* dan *delta error* yang nantinya menghasilkan satu *output* yaitu *duty cycle* yang digunakan untuk proses *Switching* MOSFET pada rangkaian konverter. Berikut merupakan variabel *input* yang digunakan :

$$Error = V_{ref} - V_{aktual}$$

$$Delta\ Error = Error(t) - Error(t - 1)$$

$$Error(k) = V_{ref} - V(k)$$

$$Delta\ Error = e(k) - e(k - 1)$$

2.2.3.2 Inference Engine

Pada proses ini *inference engine* akan menerima hasil dari perhitungan pada proses fuzzifikasi sehingga dapat menghasilkan sebuah nilai yang nantinya diolah pada variabel linguistic yang beracuan pada fungsi keanggotaan. Untuk fungsi keanggotaan atau membership function yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa anggota anatara lain PB (*positive big*), PS (*positive small*), ZO (*zero*), NS (*negative small*), serta NB (*negative small*). Kemudian untuk fungsi keanggotaan dari *output* nantinya akan ditentukan sesuai dengan aturan *fuzzy* (*rule based fuzzy*). Dalam membuat dan merumuskan aturan *fuzzy* dapat dihitung dan dicari berdasarkan pengalaman dan keahlian dari penulis. Berikut merupakan contoh dari aturan *fuzzy* yang digunakan:

Tabel 2.1 Logika aturan *Fuzzy*

| E/dE | NB | NS | Z | PS | PB |
|------|----|----|----|----|----|
| NB | NB | NB | NB | NS | Z |
| NS | NB | NB | NS | Z | PS |
| Z | NB | NS | Z | PS | PB |
| PS | NS | Z | PS | PB | PB |
| PB | Z | PS | PB | PB | PB |

2.2.3.3 Defuzzification

Proses ini disebut dengan *defuzzification*, dimana hasil luaran dari tahap *inference engine* yang mempunyai bentuk variabel linguistik akan diubah kembali nilainya menjadi numerik (*crisp*). Secara umum proses defuzzification mempunyai dua algoritma yaitu Center of Area (COA) dan Max Criterion Area (MCA). Tetapi yang lebih sering digunakan yaitu proses fuzzification menggunakan algoritma COA dimana algoritma tersebut gabungan dari keseluruhan set *fuzzy*. Berikut merupakan persamaan untuk mencari pusat gravitasi (ΔD)

$$\Delta D = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(\Delta D_j) \times \Delta D_j}{\sum_{j=1}^n \mu(\Delta D_j)} \quad (2.57)$$

Berdasarkan persamaan diatas dapat dihitung untuk hasil luaran logika *fuzzy* dimana perubahan *duty cycle* yaitu $\Delta D(k)$, kemudian dilakukan penyekalan dengan menambah $S\Delta D$. Sehingga dapat menghasilkan nilai actual dari *duty cycle* $D(k)$. Berikut persamaan untuk mendapatkan nilai actual dari *duty cycle*:

$$D(k) = D(k - 1) - S\Delta D \cdot \Delta D(k) \quad (2.58)$$

Dari persamaan diatas didapatkan nilai crisp yang akan digunakan pada rangkaian konverter untuk proses *Swicthing* MOSFET.

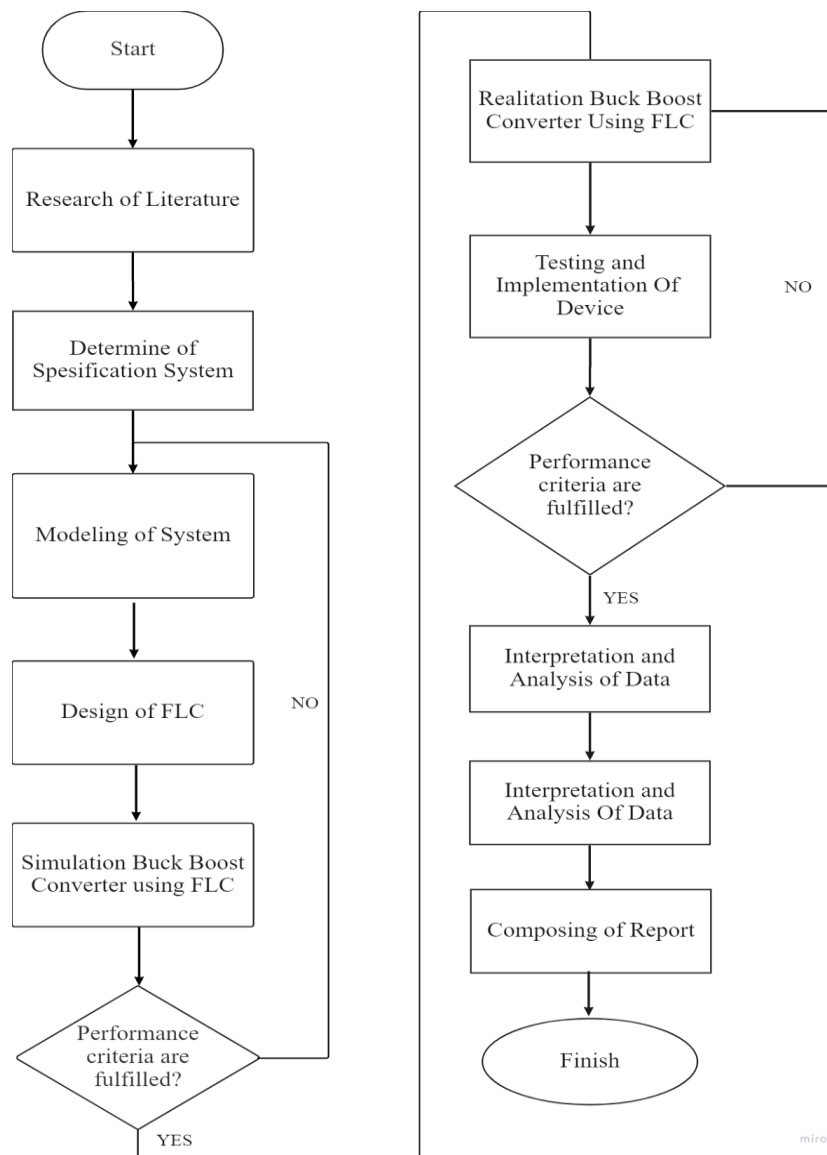
2.2.3.4 Rules

Proses ini digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi dari pengetahuan yang telah ditentukan pada fungsi keanggotaan kemudian digunakan untuk menyelesaikan permasalahan. Dengan memakai aturan *rules* dapat digunakan untuk menunjukkan bentuk pengetahuan dalam bahasa semi natural pada algoritma *fuzzy Rule-Based System*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3 METODOLOGI DAN PEMODELAN SISTEM

Pada bab 3 ini akan membahas mengenai desain, simulasi, dan implementasi dari *buck boost converter* untuk mengontrol kecepatan motor DC dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller*. Dalam proses mendesain akan dilakukan dengan merencanakan dan menentukan nilai dan jenis komponen yang akan digunakan pada proses implementasi berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan. Selanjutnya untuk formula yang digunakan dalam proses perhitungan didapatkan dari penurunan persamaan pada bab 2. Pada proses simulasi menggunakan software MATLAB R2019b dan PSIM 9.1.1 untuk *buck boost converter*. Simulasi dilakukan bertujuan untuk memastikan bahwa rangkaian *buck boost converter* dapat bekerja sesuai dengan perhitungan yang telah dilakukan. Pada simulasi juga diterapkan sistem *open-loop* dan *close-loop* untuk menguji kontrol kecepatan motor DC yang menggunakan metode *Fuzzy Logic Controller*, kemudian hasil dari desain dan simulasi digunakan sebagai acuan implementasi serta pengujian alat. Berikut merupakan diagram alir pada penelitian ini:



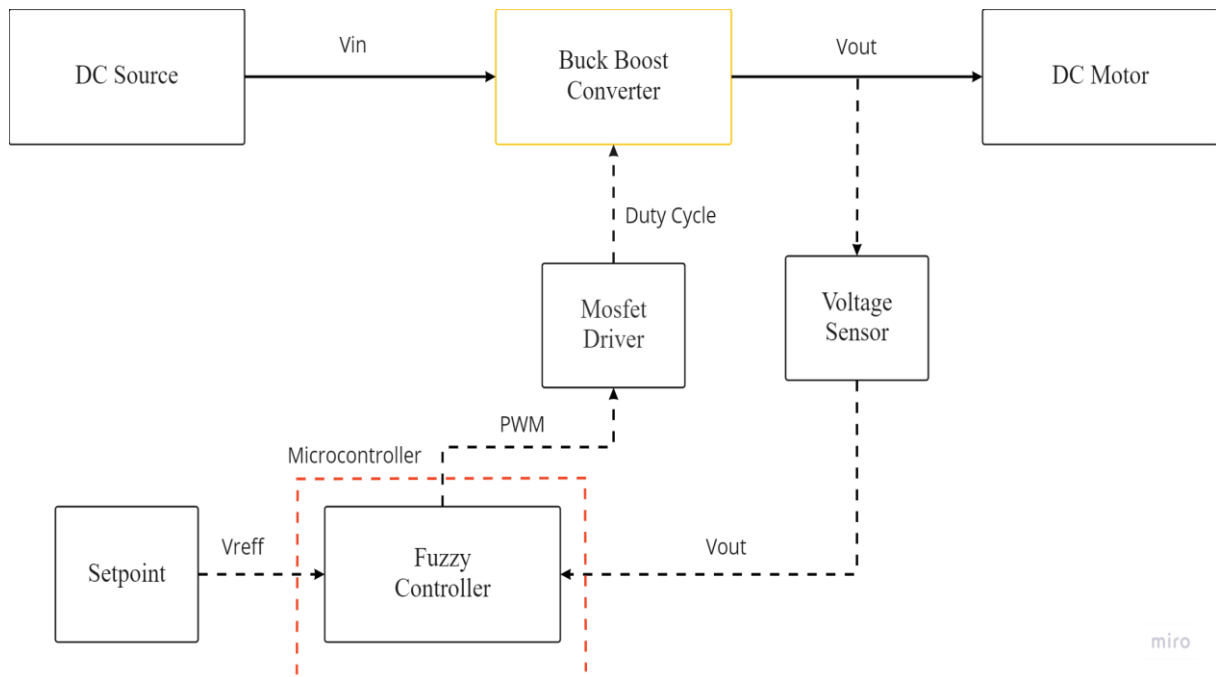
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Permodelan Blok Sistem

Pada penelitian ini terdapat bagian sistem yang bekerja yaitu sistem *buck boost converter* dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller* untuk mengontrol kecepatan motor DC dengan mengubah nilai *duty cycle* sehingga tegangan *output* konverter dan kecepatan motor DC akan ikut berubah. Sedangkan, untuk sistem berikutnya yaitu dengan menjaga tegangan *output* dari *buck boost converter* sehingga kecepatan motor DC akan dijaga tetap ketika diberikan beban yang berubah-ubah.

Sistem *buck boost converter* pada penelitian ini, akan dioperasikan sebagai pengontrol tegangan untuk mengontrol kecepatan motor DC yang dijaga konstan dengan menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller*. Permodelan blok sistem dibawah menunjukkan sistem secara keseluruhan dari konverter sampai dihubungkan dengan motor DC. Tujuan dengan dibuatnya blok diagram ini adalah mempermudah pembacaan sebuah sistem dalam menjalankan fungsinya.

Pada gambar 3.1 dapat diketahui bahwa rangkaian *buck boost converter* menggunakan tegangan DC 22 volt ketika kondisi mode *boost* dan 28 volt ketika kondisi mode *buck* yang akan menjadi *input*. Kemudian dari *input* tersebut akan masuk pada konverter sehingga nanti didapatkan *output* dari konverter adalah 24 volt. Nilai tegangan 24 volt telah disesuaikan dengan *input* tegangan nominal motor DC yang berputar pada kecepatan 480 rpm, nilai kecepatan tersebut telah disesuaikan dengan rating motor DC yang tertera pada datasheet. Selanjutnya terdapat sensor tegangan yang digunakan untuk membaca tegangan dan arus yang keluar dari *buck boost converter* yang kemudian akan dijadikan sebagai pembanding dengan nilai *setpoint* yang telah ditentukan,. Kemudian hasilnya akan menjadi sinyal *error* yang selanjutnya akan diproses oleh mikrontroller yaitu Arduino dan menghasilkan sinyal kontrol yang berbentuk PWM. Selanjutnya dari sinyal PWM tersebut akan dikuatkan nilainya pada driver mosfet agar mosfer dapat melakukan swiching. Berikut merupakan blok diagram sistem pada penelitian ini



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

3.1.1 Metode yang Digunakan

3.1.1.1 Fuzzy Logic Controller

Pada penelitian ini digunakan metode *Fuzzy Logic Controller* untuk mengontrol tegangan *output* dari konverter *buck boost*, sehingga dengan menjaga tegangan *output* maka kecepatan motor DC dapat dijaga secara konstan meskipun dengan beban yang bervariasi. Dalam penelitian ini proses menentukan logika *fuzzy* untuk mengontrol konverter *buck boost*, pertama yang akan dibuat adalah *membership function* atau fungsi keanggotaan. Dengan menentukan parameter *input* dan *output*, yang mana disini diberikan bahwa *input* nya adalah *error* dan *delta error*. Sedangkan untuk *output*-nya adalah *duty cycle*, di mana akan diatur oleh nilai masukan dari *error* dan *delta error*. *Output* dari *duty cycle* yang akan mengatur *switch* pada konverter *buck boost*. Konverter *Buck-boost* pada dasarnya menerapkan logika *fuzzy* yang terdiri dari tiga bagian antara lain *fuzzyfication*, *inference engine* dan *defuzzyfication*. Kegunaan dari *Fuzzy Logic Controller* terhadap konverter *buck boost* yaitu untuk mengatasi ketidaktelitian dan ketidaktentuan nilai tegangan *output* konverter yang mana untuk mengontrol kecepatan dari motor DC. Metode *fuzzy* yang digunakan adalah metode Mamdani karena keluaran dari proses *fuzzy* berupa sebuah angka bukan dalam bentuk persamaan Pada sistem konverter *Buck-boost* menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller* mempunyai 2 *input* yaitu *Error* (E) dan *delta Error* (dE) serta mempunyai 1 *output* yaitu *duty cycle*. *Error* diartikan sebagai perbandingan dari nilai tegangan *output* dari *buck boost* pada setiap waktunya, sedangkan untuk *delta Error* (dE) merupakan perubahan dari *Error* (E) pada setiap waktunya. Untuk *output* dari *duty cycle* digunakan mengatur *Switching* pada MOSFET.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Spesifikasi Motor DC

Untuk kebutuhan desain konverter *buck boost*, sehingga diperlukan spesifikasi atau rating daripada motor DC yang digunakan. Kemudian agar pendesainan dapat sesuai, maka harus melihat parameter yang tercantum pada motor DC. Sesuai dengan datasheet yang tertera pada motor DC PG45, maka dapat ditentukan parameter yang dibutuhkan dalam pendesainan pada tugas akhir ini. Spesifikasi motor DC PG45 yang digunakan dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Motor DC PG45

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|------------------|-----------------------|
| 1. | Jenis | <i>Motor Brush DC</i> |
| 2. | Model | PG45 Series 775 |
| 3. | Kapasitas Motor | 100 watt |
| 4. | Tegangan Nominal | 24 Volt |
| 5. | Rating Arus | 5 Ampere |
| 6. | RPM | 480 \pm 10% |
| 7. | Maximum Torque | 2 Nm |

Kebutuhan desain konverter *buck boost* sangat ditentukan oleh karakteristik tiap – tiap jenis komponen dan beban motor DC yang digunakan. Agar pendesainan dapat sesuai, maka harus melihat parameter yang tercantum pada rating motor DC yang sesuai dengan datasheet maka dapat ditentukan parameter yang dibutuhkan dalam pendesainan pada tugas akhir ini.

3.2.2 Desain Konverter *Buck boost*

Dalam mendesain sebuah konverter *buck boost* ada beberapa hal yang harus ditentukan dan diperhatikan. Langkah pertama yang dilakukan dalam mendesain konverter adalah dengan menentukan parameter elektrik berdasarkan spesifikasi beban dan sumber yang akan digunakan. Parameter elektrik dari konverter yang akan digunakan seperti nilai dari tegangan *input* (V_{in}), tegangan *output* (V_o), frekuensi *Switching* (f_s), daya *output* (P), *ripple* arus induktor (ΔI_L), *ripple* tegangan kapasitor (ΔV_C). Penentuan parameter tersebut harus mempertimbangkan dengan peralatan yang terdapat di pasaran dan peralatan di laboratorium Konversi Energi. Setelah menentukan parameter-parameter komponen yang digunakan maka dapat dijadikan acuan dalam mendesain dan menentukan komponen yang akan digunakan. Untuk Parameter dari rangkaian konverter *buck boost* dapat dilihat pada tabel 3.2

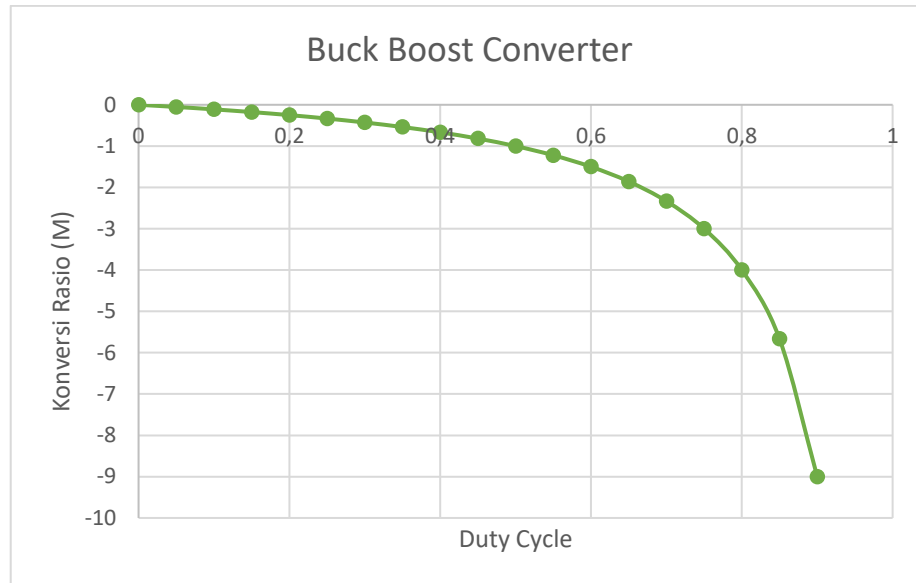
Nilai tegangan keluaran konverter *buck boost* telah ditentukan berdasarkan tegangan nominal yang masuk pada motor DC sebesar 24 Volt. Dengan tegangan nominal tersebut dapat menggerakkan motor DC dengan kecepatan yang dicapai adalah 480 rpm. Kemudian untuk nilai dari *ripple* induktor ditentukan sebesar 5% dengan tujuan agar nilai induktansi dari induktor kecil sehingga tidak mengakibatkan saturasi pada inti induktor. Kemudian nilai tegangan *ripple* kapasitor juga ditentukan sebesar 1% yang disesuaikan dengan komponen yang ada di pasar. Oleh karena itu tegangan *output* dari konverter *buck boost* dapat mendekati stabil untuk menjaga *input* yang masuk ke motor DC. Berikut merupakan spesifikasi dan konverter *buck boost*:

Tabel 3.2 Desain Spesifikasi Konverter *Buck boost*

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|---|-------------------|
| 1. | Daya Output (P) | 120 Watt |
| 2. | Frekuensi <i>Switching</i> (f_s), | 20.000 KHz |
| 3. | <i>Ripple</i> Arus Induktor (ΔI_L) | 5 % |
| 4. | <i>Ripple</i> Tegangan Kapasitor (ΔV_C) | 1 % |
| 5. | Tegangan <i>Input</i> (V_{in}) | 22 Volt & 28 Volt |
| 6. | Tegangan <i>Output</i> (V_o) | 24Volt |

3.2.3 Penentuan Nilai Rasio Konversi dan *Duty cycle*

Dalam pembahasan bab 2 pada persamaan 2.19 nilai dari rasio konversi konverter *buck boost* juga dipengaruhi oleh nilai *duty cycle*. Sehingga nilai keluaran dari konverter *buck boost* berdasarkan *duty cycle*-nya dapat dilihat dari kurva pada gambar 3.3 sebagai berikut:



Gambar 3.3 Grafik Rasio Berdasarkan Nilai *Duty cycle*

Dalam penelitian ini telah ditentukan nilai dari tegangan masukan yaitu 22 Volt dan 28 Volt dan tegangan *output* yang dihasilkan konverter yaitu 24 Volt. Maka besarnya rasio nilai konversinya adalah :

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{22}{28} = 1,09$$

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{24}{28} = 0,86$$

Dapat diketahui bahwa *Duty cycle* merupakan rasio antara interval waktu konduksi sakelar dan lama waktu periode sistem. Sehingga dari kondisi tersebut dapat digunakan untuk menentukan nilai *duty cycle* dengan menggunakan persamaan 2.19. Kemudian agar arus yang mengalir pada induktor tidak pernah bernilai nol maka pada perhitungan ditentukan untuk kondisi konverter dalam keadaan CCM (Continuous Conduction Mode). Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan nilai *duty cycle* dari konverter *buck boost*:

$$V_o = -V_{in} \frac{D}{(1-D)}$$

$$-24 \text{ Volt} = -22 \text{ Volt} \frac{D}{(1-D)}$$

$$\frac{D}{(1-D)} = \frac{-24 \text{ Volt}}{-22 \text{ Volt}}$$

$$\frac{D}{(1-D)} = 1,09$$

$$D = 1,09 - 1,09 D$$

$$D = 0.52$$

$$V_o = -V_{in} \frac{D}{(1-D)}$$

$$-24 \text{ Volt} = -28 \text{ Volt} \frac{D}{(1-D)}$$

$$\frac{D}{(1-D)} = \frac{-24 \text{ Volt}}{-28 \text{ Volt}}$$

$$\frac{D}{(1-D)} = 0,86$$

$$D = 0,86 - 0,86 D$$

$$D = 0.46$$

Dari perhitungan diatas didapatkan nilai *duty cycle* yang diperlukan untuk mendapatkan nilai konversi yang diinginkan yaitu 0,52 dan 0,46 dengan frekuensi 20 kHz. Terdapat dua nilai dari *duty cycle* yang bertujuan untuk mengetahui bahwa konverter dapat bekerja dalam mode buck dan mode boost dalam satu rangkaian. Kemudian dari kedua nilai tersebut akan digunakan untuk membangkitkan sinyal PWM dari mikrokontroler. Komponen mikrokontroler yang digunakan yaitu Arduino Nano. Dengan adanya sinyal PWM ini nantinya akan mengatur saklar semikonduktor yaitu MOSFET, yang berfungsi sebagai swiching dalam rangkaian konverter.

3.2.4 Penentuan Nilai Beban

Pada penelitian ini, nilai beban yang akan digunakan pada simulasi akan ditentukan berdasarkan nilai tegangan *output* dan daya *output*. Besarnya nilai tegangan *output* berdasarkan desain awal adalah 24 Volt dan 120 Watt. Penentuan nilai beban dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.31. Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai beban maksimum adalah

$$R = \frac{V_o^2}{P}$$

$$R = \frac{576^2}{120}$$

$$R = 4,8 \Omega$$

3.2.5 Penentuan Nilai Kapasitor

Dalam rangkaian konverter *buck boost* di penelitian ini menggunakan kapasitor filter tegangan pada sisi *output* konverter. Sehingga untuk menentukan nilai kapasitor harus memperhatikan beberapa hal yaitu tegangan kapasitor dan *ripple* dari tegangan kapasitor yang

telah disesuaikan dengan desain awal yaitu 1%. Kemudian untuk menentukan nilai kapasitor filter tegangan *output* dapat menggunakan persamaan 2.30 saat konverter dalam keadaan CCM (*Continuous Conduction Mode*).

$$C = V_{max} \left(\frac{1 - D}{f R \Delta V_C} \right)$$

Berdasarkan persamaan diatas maka sebelum menentukan nilai kapasitansi kapasitor, sebelumnya harus dihitung terlebih dahulu nilai tegangan maksimal (V_{max}) dengan menggunakan persamaan 2.22 .Berdasarkan persamaan tersebut maka nilai tegangan maksimal adalah :

$$V_{max} = V_o + \left(\frac{\Delta V_C}{2} \right)$$

$$V_{max} = 24 + \left(\frac{(0,01)(24)}{2} \right)$$

$$V_{max} = 24 + (0,12)$$

$$V_{max} = 24,12$$

Sehingga nilai kapasitor berdasarkan persamaan 2.30 adalah :

$$C = V_{max} \left(\frac{1 - D}{f R \Delta V_C} \right)$$

$$C = 24,12 \left(\frac{1 - 0,46}{(20.000) (4,8) (0,1)} \right)$$

$$C = 1352,88 \mu F$$

$$C = V_{max} \left(\frac{1 - D}{f R \Delta V_C} \right)$$

$$C = 24,12 \left(\frac{1 - 0,52}{(20.000) (4,8) (0,1)} \right)$$

$$C = 1201,63 \mu F$$

Dari perhitungan diatas, terdapat dua nilai kapasitor. Sehingga dipilih ukuran yang terbesar yaitu 1352,88 μF dengan mempertimbangkan berbagai losses saat implementasi dan perhitungan tersebut telah disesuaikan dengan konverter saat mode buck dan mode boost. Ketika implementasi, digunakan kapasitor jenis elco (*electrolytic condenser*) pada kapasitor filter tegangan *output* dengan nilai 2000 μF 50 Volt. Dipilihnya kapasitor dengan nilai 2000 μF dikarenakan telah pertimbangan berbagai losses pada saat fase implementasi sehingga dipilih

nilai komponen yang lebih besar dan yang terdapat di pasar. Untuk pemilihan tegangan 50 Volt didasarkan atas nilai tegangan *output* sebesar 24 Volt, sehingga untuk alasan keamanan digunakanlah kapasitor dengan tegangan rating sebesar 50 Volt.

3.2.6 Penentuan Nilai Induktor

Untuk menghitung nilai induktor dapat menggunakan persamaan 2.21 dimana konverter bekerja pada mode CCM (*Current Continuous Mode*) sehingga arus yang mengalir pada induktor tidak pernah bernilai nol. Untuk menentukan nilai induktor sebelumnya harus ditentukan arus yang mengalir pada induktor. Sehingga berdasarkan desain awal, arus yang mengalir pada induktor adalah :

$$I_L = \left(\frac{1}{1-D} \right) I_o$$

$$I_L = \left(\frac{1}{1-0,46} \right) 5$$

$$I_L = 9,29 \text{ Ampere}$$

$$I_L = \left(\frac{1}{1-D} \right) I_o$$

$$I_L = \left(\frac{1}{1-0,52} \right) 5$$

$$I_L = 10,45 \text{ Ampere}$$

Maka *ripple* arus yang mengalir pada induktor berdasarkan desain adalah:

$$\Delta I_L = I_L \times \% \Delta I_L$$

$$\Delta I_L = 9,29 \times 5\%$$

$$\Delta I_L = 0,464 \text{ Ampere}$$

$$\Delta I_L = I_L \times \% \Delta I_L$$

$$\Delta I_L = 10,45 \times 5\%$$

$$\Delta I_L = 0,522 \text{ Ampere}$$

Dengan menggunakan persamaan (2.10) dapat ditentukan nilai induktor yang dibutuhkan sebagai berikut:

$$L \frac{\Delta I_L}{T} = V_{in} (D)$$

$$L = \frac{V_{in} D}{\Delta I_L f}$$

$$L = \frac{28 (0,46)}{(0,464) (20.000)}$$

$$L = 1391 \mu H$$

$$L \frac{\Delta I_L}{T} = V_{in} (D)$$

$$L = \frac{V_{in} D}{\Delta I_L f}$$

$$L = \frac{22 (0,52)}{(0,522) (20.000)}$$

$$L = 1097,92 \mu H$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan dua nilai induktor. Kemudian dipilih yang paling terbesar untuk toleransi saat mode buck dan mode boost dan mempeprtimbangkan dari berbagai losses ketika implementasi, sehingga dipilih nilai induktor yaitu 1391 μH Karena induktor dengan nilai 1391 μH sulit untuk didapatkan di pasaran, maka akan dibuat induktor secara manual menggunakan inti induktor. Pemilihan inti induktor berdasarkan pada jumlah fluks yang mampu ditampung oleh inti sehingga inti induktor tidak mengalami saturasi. Sehingga dipilih inti besi ferrite cores jenis toroid dengan nilai inductance factor AL sebesar 127 nH/T². Persamaan yang digunakan untuk mencari jumlah belitan induktor adalah

$$L = A_L X N^2$$

Dimana N adalah jumlah bilitan kawat, L nilai induktansi induktor dalam nH, dan AL adalah inductance factor dari inti besi (dalam nH/T²), maka jumlah bilitan yang diperlukan dalam pembuatan induktor adalah :

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

$$N = \sqrt{\frac{1.391.000 \text{ nH}}{127 \text{ nH}}}$$

$$N = 104,68 \approx 105 \text{ Lilitan}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan bahwa untuk mendapatkan nilai induktansi sebesar 620 μH pada induktor maka diperlukan sekitar 105 belitan.

Tahap selanjutnya adalah pemilihan kawat email induktor yang digunakan sebagai belitan induktor. Penentuan nilai kawat email berdasarkan dengan nilai frekuensi *Switching* yang digunakan oleh konverter serta besarnya arus yang melewatinya. Nilai frekuensi *Switching* yang digunakan konverter adalah sebesar 20 kHz, berdasarkan perhitungan sebelumnya untuk nilai arus maksimum yang melewati induktor adalah 10,45 Ampere. Sehingga kawat yang digunakan untuk pembuatan induktor adalah jenis AWG (*American Wire Gauge*).

Setelah diketahui parameter frekuensi *Switching* yang digunakan sebesar 20 kHz, maka kawat email yang digunakan untuk induktor harus mampu bekerja pada frekuensi 20 kHz. Sehingga dipilih kawat AWG 23. Berdasarkan parameter arus, kawat email induktor harus mampu menahan arus 10,45 Ampere. Nilai tersebut adalah nilai arus rata – rata yang melewati induktor ditambah desain *ripple* arus pada induktor. Tujuan dipilihnya kawat induktor AWG 12 yang memiliki kapasitas arus lebih besar agar aman saat implementasi. Berikut adalah spesifikasi dari kabel AWG 12 dan AWG 23 dapat dilihat pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Spesifikasi Kabel AWG 10 dan 23

| No. | Parameter | AWG 10 | AWG 23 |
|-----|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| 1. | Diameter | 2,58 mm | 0,57 mm |
| 2. | Resistansi | 0,0032 Ω/m | 0,66 Ω/m |
| 3. | Daya Hantar Arus | 15 A | 0,72 A |
| 4. | Frekuensi Kerja Maksimal | 2,6 kHz | 53 kHz |

Setelah didapatkan spesifikasi dari dua jenis kawat email , sehingga dapat dilannjutkan ke proses pemilinan. Dengan dilakukan pemilinan dari dua jenis kawat ini mempunyai tujuan yaitu untuk menambah kapasitas kawat email sehingga mampu bekerja pada frekuensi maksimal 53 kHz dan arus maksimal 15 A. Untuk menentukan berapa banyak jumlah pilinan maka diperlukan perhitungan pembagian kawat dengan diameter lebih besar dengan kawat dengan diameter yang lebih kecil. Oleh karena itu didapatkan jumlah pilinan untuk induktor yang digunakan adalah 5 kawat email jenis AWG 23.

$$n_L = \frac{d_{AWG\ 10}}{d_{AWG\ 23}}$$

$$n_L = \frac{2,58826}{0,57404}$$

$$n_L = 4,508 \approx 5 \text{ Pilinan}$$

3.2.7 Penentuan Komponen MOSFET

Pada rangkaian konverter *buck boost* menggunakan satu buah MOSFET yang berfungsi sebagai saklar atau *Switching*. Dalam menentukan jenis MOSFET yang digunakan terdapat

beberapa parameter yaitu tegangan yang mampu diterima MOSFET saat keadaan non konduksi atau tegangan *Drain* ke *Source* (V_{DS}) sama dengan (V_{in}) dan arus yang melewati MOSFET saat konduksi atau kapasitas arus yang mengalir pada *Drain* ke *Source* (I_{DS}). Selain menentukan parameter tersebut, pada mosfet harus memperhatikan besar frekuensi yang digunakan. Maka MOSFET yang dipilih diharapkan dapat bekerja pada frekuensi 20 KHz.

Berdasarkan rangkaian dari konverter *buck boost* maka tegangan maksimum yang diterima MOSFET saat nonkonduksi dapat dicari menggunakan persamaan :

$$V_{DS} = \left(\frac{1}{1-D} \right) V_{in}$$

$$V_{DS} = \left(\frac{1}{1-0,52} \right) 22$$

$$V_{DS} = 46 \text{ Volt}$$

$$V_{DS} = \left(\frac{1}{1-D} \right) V_{in}$$

$$V_{DS} = \left(\frac{1}{1-0,46} \right) 28$$

$$V_{DS} = 52 \text{ Volt}$$

Untuk nilai arus I_{DS} yang melewati MOSFET setara dengan arus induktor pada mode charging sehingga dapat ditentukan dengan persamaan:

$$I_{DS} = I_{Lmax} \times D$$

$$I_{DS} = (I_L + (I_L \times \% \Delta I_L)) \times D$$

$$I_{DS} = (10,45 + (10,45 \times 5\%)) \times 0,52$$

$$I_{DS} = 10,97 \times 0,52$$

$$I_{DS} = 4,5 \text{ Ampere}$$

$$I_{DS} = I_{Lmax} \times D$$

$$I_{DS} = (I_L + (I_L \times \% \Delta I_L)) \times D$$

$$I_{DS} = (9,29 + (9,29 \times 5\%)) \times 0,46$$

$$I_{DS} = 9,75 \times 0,46$$

$$I_{DS} = 5,72 \text{ Ampere}$$

Dari perhitungan diatas telah didapatkan parameter V_{DS} dan I_{DS} yang terdiri dari dua nilai yaitu ketika mode buck dan mode boost. Namun dengan pertimbangan untuk toleransi agar komponen aman sehingga dipilih nilai yang paling besar sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam memilih MOSFET. Berdasarkan parameter yang telah didapatkan maka jenis MOSFET yang digunakan pada konverter ini adalah MOSFET dengan tipe IRFP4227. MOSFET ini memiliki kemampuan untuk menahan beda tegangan antara *Drain* dan *Source* atau V_{DS} sebesar 200 V, dengan arus maksimum sebesar 65 A pada saat suhu MOSFET 175 0C. Tegangan yang diberikan gate dan *Source* atau V_{GS} maksimum adalah sebesar ± 30 V. MOSFET ini juga memiliki reverse recovery time sebesar 100 ns dengan frekuensi maksimal mencapai 1 MHz. Berdasarkan nilai tegangan dan arus yang melewati MOSFET masih dibawah spesifikasi MOSFET IRFP4227 sehingga MOSFET ini dapat digunakan pada konverter.

3.2.8 Penentuan Dioda

Dalam menentukan jenis dioda yang digunakan pada konverter berdasarkan dari dua keadaan yaitu saklar konduksi dan non konduksi. Saat sakelar konduksi, dioda dalam keadaan reversed bias sehingga berfungsi menahan tegangan sehingga arus akan mengalir melewati induktor. Sehingga dioda harus mampu menahan tegangan yang lebih besar dari tegangan *input*. Berdasarkan rangkaian dari konverter *buck boost* maka tegangan maksimum yang diterima dioda saat saklar konduksi dapat dicari menggunakan persamaan :

$$V_D = \left(\frac{1}{1-D} \right) V_{in}$$

$$V_D = \left(\frac{1}{1-0,46} \right) 22$$

$$V_D = 46 \text{ Volt}$$

$$V_D = \left(\frac{1}{1-D} \right) V_{in}$$

$$V_D = \left(\frac{1}{1-0,52} \right) 28$$

$$V_D = 52 \text{ Vol}$$

Ketika sakelar non konduksi, dioda berfungsi untuk mengalirkan arus yang tersimpan di induktor, sedangkan untuk menghitung arus yang melewati induktor sebagai berikut :

$$I_D = I_{Lmax} X (1 - D)$$

$$I_D = (I_L + (I_L X \% \Delta I_L)) X (1 - D)$$

$$I_D = (10,45 + (10,45 X 5\%)) X 0,48$$

$$I_D = 10,97 \times 0,48$$

$$I_D = 5,25 \text{ Ampere}$$

$$I_D = I_{Lmax} \times (1 - D)$$

$$I_D = (I_L + (I_L \times \% \Delta I_L)) \times (1 - D)$$

$$I_D = (9,29 + (9,29 \times 5\%)) \times 0,54$$

$$I_D = 9,75 \times 0,54$$

$$I_D = 5,25 \text{ Ampere}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai I_D antara keduanya adalah sama yaitu 5,25 Ampere. Namun untuk nilai V_D ada perbedaan antara mode buck dan boost, yang mana mode buck sebesar 46 Volt sedangkan mode boost sebesar 52 Volt. Sehingga dipilih yang paling besar yaitu 52 Volt. Dengan demikian nilai tegangan lebih dari 52 V dan arus yang melewati dioda sebesar 5,25 A, dan frekuensi *Switching* 20 kHz, maka dipilihlah dioda MUR1560. Dioda ini memiliki kapasitas arus maksimum sebesar 15 A dan tegangan *blocking* sebesar 600 V. Dioda ini merupakan dioda ultrafast *Switching* karena memiliki waktu *recovery time* yang cepat yaitu 60 ns, *recovery time* 60 ns tersebut setara dengan frekuensi *Switching* sebesar 16,7 MHz.

Berdasarkan perhitungan desain yang telah dilakukan serta memperhatikan ketersediaan komponen yang digunakan di pasaran maka komponen yang dibutuhkan dalam implementasi konverter *buck boost* dapat dilihat pada tabel 3.4 dibawah :

Tabel 3.4 Parameter Komponen yang digunakan pada Konverter

| No. | Komponen | Nilai |
|-----|--------------------|-----------------|
| 1. | Resistansi Beban R | 4,8 Ω |
| 2. | Induktor | 1391,72 μ H |
| 3. | Kapasitor Filter | 2000 μ F |
| 4. | MOSFET | IRFP4227 |
| 5. | Dioda | MUR1560 |

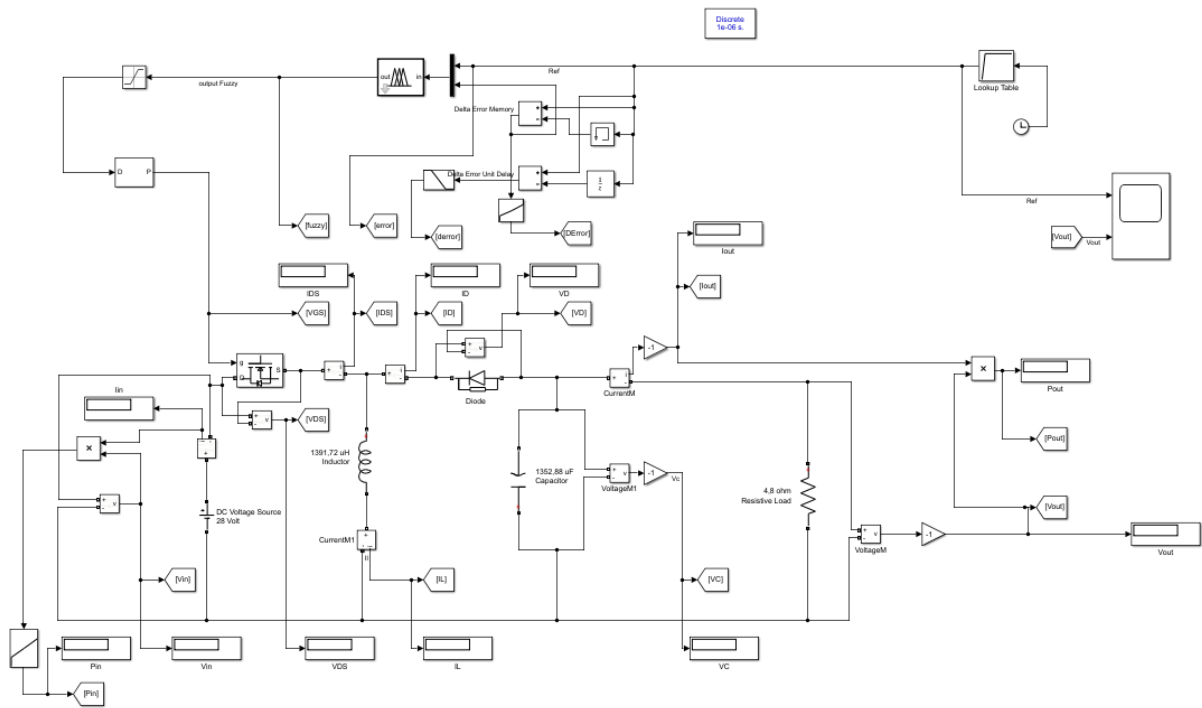
3.3 Simulasi Konverter *Buck boost* dalam Keadaan Steady State

Simulasi rangkaian konverter *buck boost* dilakukan dengan software Matlab R2019B. Simulasi dilakukan yang bertujuan untuk memastikan dan mengetahui bahwa konverter dapat bekerja sesuai desain yang telah dilakukan. Komponen yang digunakan pada simulasi ini

bersifat ideal yang artinya bahwa losses dapat diabaikan. Simulasi yang dilakukan untuk konverter *buck boost* dalam keadaan steady state.

3.3.1 Rangkaian Konverter *Buck boost*

Pada penelitian ini dilakukan simulai dengan Rangkaian konverter *buck boost* memiliki sumber tegangan sebanyak dua yaitu 22 ketika mode boost dan 28 ketika mode buck. yang diatur sesuai dengan desain. Selanjutnya untuk nilai *duty cycle* yang digunakan adalah 0,52 atau 5% dengan cara mengatur tegangan batasan dan tegangan *peak to peak* sinyal segitiga, sehingga nilai tegangan ouput menjadi 24 Volt. Dalam simulasi rangkaian konverter *buck boost* akan digunakan untuk mengamati beberapa gelombang parameter yang digunakan. Adapun gelombang yang diamati adalah gelombang tegangan gate-Source (V_{GS}) pada MOSFET, tegangan *Drain-Source* (V_{DS}) pada MOSFET, arus induktor (I_L), tegangan dioda (V_D), tegangan kapasitor (V_C), tegangan *input* (V_{in}), tegangan *output* (V_o), arus *output* (I_o), arus dioda (I_D), arus mosfet (I_{DS}), daya *input* (P_{in}) dan daya *output* (P_o). Berikut merupakan rangkaian konverter *buck boost* dengan kontrol open loop dapat dilihat pada gambar

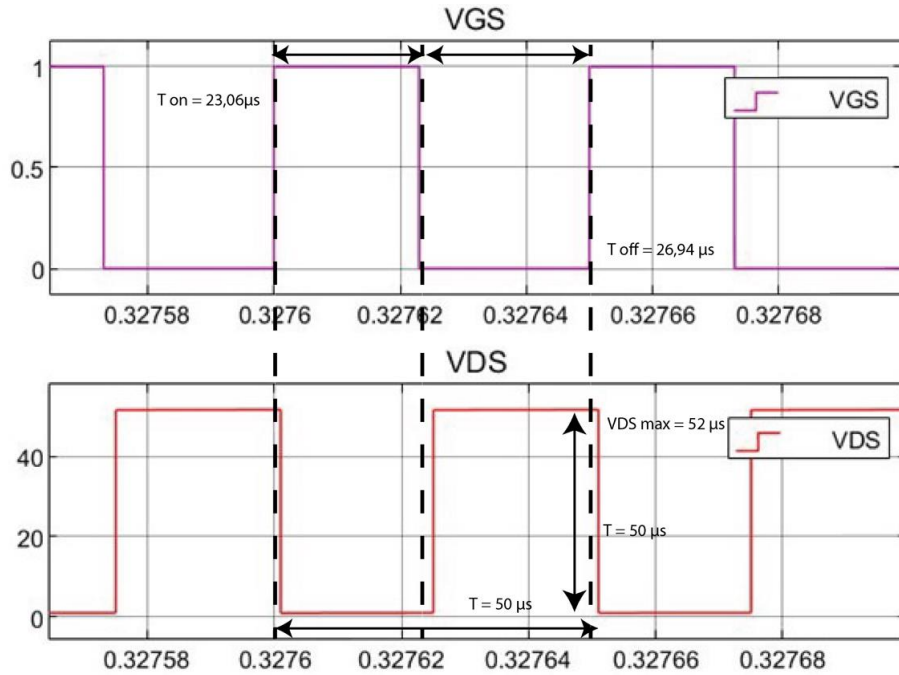


Gambar 3.4 Simulasi Rangkaian Konverter *Buck boost* Steady State

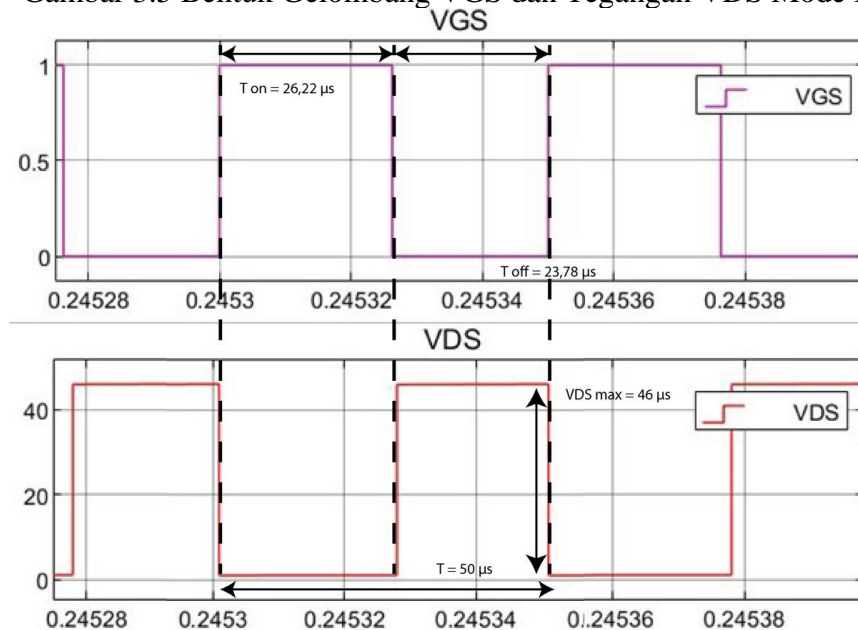
3.3.2 Simulasi Pensaklaran

Setelah dilalukan simulasi, maka didapatkan bentuk gelombang tegangan gate-Source dan tegangan *Drain-Source* pada saat konverter *buck boost* bekerja. Berdasarkan gambar tersebut didapatkan sinyal PWM yang diberikan ke gate-Source (V_{GS}) MOSFET dalam keadaan high, sedangkan tegangan *Drain-Source* (V_{DS}) dalam keadaan low atau nol sehingga arus akan mengalir pada bagian *Drain-Source* MOSFET. Namun sebaliknya ketika sinyal PWM yang diberikan ke gate MOSFET dalam keadaan low, maka tegangan *Drain-Source* (V_{DS}) dalam keadaan high oleh karena itu tidak adanya arus yang mengalir. Selanjutnya mode buck ketika konduksi, hal yang terjadi pada MOSFET akan membuka selama 23,06 μs namun berbeda ketika mode non konduksi, sehingga MOSFET akan menutup selama 26,94 μs . Dengan demikian nilai tersebut sudah sesuai dengan desain dari nilai *duty cycle* 0,46 serta nilai dari

frekuensi *Switching* yaitu 20kHz. Sedangkan untuk mode boost ketika konduksi, hal yang terjadi pada MOSFET akan membuka selama 26,22 μs namun berbeda ketika mode non konduksi, sehingga MOSFET akan menutup selama 23,78 μs . Sehingga nilai tersebut sudah sesuai dengan desain dari nilai *duty cycle* 0,512. Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan nilai tegangan maksimum pada *Drain-Source* ($V_{DS\text{max}}$) sebesar 46 Volt saat mode Buck dan 52 Volt saat mode boost dimana MOSFET dalam keadaan non konduksi. Gambar dibawah menunjukkan bentuk gelombang dari tegangan *Gate-Source* dan tegangan *Drain-Source* dari MOSFET



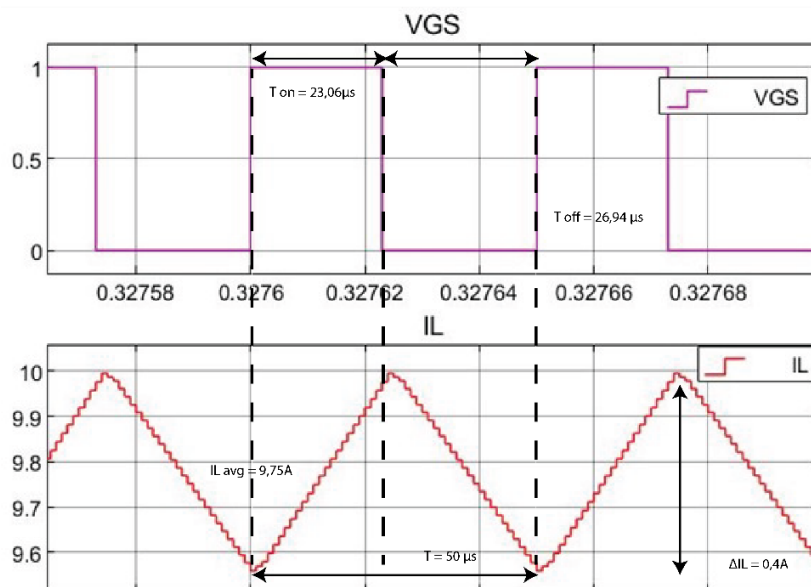
Gambar 3.5 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan VDS Mode Buck



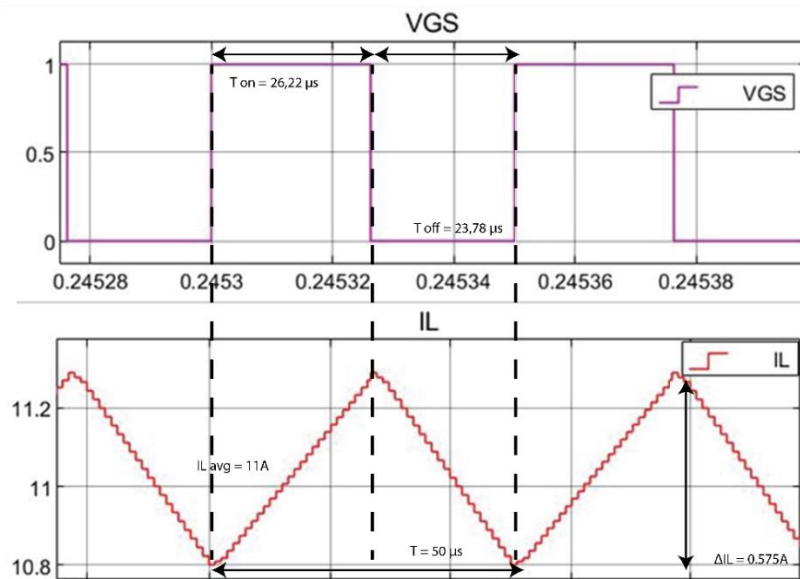
Gambar 3.6 Bentuk Gelombang VGS dan VDS Mode Boost

3.3.3 Simulasi Arus Induktor

Pada subbab ini didapatkan bentuk gelombang dari tegangan gate-Source (V_{GS}) dan arus induktor L. Berdasarkan hasil simulasi didapatkan nilai arus rata – rata induktor L adalah sebesar 9,75 A untuk mode buck dimana nilai *ripple* arusnya 0,4 A dan 11 A untuk mode boost dimana nilai *ripple* arus 0,575 A. Tetapi untuk nilai induktor L dari masing- masing mode tersebut terdapat *error* yang tidak terlalu besar. Selanjutnya dapat dilihat bahwa nilai *ripple* arus pada induktor terdapat perbedaan tetapi tidak terlalu besar dari desain yang telah ditentukan. Berdasarkan data yang didapatkan terdapat *error* yang tidak terlalu besar baik dari nilai induktor L dan *ripple* arusnya, tetapi dari nilai *error* tersebut masih dapat di toleransi. Dari hasil simulasi dapat didapatkan waktu charge induktor adalah sesuai dengan waktu sakelar konduksi ketika mode buck yaitu 23,06 μ s, sedangkan waktu discharge induktor juga sesuai dengan waktu sakelar saat nonkonduksi yaitu 26,94 μ s. Selanjutnya untuk mode boost waktu sakelar konduksi ketika mode buck yaitu 26,22 μ s, sedangkan waktu discharge induktor juga sesuai dengan waktu sakelar saat nonkonduksi yaitu 23,78 μ s. Kemudian ketika MOSFET dalam keadaan konduksi, arus akan melewati induktor sehingga induktor akan menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Sedangkan ketika MOSFET dalam keadaan nonkonduksi, induktor L akan demagnetisasi atau bisa disebut bahwa induktor tidak menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Gambar dibawah menunjukkan bentuk gelombang dari tegangan Gate-Source dari MOSFET dan arus Induktor.



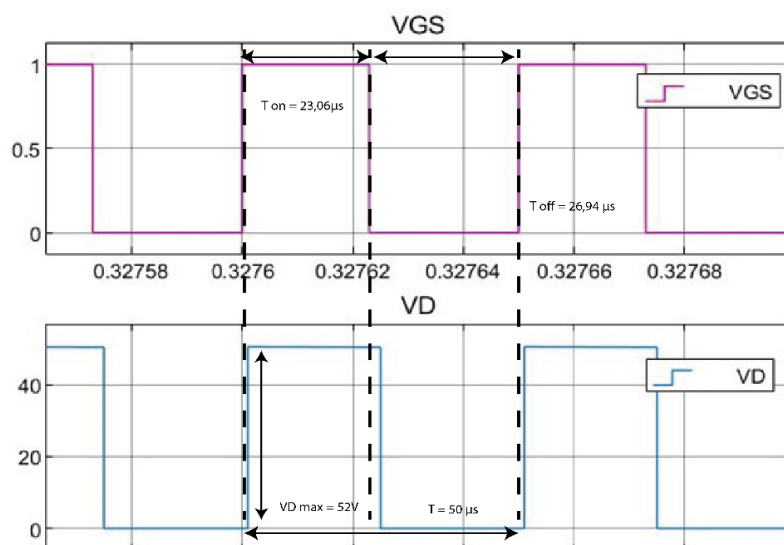
Gambar 3.7 Bentuk Gelombang VGS dan Arus Induktor ketika mode buck



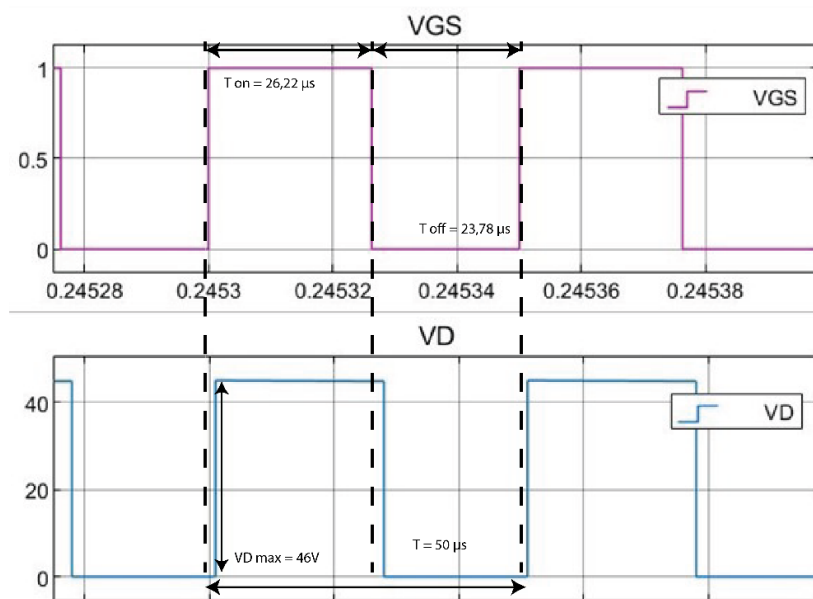
Gambar 3.8 Bentuk Gelombang VGS dan Arus Induktor ketika mode boost

3.3.4 Simulasi Tegangan Dioda

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan didapatkan data bahwa saat saat sakelar konduksi maka dioda dalam keadaan reversed bias sehingga muncul tegangan pada dioda sebesar 52 Volt ketika mode buck dan tegangan diode sebesar 46 Volt ketika mode boost. Lalu sebaliknya saat sakelar nonkonduksi maka dioda dalam keadaan forward bias sehingga arus akan mengalir melalui dioda dan tegangan dioda akan bernilai nol. Waktu dioda ketika mode buck dalam keadaan reversed bias adalah $23,06 \mu s$ sedangkan waktu dioda dalam keadaan forward bias adalah $26,94 \mu s$. Sedangkan Waktu dioda ketika mode boost dalam keadaan reversed bias adalah $26,22 \mu s$ sedangkan waktu dioda dalam keadaan forward bias adalah $23,78 \mu s$. Gambar dibawah menunjukkan bentuk gelombang dari tegangan Gate-Source dari MOSFET dan Tegangan dioda



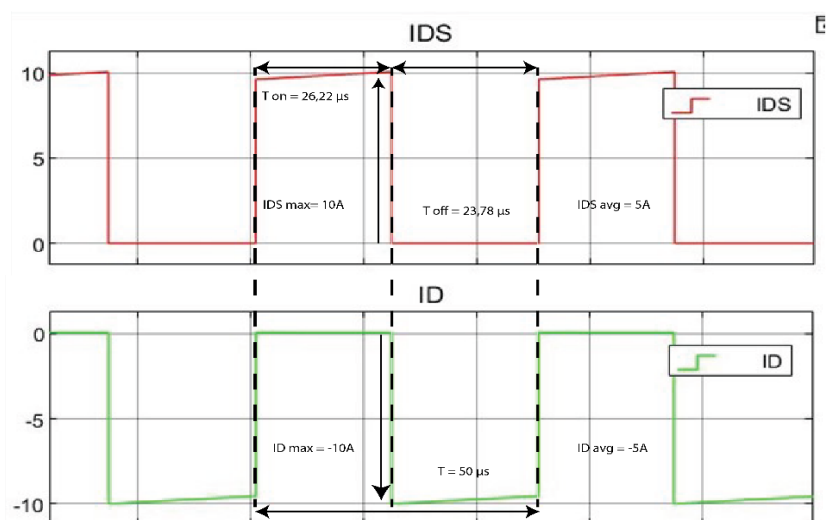
Gambar 3.9 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Dioda ketika mode buck



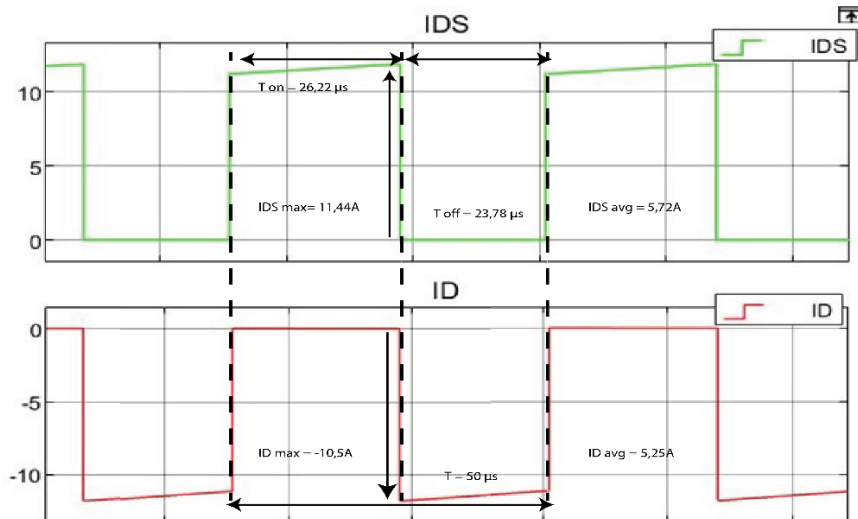
Gambar 3.10 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Dioda ketika mode boost

3.3.5 Simulasi Arus MOSFET dan Dioda

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan didapatkan data bahwa *ripple* arus dan arus maksimum dari kedua komponen sedikit berbeda dari perhitungan yang telah dilakukan, tetapi nilai *error* memiliki nilai yang kecil sehingga masih dalam batas toleransi. Pada simulasi mode buck nilai arus average pada pada MOSFET bernilai 5 A dan pada dioda bernilai -5 A, sedangkan pada mode boost untuk nilai arus average pada MOSFTE bernilai 5,72 A dan pada diode bernilai -5,25 A. Nilai arus dari kedua komponen dapat berkebalikan karena konverter *buck boost* yang digunakan memiliki tipe inverting. Sedangkan untuk nilai arus maksimum ketika mode buck dari MOSFET adalah 10 A dan dioda adalah -10 A. Kemudian untuk linai arus maksimum ketika mode boost dari MOSFET adalah 11,4 A. dan diode adalah -10,55A. Gambar dibawah menunjukkan bentuk gelombang dari arus *Drain-Source* dari MOSFET dan arus dioda.



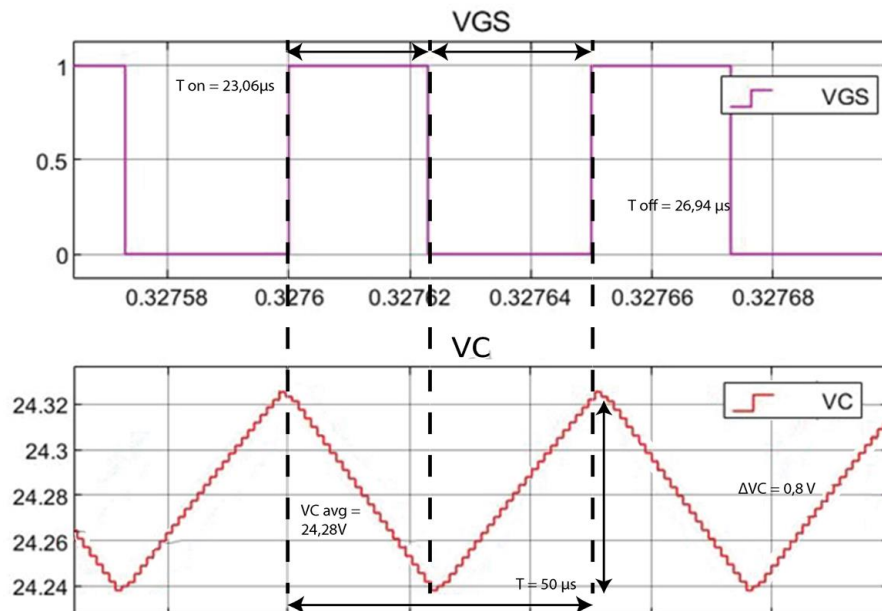
Gambar 3.11 Bentuk Gelombang Arus *Drain-Source* dan Arus Dioda ketika mode Buck



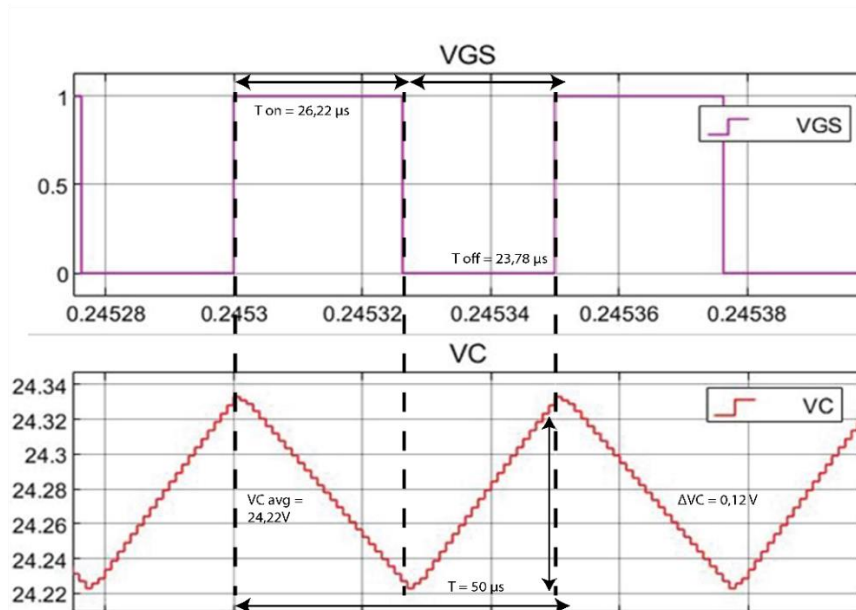
Gambar 3.12 Bentuk Gelombang Arus *Drain-Source* dan Arus Dioda ketika mode Boost

3.3.6 Simulasi Tegangan Kapasitor

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan didapatkan data bahwa tegangan pada kapasitor memiliki nilai tegangan rata-rata yaitu 24,28 V dan *ripple* tegangan 0,8 V ketika mode buck sedangkan untuk tegangan pada kapasitor memiliki tegangan rata-rata yaitu 24,22 V dan *ripple* tegangan 0,12 V ketika mode boost, yang mana nilai *error* memiliki selisih yang kecil sehingga masih dalam batas toleransi sehingga nilai tersebut mendekati dari nilai perhitungan yang telah dibuat. Kemudian dapat dilihat bahwa kapasitor mengalami charging ketika MOSFET non konduksi dan discharge ketika MOSFET konduksi. Gambar dibawah menunjukkan bentuk gelombang dari tegangan kapasitor.



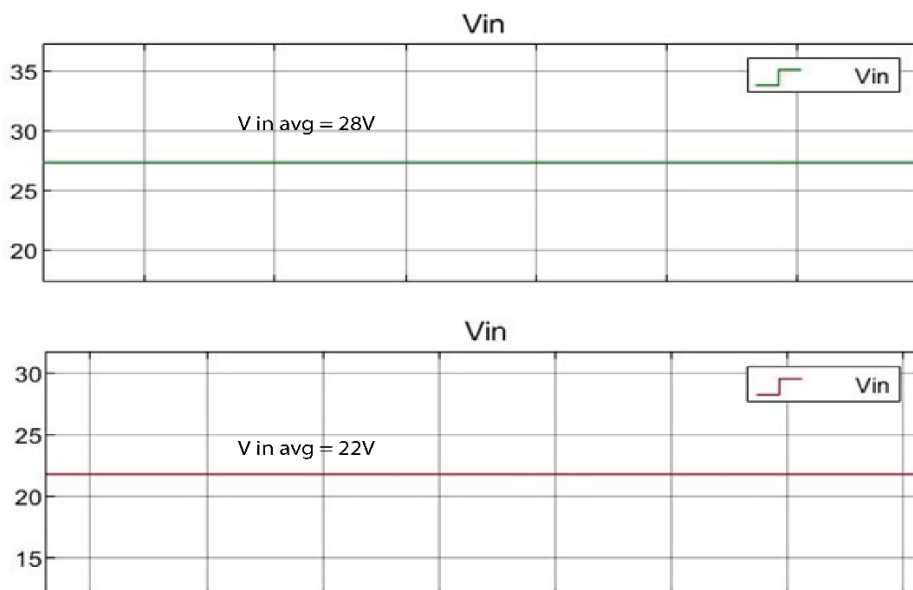
Gambar 3.13 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Kapasitor ketika mode buck



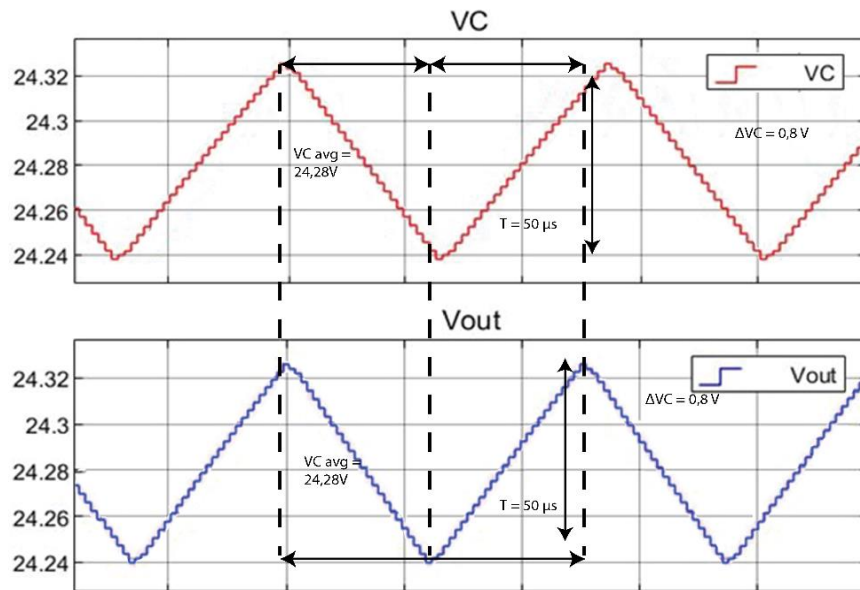
Gambar 3.14 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Kapasitor ketika mode boost

3.3.7 Simulasi Tegangan Output

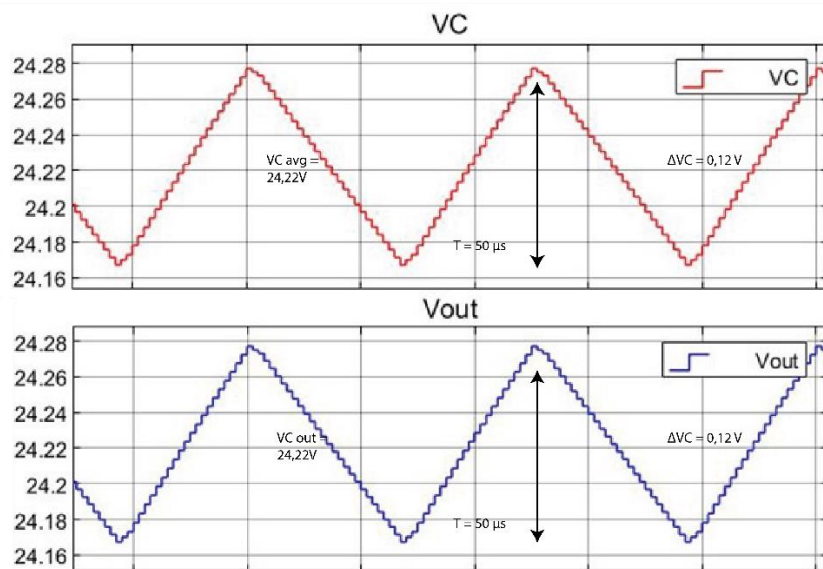
Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan didapatkan data bahwa tegangan kapasitor filter dengan tegangan *output* memiliki *output* yang sama sebab dipasang satu node dengan beban. Dari hasil tersebut sesuai dengan perhitungan dan desain yang dilakukan. Kemudian untuk tegangan *input* disesuaikan dengan mode buck dan boost. Untuk mode buck diberikan tegangan *input* sebesar 28 volt sedangkan untuk mode boost diberikan tegangan *input* sebesar 22 Volt yang mana dari kedua *input* an tersebut akan menghasilkan tegangan *output* dengan nilai tegangan rata – rata sebesar 24,28 V dan *ripple* tegangan 0,8 volt untuk mode buck dan 24,22 V dan *ripple* tegangan 0,12 V. Gambar dibawah ini merupakan bentuk gelombang dari tegangan *input*, tegangan kapasitor dan tegangan *output* saat mode buck dan boost.



Gambar 3.15 Bentuk Gelombang Tegangan Input konverter



Gambar 3.16 Bentuk Gelombang Tegangan Kapasitor dan Tegangan *Output* ketika mode buck

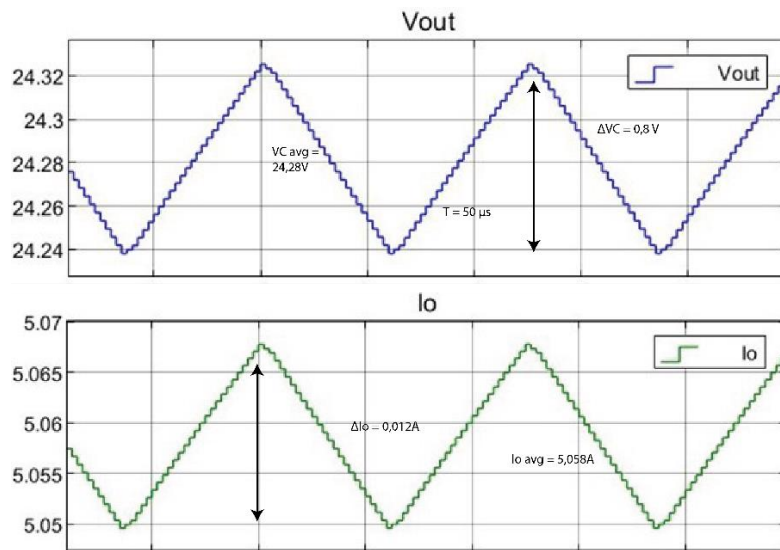


Gambar 3.17 Bentuk Gelombang Tegangan Kapasitor dan Tegangan *Output* ketika mode boost

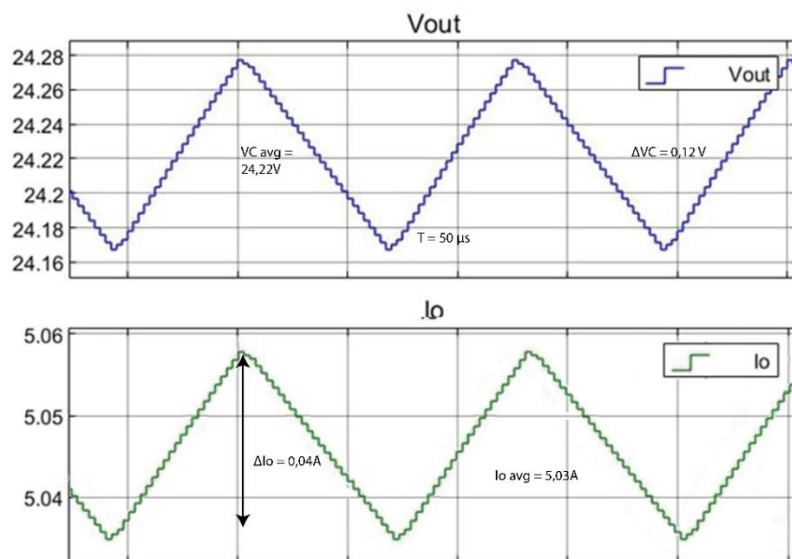
3.3.8 Simulasi Daya *Output*

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan didapatkan data bahwa konverter *buck boost* telah bekerja sesuai dengan desain yang telah dibuat. Dengan didapatkan nilai tegangan *output* sebesar 24,28 volt untuk mode buck dan 24,22 volt untuk mode boost. Dari nilai tersebut terdapat sedikit *error* pada *output buck boost*, dengan seilih hanya 0,2 volt sehingga dari *error* tersebut dapat ditoleransi. Kemudian untuk nilai arus *output* 5,06 ampere untuk mode buck dan boost. Terdapat sedikit *error* untuk nilai arus tersebut, sebesar 0,06 ampere dari desain yang dibuat. Sehingga didapatkan daya *output* rata-rata dari konverter yaitu 122,8 Watt untuk mode buck sedangkan daya *output* rata-rata dari konverter untuk mode boost yaitu 122,2 watt. Dari

nilai tersebut juga terdapat *error*, namun hanya sebesar 2,8 untuk mode buck dan 2,2 untuk mode boost dari desain yang ditentukan sehingga *error* tersebut dapat ditoleransi. Berikut merupakan gambar dari gelombang Tegangan *output* dan Arus *output*.



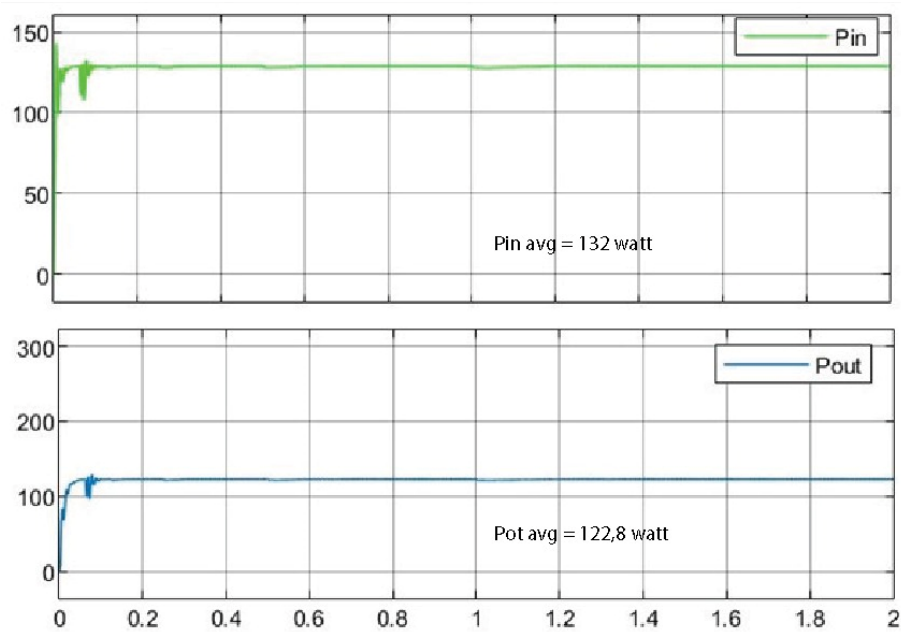
Gambar 3.18 Bentuk Gelombang Tegangan *Output* dan Arus *Output* dari konverter Buck



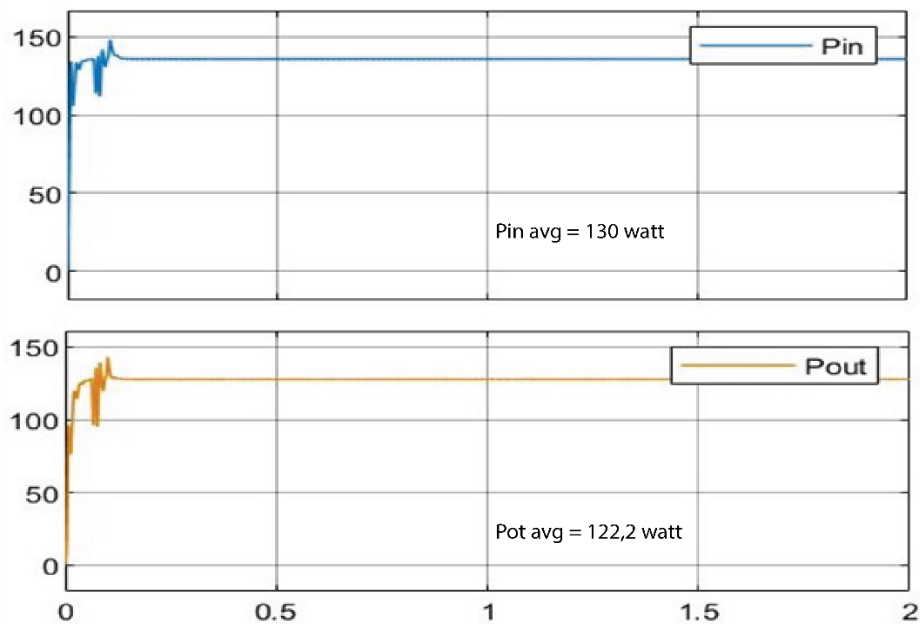
Gambar 3.19 Bentuk Gelombang Tegangan *Output* dan Arus *Output* dari konverter Boost

3.3.9 Simulasi Efisiensi Konverter

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan didapatkan data bahwa konverter *buck boost* ini dapat mengeluarkan daya rata – rata sebesar 122,8 watt untuk mode buck dan 122,2 watt untuk mode boost. Pada sisi *input* untuk mode buck membutuhkan *input* daya sebesar 132 watt sedangkan untuk mode boost membutuhkan *input* daya sebesar 130 watt .Sehingga efisiensi konverter *buck boost* pada simulasi ini adalah 93,03 % ketika mode buck kemudian untuk efisiensi konverter *buck boost* pada simulasi adalah 94 % ketika mode boost.



Gambar 3.20 Bentuk Gelombang Daya *Input* dan Daya *Output* ketika mode buck



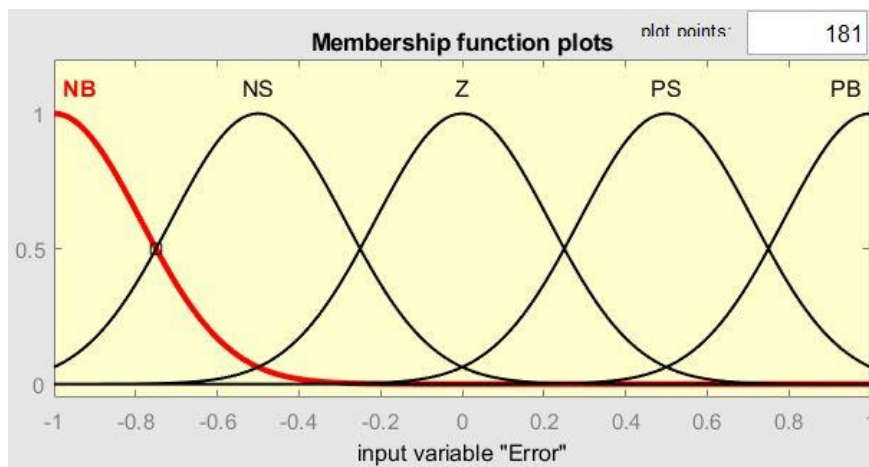
Gambar 3.21 Bentuk Gelombang Daya *Input* dan Daya *Output* ketika mode boost

3.4 Parameter Algoritma *Fuzzy Logic Controller*

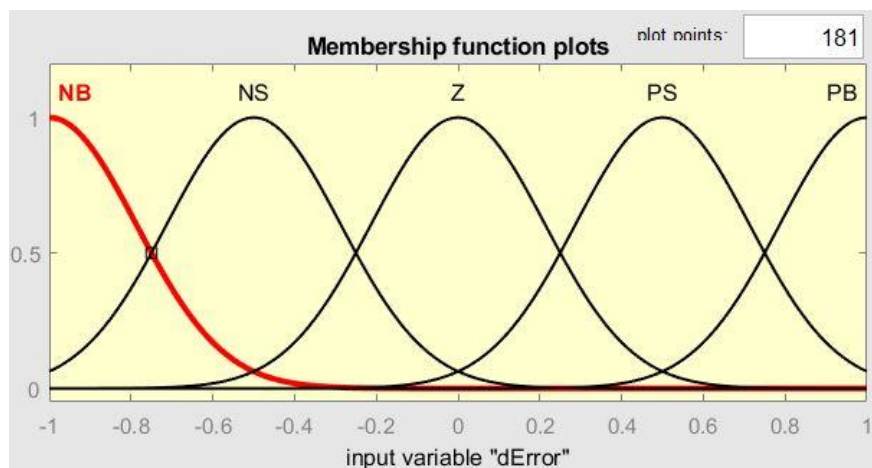
Konverter Buck-boost digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan *output*. Sehingga dari kondisi tersebut dapat digunakan untuk menjaga kecepatan motor DC. Dikarenakan kecepatan motor DC juga dipengaruhi oleh *input* tegangan yang masuk. Oleh karena itu konverter yang dimaksudkan disini untuk menjaga *output* tegangan kemudian berguna untuk mensuplai motor DC, sehingga kecepatan motor DC dapat dijaga stabil meskipun diberikan beban yang bervariasi. Konverter Buck-boost pada dasarnya menerapkan logika *fuzzy* yang terdiri dari tiga bagian antara lain *fuzzyfication*, *inference engine* dan

defuzzification. Kegunaan dari *Fuzzy Logic Controller* terhadap konverter *buck boost* yaitu untuk mengatasi ketidakteelitian dan ketidaktentuan nilai tegangan *output* konverter yang mana untuk mengontrol kecepatan dari motor DC.

Metode *fuzzy* yang digunakan adalah metode Mamdani karena keluaran dari proses *fuzzy* berupa sebuah angka bukan dalam bentuk persamaan. Pada sistem konverter Buck-boost menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller* mempunyai 2 *input* yaitu *Error* (E) dan delta *Error* (dE) serta mempunyai 1 *output* yaitu *duty cycle*. *Error* diartikan sebagai perbandingan dari nilai tegangan *output* dari *buck boost* pada setiap waktunya, sedangkan untuk delta *Error* (dE) merupakan perubahan dari *Error* (E) pada setiap waktunya. Untuk *output* dari *duty cycle* digunakan mengatur *Switching* pada MOSFET. Berikut merupakan gambar dari *input Error* (E), delta *Error* (dE), dan *output Duty cycle* (dDuty).



Gambar 3.22 Membership function *input Error* (E)



Gambar 3.23 Membership function *input delta Error* (dE)

Berdasarkan gambar diatas, dapat dilihat bahwa nilai *input Error* dan delta *Error* adalah -1 hingga 1. Sehingga dari nilai tersebut membentuk interval $[-1,1]$ untuk nilai *Error* dan $[-1,1]$ untuk nilai delta *Error*. Kemudian untuk Fungsi keanggotaan (membership function) terdiri dari lima kondisi yaitu Positive Big (PB), Positive Small (PS), Zero (ZO), Negative Small (NS), dan Negative Big (NB). Fungsi keanggotaan pada *input Error* (E) dan delta *Error* (dE) menggunakan model kurva Gauss.

Berikut merupakan pembagian range dari fungsi keanggotaan untuk *input Error* (E) dan *delta Error* (dE) dengan interval (-1,1)

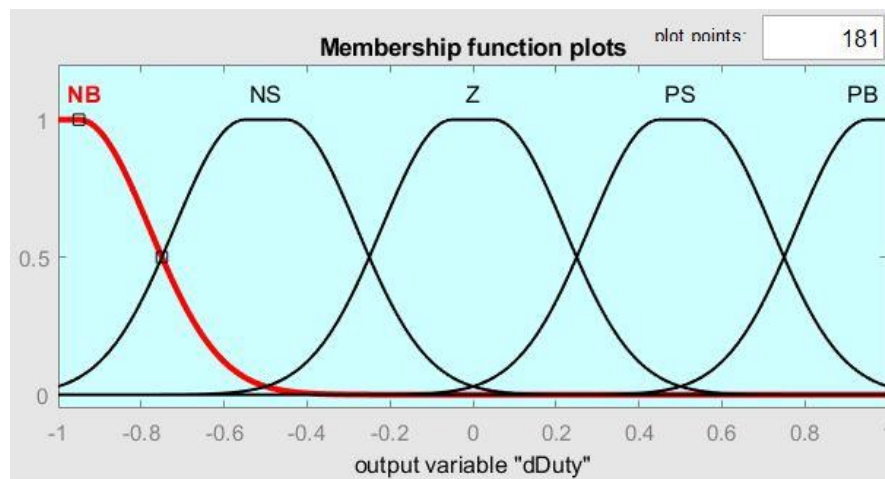
Negative Big (NB) : [0.2124 -1]

Negative Small (NS) : [0.2124 -0.5]

Zero (Z) : [0.2124 0]

Positive Small (PS) : [0.2124 0.5]

Positive Big (PB) : [0.2124 1]



Gambar 3.24 Membership function *output Duty cycle*

Setelah menentukan nilai *input* yang digunakan untuk fungsi keanggotaan *fuzzy*. Berikutnya dapat dilihat bahwa nilai *output* yang digunakan untuk fungsi keanggotaan *fuzzy* adalah *duty cycle* dengan range nilai yaitu -1 hingga 1. Sehingga dari nilai tersebut membentuk interval [-1,1]. Nilai dari *duty cycle* akan digunakan untuk mengatur *Switching* dari MOSFET, sehingga *buck boost* dapat menaik dan menurunkan tegangan ouput sesuai kondisi. Fungsi keanggotaan pada *output duty cycle* menggunakan model kurva lonceng (generalized bell)

Berikut merupakan pembagian range dari fungsi keanggotaan untuk *output duty cycle* (dDuty) dengan interval (-1,1)

Negative Big (NB) : [0.1699 -1.05 0.1699 -0.95]

Negative Small (NS) : [0.1699 -0.55 0.1699 -0.45]

Zero (Z) : [0.1699 -0.05 0.1699 0.05]

Positive Small (PS) : [0.1699 0.45 0.1699 0.55]

Positive Big (PB) : [0.1699 0.95 0.1699 1.05]

Pada penelitian ini, pemilihan bentuk dari fungsi keanggotaan *fuzzy* didasarkan pada pengalaman dan keahlian dari pengguna dalam menggunakan dan mempelajari. Bentuk lonceng dan Gauss dipilih karena disesuaikan dengan kondisi konverter *buck boost* ketika dioperasikan menjadi mode *buck* dan mode *boost*.

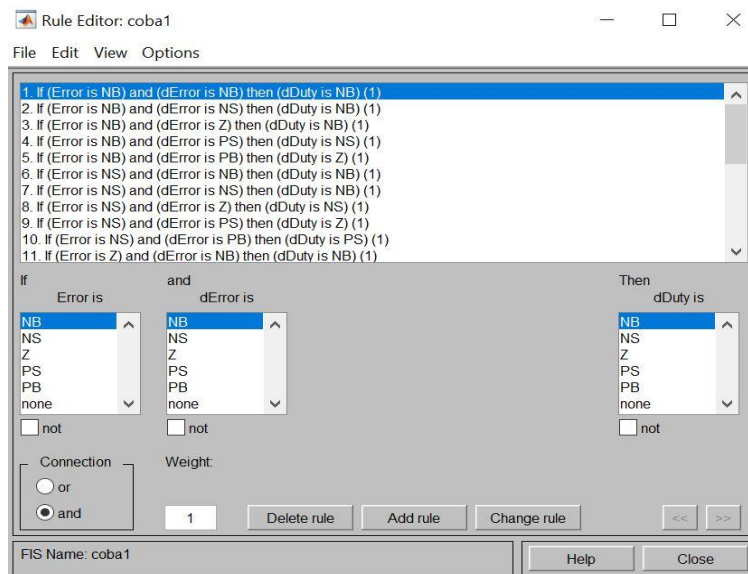
Setelah selesai menentukan *Fuzzyfication*, maka tahapan selanjutnya adalah menentukan aturan *fuzzy* atau disebut dengan *rule based system*. Pada tahapan ini ditentukan *rule* yang berisi aturan yang mendeskripsikan kondisi dari *input fuzzy* yang digunakan. Berikut merupakan table dari *rule fuzzy*.

Tabel 3.5 Rule Tabel Fuzzy

| E/dE | NB | NS | Z | PS | PB |
|------|----|----|----|----|----|
| NB | NB | NB | NB | NS | Z |
| NS | NB | NB | NS | Z | PS |
| Z | NB | NS | Z | PS | PB |
| PS | NS | Z | PS | PB | PB |
| PB | Z | PS | PB | PB | PB |

Berdasarkan dari table diatas, nilai tersebut telah disesuaikan dengan *input* yaitu nilai *Error* dan delta *Error*. Dimana aturan *fuzzy* tersebut disesuaikan dengan kondisi ketika konverter *buck boost* beroperasi mode buck dan mode boost yang berdasarkan pada *output* tegangan konverter. Sehingga nilai *error* dan delta *Erro* akan berpengaruh terhadap perubahan dari *duty cycle* kemudian akan mengatur *Switching* pada MOSFET.

Setelah menentukan logika *fuzzy*, maka dapat diterapkan dalam aplikasi *Fuzzy Logic* pada Matlab 2019B. Berikut merupakan gambar dari *rule editor fuzzy*.



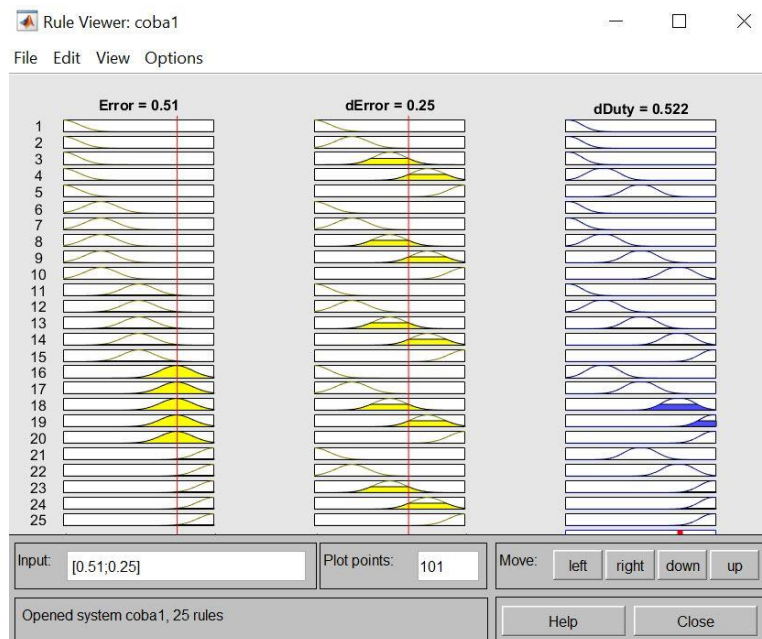
Gambar 3.25 Rule Editor Fuzzy

Untuk melihat logika *fuzzy* sudah benar dapat disimulasikan pada *Rule Viewer Fuzzy*. Hasil yang didapatkan adalah nilai perubahan dari rasio *duty cycle* yang digunakan untuk mengatur *Switching* pada MOSFET.

Dengan dikaitkan pada *rule table* maka didapatkan nilai rasio *duty cycle* sebesar 0,461 dengan nilai *Error* yaitu 0,5 dan nilai delta *Error* yaitu 0,16. Nilai *duty cycle* tersebut akan mengoperasikan konverter pada mode buck. Sedangkan untuk nilai rasio *duty cycle* sebesar 0,522 dengan nilai *Error* yaitu 0,51 dan nilai delta *Error* yaitu 0,25 sehingga konverter akan beroperasi pada mode boost. Nilai *duty cycle* tersebut sudah sesuai dengan desain dan perhitungan.

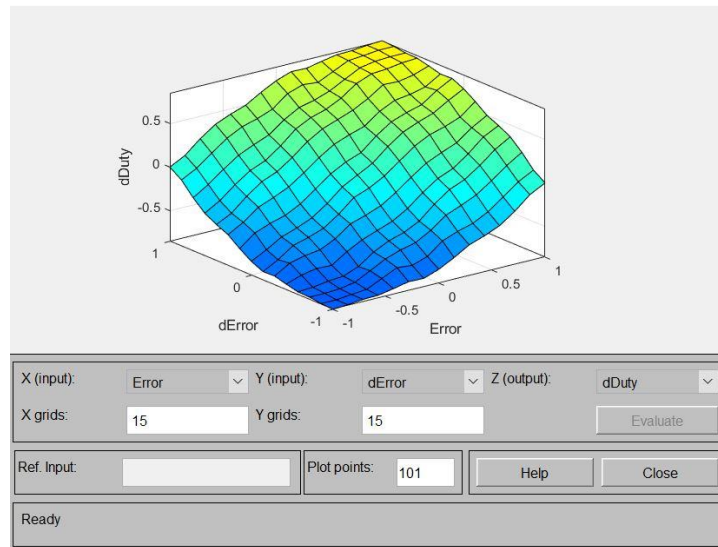


Gambar 3.26 Simulasi *Rule Viewer Fuzzy* ketika mode buck



Gambar 3.27 Simulasi *Rule Viewer Fuzzy* ketika mode boost

Kemudian dari *rule viewer fuzzy* tersebut dapat dilihat untuk *surface* dengan *input* yang telah ditentukan didalamnya. Berikut merupakan gambar dari *Surface viewer fuzzy*.



Gambar 3.28 *Surface rule viewer Fuzzy logic*

3.5 Simulasi Sistem Konverter *Buck boost*

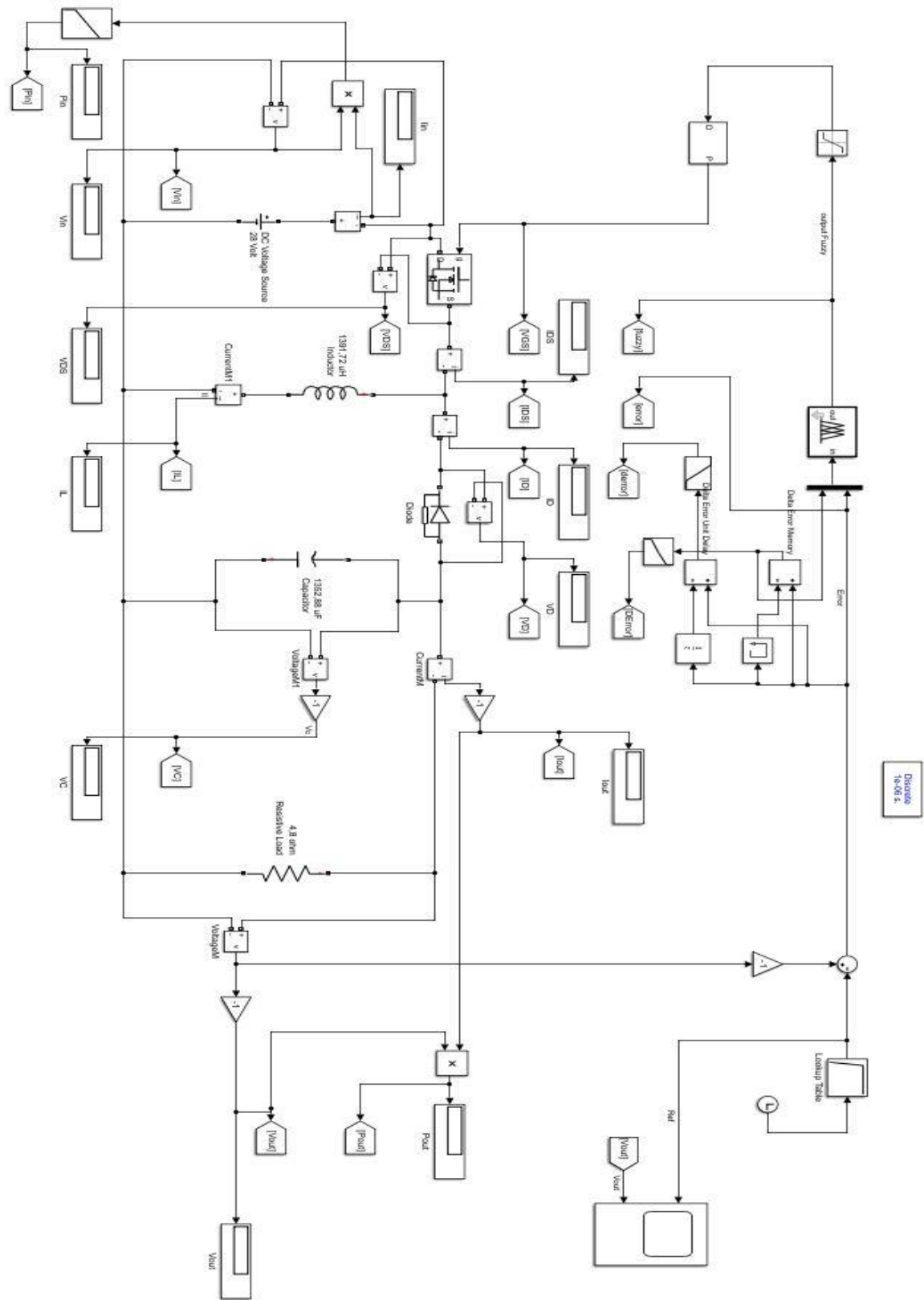
Pada penelitian ini, sistem dari konverter *buck boost* diharapkan mampu menjaga tegangan *output* yang stabil sehingga dapat mempertahankan kecepatan dari motor DC ketika diberikan beban yang berubah-ubah. Karena ketika kondisi nyata, kondisi tegangan yang turun diakibatkan dari pembebanan yang diberikan oleh motor DC. Sehingga penurunan tegangan ini dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain tidak idealnya komponen seperti diode, induktor, kapasitor, dan MOSFET yang digunakan. Oleh karena itu konverter *buck boost* diharapkan mampu menjaga tegangan konstan sehingga dapat mempertahankan kecepatan dari motor DC ketika diberikan beban yang berubah ubah

3.5.1 Simulasi Konverter dengan *Fuzzy Logic Controller*

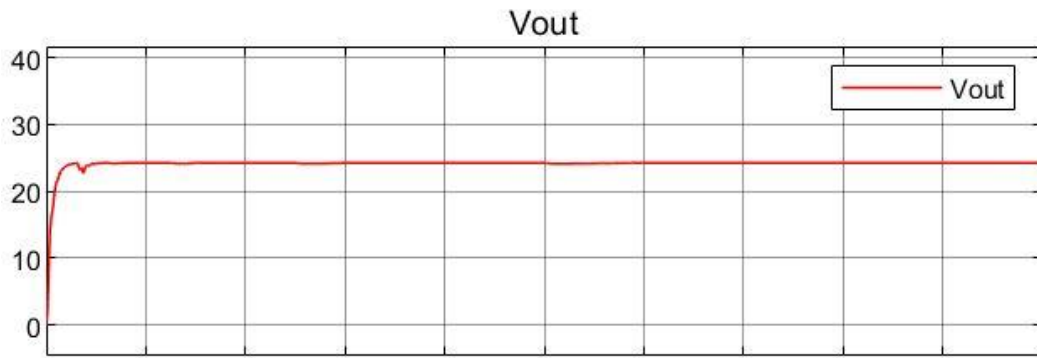
Pada subab ini akan dilakukan simulasi konverter dengan *Fuzzy Logic Controller* dengan pemodelan yang telah dibuat. Untuk simulasi menggunakan software MATLAB 2019B. Sistem yang disimulasikan terdiri dari Konverter *buck boost* dengan menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Controller* serta pembebanan yang telah disesuaikan dari perhitungan. Tujuan dari simulasi ini yaitu untuk melihat *output* dari konverter *buck boost* dan respon dari Algoritma *Fuzzy Logic Controller*.

Ketika sistem sudah disimulasikan , dapat dilihat bahwa *output* dari konverter ketika diberikan beban resistif berdasarkan perhitungan mampu stabil dengan *output* tegangan yaitu 24,28 Volt dan arus *output* yaitu 5,058 A. Nilai tersebut didapatkan ketika konverter *buck boost* dioperasikan pada mode Buck. Dengan nilai tersebut terdapat *error* dari perhitungan untuk tegangan *output* sebesar 1,15 % dan *error* pada arus *output* adalah 1,14 %. Sedangkan untuk konverter *buck boost* ketika beroperasi saat mode boost didapatkan nilai tegangan adalah 24,22 Volt kemudian untuk arus *output* nya adalah 5,03 A. Dengan nilai tersebut terdapat *error* dari perhitungan untuk tegangan *output* sebesar 0,9 % dan *error* pada arus *output* adalah 0,5 %. Sehingga dari sistem tersebut dapat dikatakan bahwa konverter dengan menggunakan algoritma

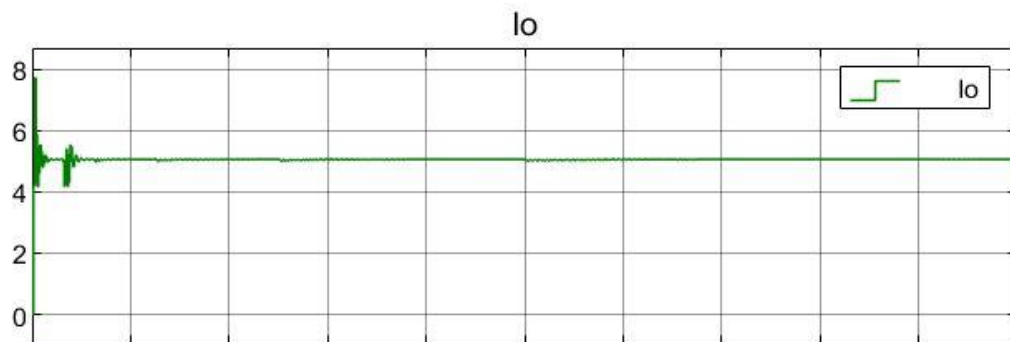
Fuzzy Logic Controller dapat menjaga *output* nya. Apabila dilihat dari *error* perhitungan dan simulasi nilainya tidak terlalu besar, sehingga masih dalam batas toleransi.



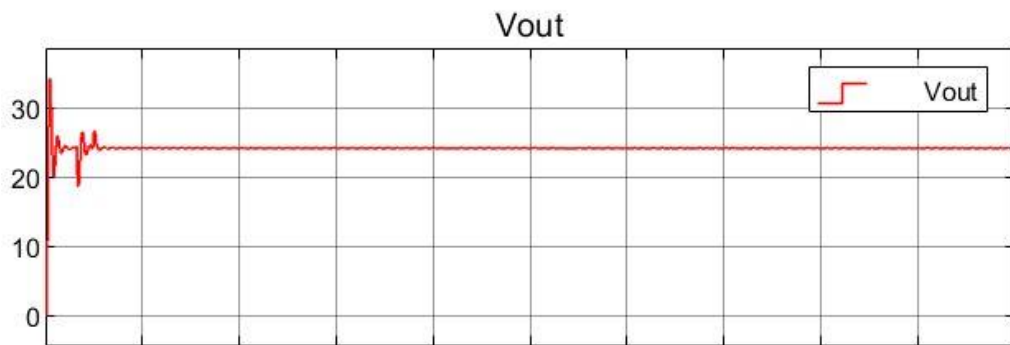
Gambar 3.29 Simulasi sistem *buck boost* konverter dengan FLC



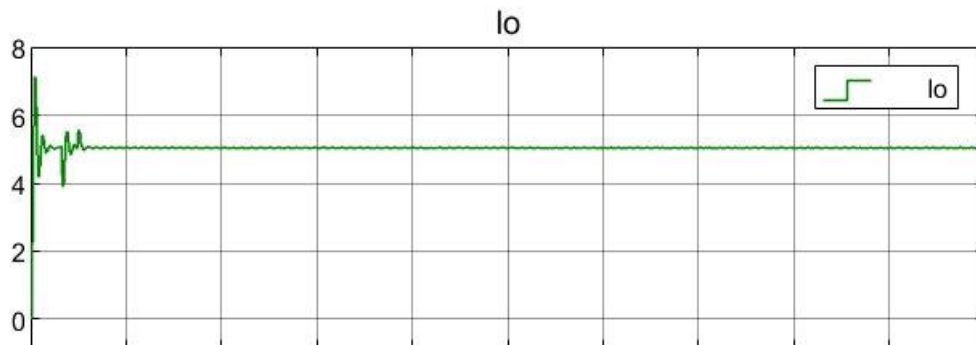
Gambar 3.30 Tegangan *output* ketika konverter mode Buck



Gambar 3.31 Arus *output* ketika konverter mode Buck

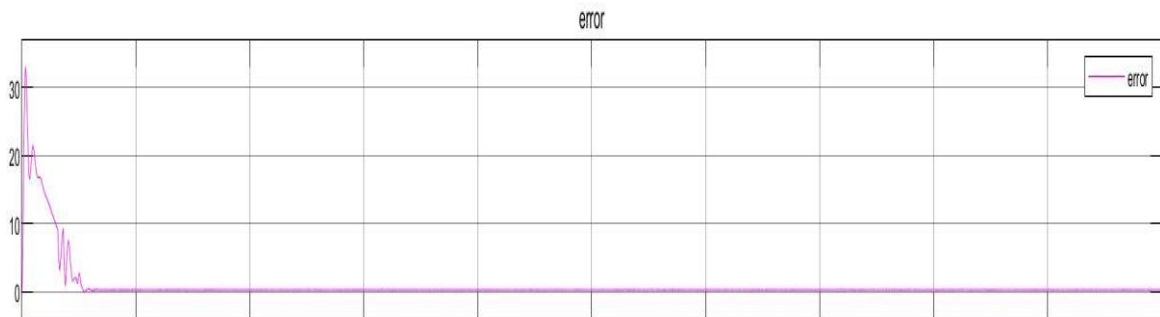


Gambar 3.32 Tegangan *output* ketika konverter mode Boost

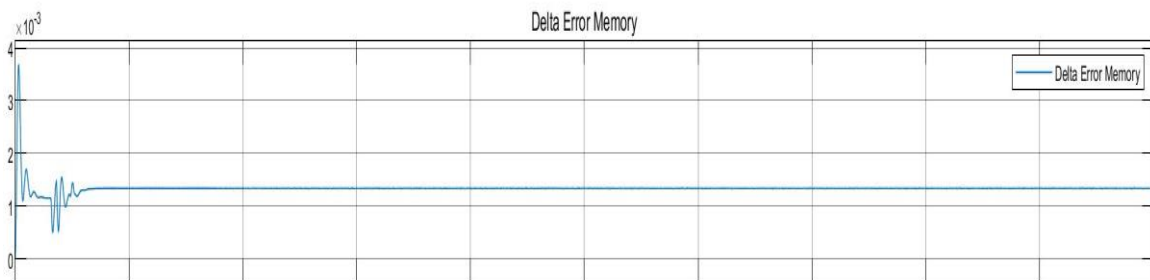


Gambar 3.33 Arus *output* ketika konverter mode Boost

Pada simulasi konverter *buck boost*, juga didapatkan nilai *Error* [E] yaitu mendekati 0 dan untuk nilai delta *Error* [dE] yaitu mendekati 1. Dari data tersebut dapat diketahui bahwa nilai *Error* [E] merupakan selisih antara tegangan referensi yang di inginkan (setpoint) dengan tegangan actual konverter. Sedangkan untuk delta *Error* [dE] merupakan selisih *error* sekarang dengan *error* sebelumnya. Penentuan nilai fungsi keanggotaan pada variabel masukan *error* dan delta *error* dengan melihat respon dari sistem. Semakin besar jumlah fungsi keanggotaan pengaturan kontroler *fuzzy* akan lebih teliti tetapi membutuhkan waktu proses yang lebih lama. Variabel masukan *error* akan bernilai negatif jika nilai tegangan konverter berada diatas nilai setpoint yang diinginkan dan bernilai positif jika nilai dari tegangan konverter dibawah setpoint. Dari hasil tersebut, maka *input* an dari *fuzzy* telah sesuai dengan desain yang telah dibuat.



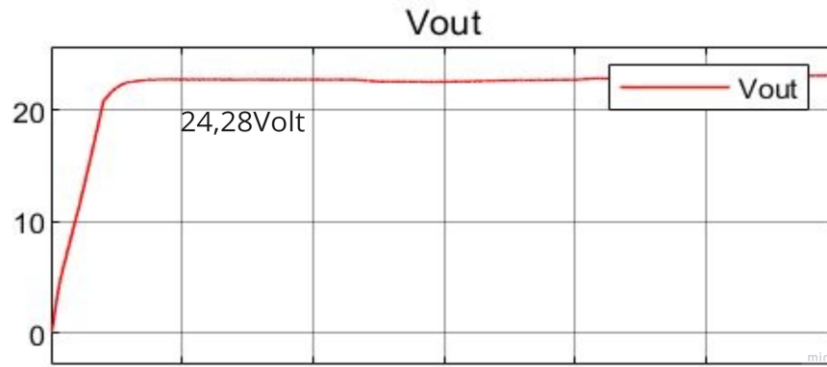
Gambar 3.34 Hasil nilai *Error* [E] pada *Fuzzy Logic Controller*



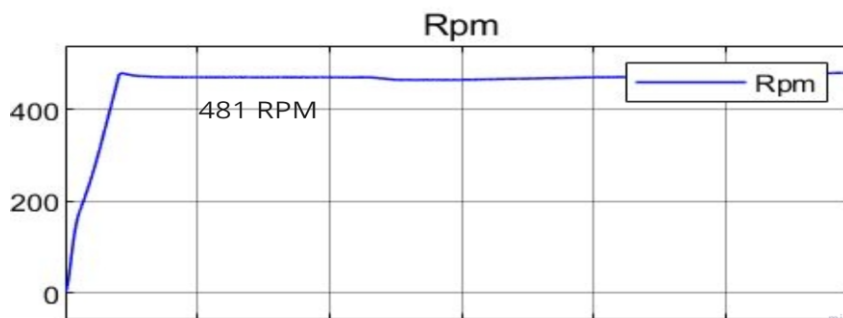
Gambar 3.35 Hasil nilai delta *Error* [dE] pada *Fuzzy Logic Controller*

3.5.2 Simulasi Konverter dengan Motor tanpa Beban

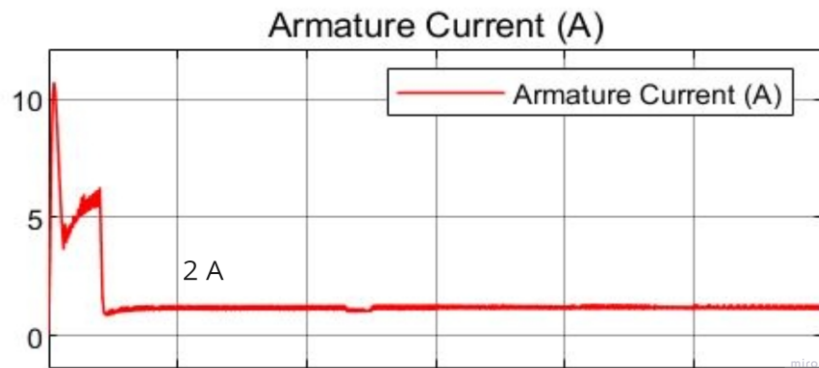
Pada subab ini dilakukan simulasi konverter *buck boost* dengan motor tanpa beban. Tujuan dari simulasi tersebut yaitu untuk mengetahui ketika tegangan *output* dari *buck boost* akan mempengaruhi kecepatan dari motor DC. Ketika sistem telah disimulasikan, didapatkan data ketika konverter dioperasikan pada mode buck menghasilkan tegangan *output* 24,28 Volt Sehingga didapatkan kecepatan pada motor DC sebesar 481 RPM. Sedangkan untuk mode boost dengan tegangan *output* yaitu 24,22 didapatkan kecepatan motor DC sebesar 480 RPM. Kemudian untuk arus rata-rata *armature* pada simulasi tersebut didapatkan nilai sebesar 2 A untuk mode buck dan didapatkan nilai sebesar 1,8 A untuk mode boost Hasil dari kecepatan ini sesuai dengan desain dan spesifikasi dari motor DC. Kemudian hubungan dari tegangan *output* dan kecepatan motor DC adalah berbanding lurus. Tegangan *output* konverter nilainya sama dengan tegangan *input* motor. Sesuai dengan teori bahwa tegangan *armature* berbanding lurus dengan kecepatan motor. Sehingga dari hasil simulasi tersebut sudah sesuai dan membuktikan bahwa tegangan *armature* mempengaruhi dan linier dengan kecepatan motor DC. Berikut merupakan hasil dari simulasi konverter dnegan motor tanpa beban:



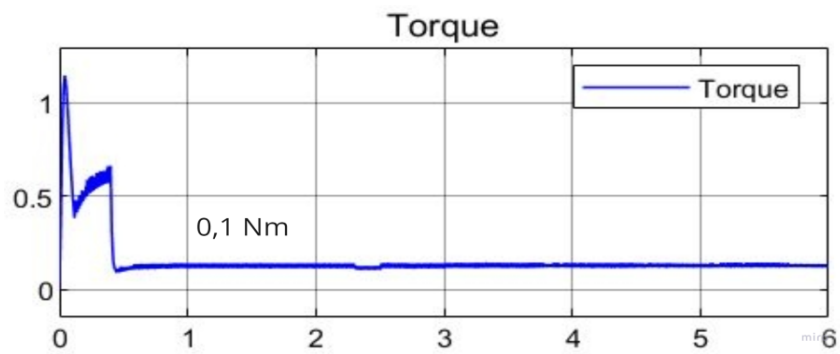
(a)



(b)

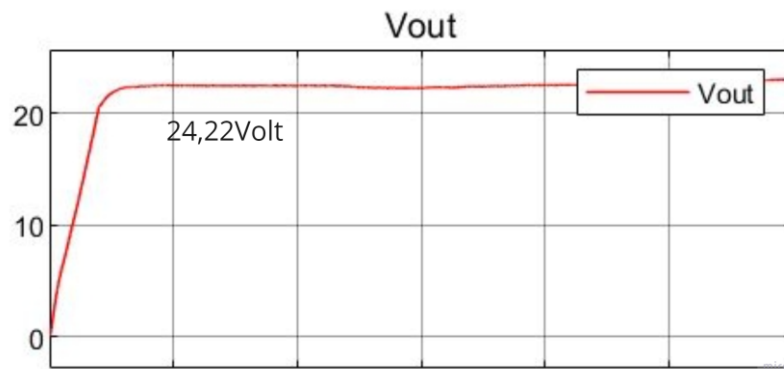


(c)

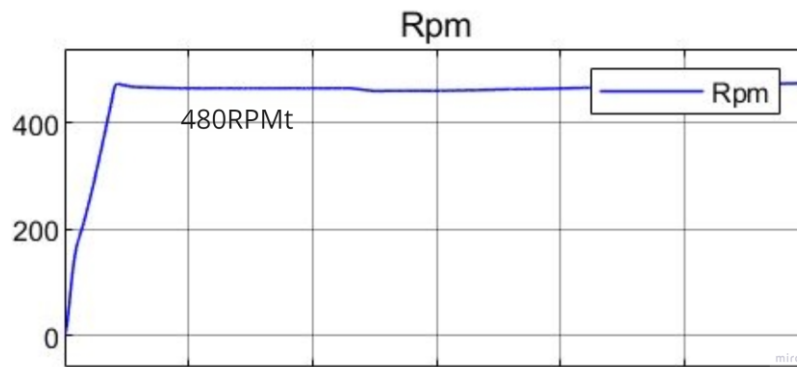


(d)

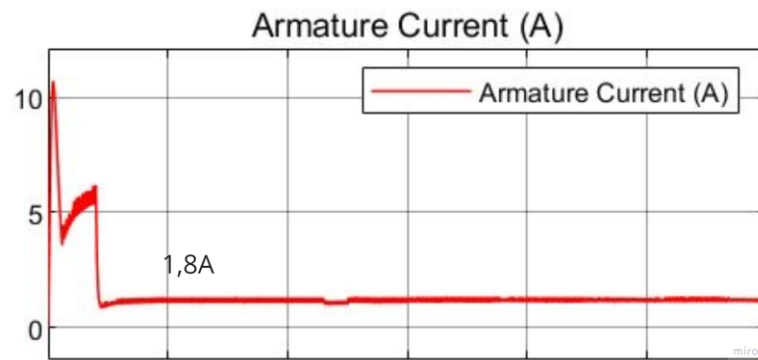
Gambar 3.36 Grafik mode buck tanpa beban



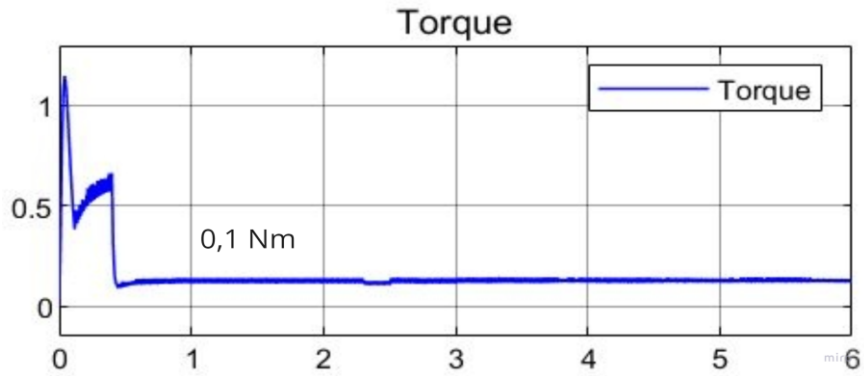
(a)



(b)



(c)

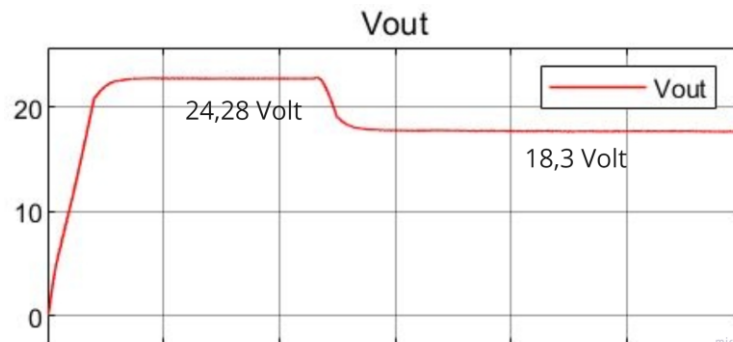


(d)

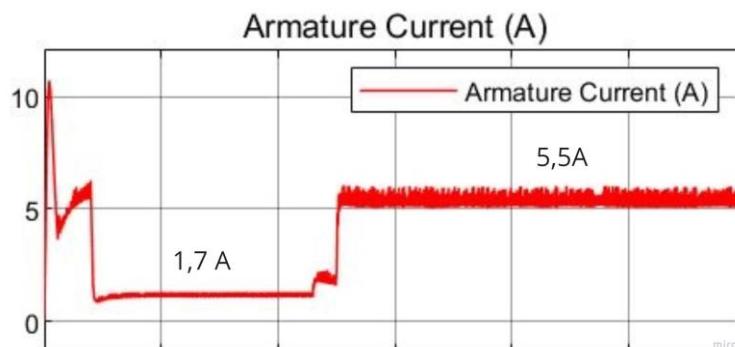
Gambar 3.37 Grafik mode boost tanpa beban

3.5.3 Simulasi Konverter dengan motor Berbeban

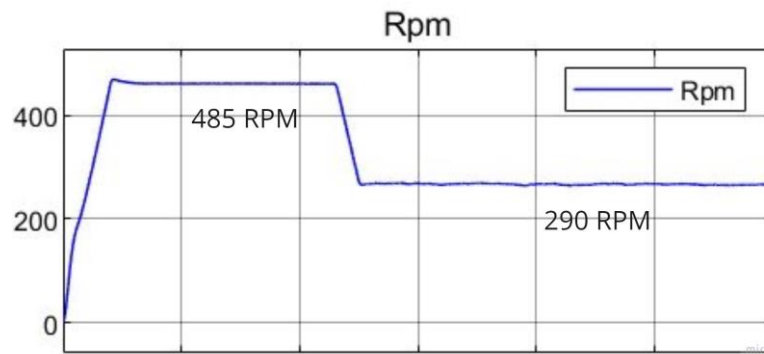
Pada subab ini dilakukan simulasi konverter *buck boost* dengan motor berbeban. Tujuan dari simulasi tersebut yaitu untuk mengetahui pengaruh dari torque mempengaruhi penurunan kecepatan motor DC. Dalam sistem didapatkan untuk nilai torque nya sebesar 0,56 Nm saat kondisi pembebanan maksimal. Nilai ini disesuaikan dengan rating daripada motor DC. Kemudian ketika sistem telah disimulasikan didapatkan kecepatan motor DC turun pada nilai 290 RPM ketika konverter dioperasikan pada mode buck, dan kecepatan dari motor DC turun pada nilai 260 RPM ketika konverter dioperasikan pada mode boost. Selanjutnya untuk nilai tegangan *output* dari *buck boost* sebesar 18,3 Volt ketika mode buck, sedangkan ketika mode boost didapatkan nilai tegangan yaitu 16,6 Volt. Sesuai persamaan 2.53 dengan kondisi tersebut terbukti bahwa torque berbanding terbalik dengan kecepatan dan tegangan serta nilai torque berbanding lurus dengan arus.



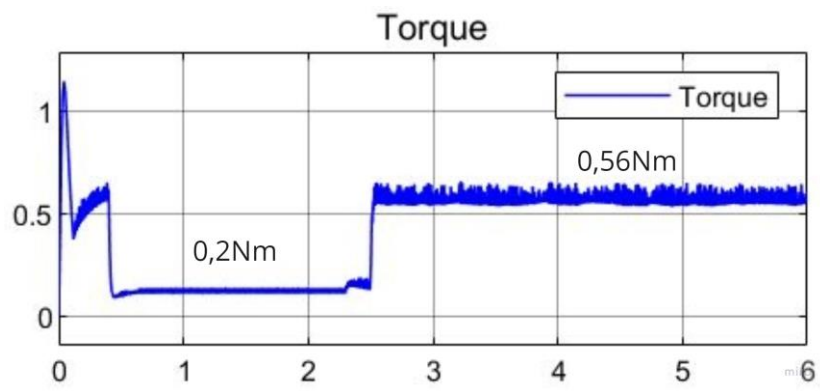
(a)



(b)

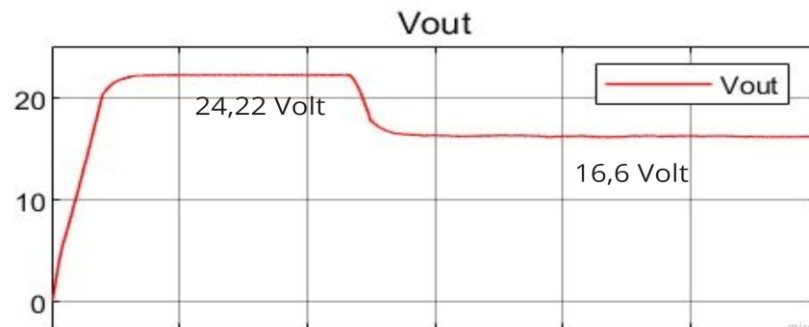


(c)

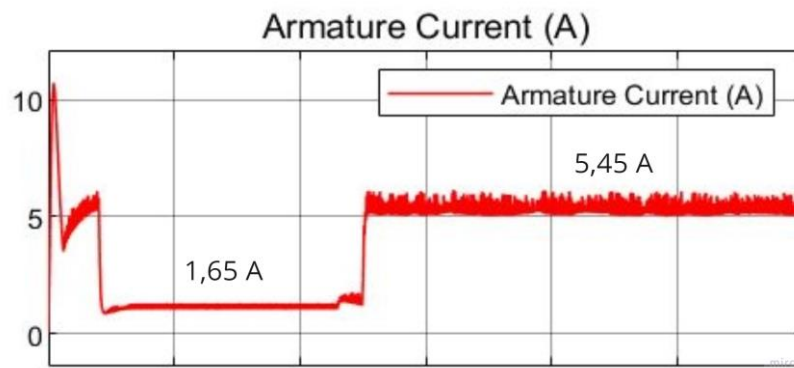


(d)

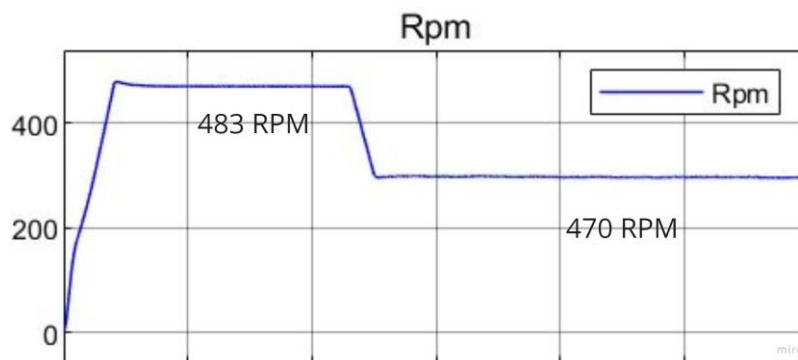
Gambar 3.38 Grafik mode buck berbeban



(a)



(b)



(c)

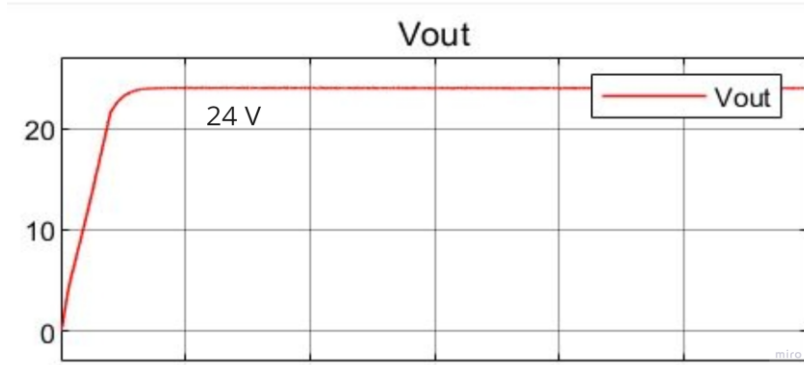
Gambar 3.39 Grafik mode boost berbeban

3.5.4 Simulasi Konverter dengan kecepatan motor dijaga Tetap

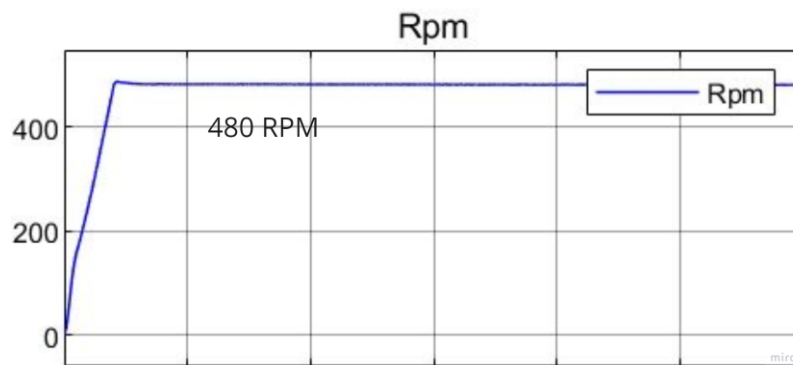
Pada subab ini dilakukan simulasi konverter *buck boost* dengan menjaga kecepatan motor DC ketika diberikan beban. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan konverter dalam menjaga kecepatan dari motor DC. Perlu diketahui bahwa kecepatan motor DC dapat diatur oleh tegangan *output* dari *buck boost*. Sehingga dari simulasi tersebut tegangan dijaga konstan agar kecepatan motor DC juga dapat dijaga kestabilannya. Untuk mendapatkan tegangan yang konstan maka dilakukan pengontrolan secara close loop sehingga *duty cycle* pada konverter dapat dikontrol. Dalam sistem tersebut, *output* tegangan dari konverter digunakan sebagai feedback yang akan dibandingkan dengan nilai setpoint. Kemudian dari perbandingan tersebut menghasilkan sinyal *error* yang akan diproses oleh controller dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller*. Keluaran dari controller berupa sinyal PWM maka dari itu *duty cycle* dari sistem tersebut disesuaikan dengan beban yang terpasang.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, nilai pembebanan yang diberikan adalah 0 hingga 0,5 Nm ketika kondisi beban maksimum. Kemudian untuk nilai set point tegangan diatur dengan nilai 24 volt baik mode buck dan boost. Sehingga didapatkan nilai *output* konverter dijaga konstan yaitu sebesar 24 Volt saat mode buck dan 23,98 saat mode boost sehingga kecepatan motor DC juga stabil pada 480 RPM saat mode buck dan 479 RPM saat mode boost yang mana nilai kecepatan ketika mode boost masih ada selisih dengan nilai yang telah ditentukan, namun dalam batas toleransi karena tidak terlalu jauh selisihnya. Selanjutnya didapatkan hasil untuk nilai arus rata-rata pada motor DC yaitu 4,6 Ampere saat mode buck

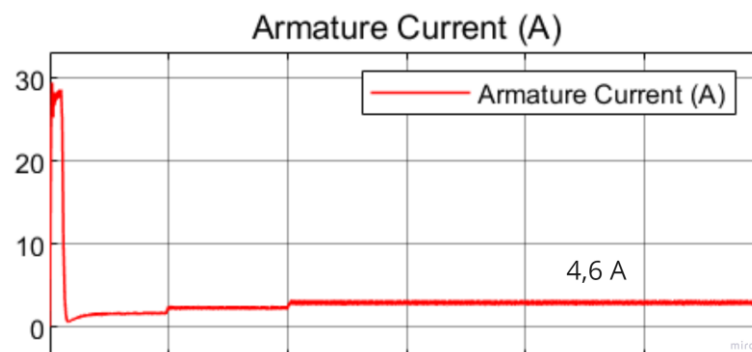
sedangkan untuk mode boost didapatkan nilai rata-rata sebesar 4,54 A, nilai tersebut masih dalam kondisi aman karena masih dalam batas rating arus dari motor DC. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa konverter dapat menjaga kecepatan dari motor DC ketika diberikan beban yang bervariasi.



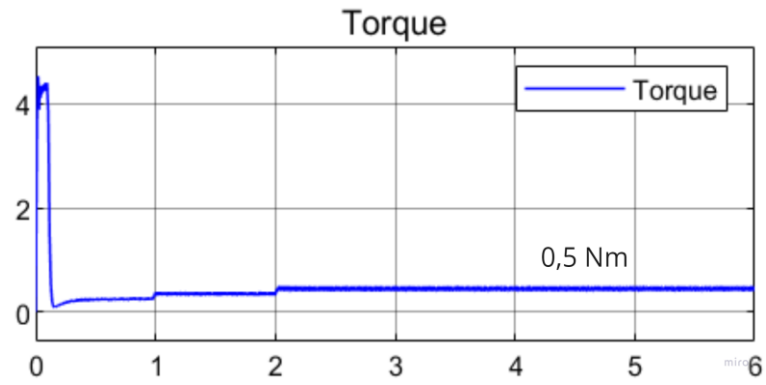
(a)



(b)

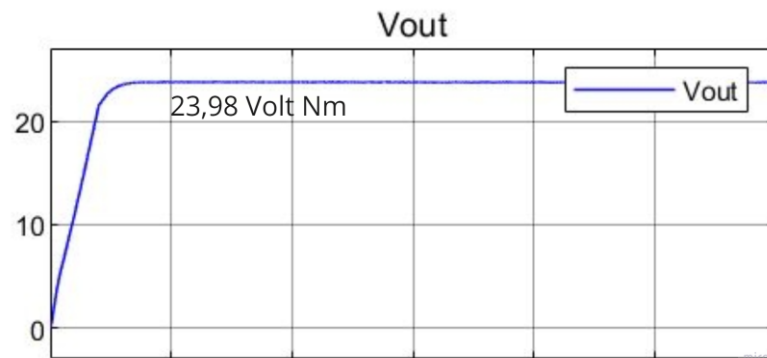


(c)

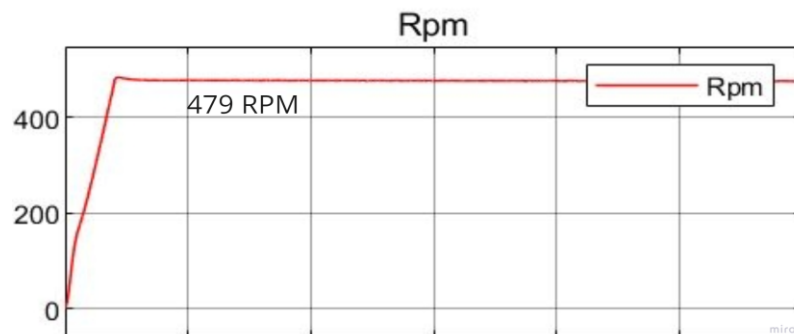


(d)

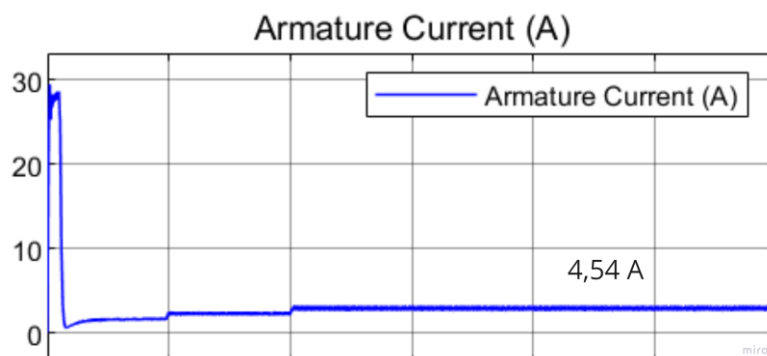
Gambar 3.40 Simulasi Konverter dengan kecepatan motor dijaga tetap ketika mode buck



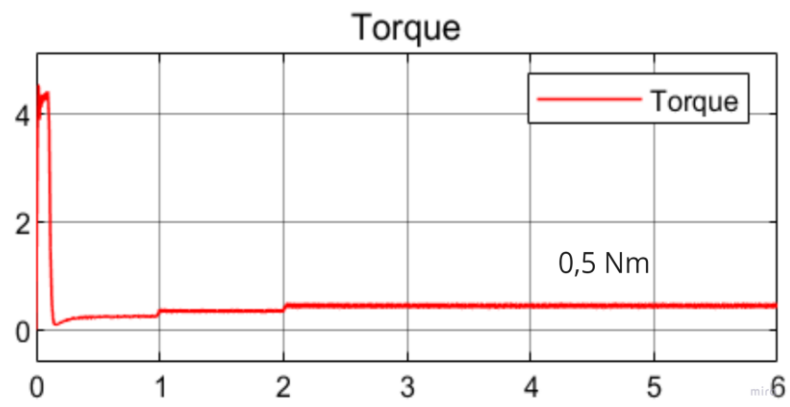
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.41 Simulasi Konverter dengan kecepatan motor dijaga tetap ketika mode boost

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab 4 ini akan dibahas mengenai hasil pengujian dari konverter *Buck boost*. Tujuan dari pengujian ini untuk mengetahui performa konverter apakah sudah sesuai dengan desain dan dapat menjalankan fungsi sebagai kontrol kecepatan dari motor DC. Kemudian untuk pengujian alat menggunakan peralatan yang terdapat di laboratorium Konversi Energi, dilanjutkan dengan pengujian algoritma kontrol *open loop* dan *close loop* untuk mengatur kecepatan motor DC. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian sinyal pensakelaran, pengujian tegangan *output*, pengujian karakteristik arus dan tegangan komponen, pengujian efisiensi konverter. Selanjutnya dilakukan pengujian kontrol *open loop* tanpa beban dan berbeban, serta pengujian *close loop* tanpa beban maupun berbeban. Kemudian data yang telah didapatkan dari pengujian nantinya akan dibandingkan dengan teori dan hasil simulasi

4.1 Realisasi Prototipe

4.1.1 Implementasi Konverter *Buck boost*

Dalam tahap implementasi akan dilakukan realisasi konverter dari perhitungan desain dan nilai parameter dari setiap komponen yang dibutuhkan. Sehingga untuk nilai dari komponen yang digunakan untuk pembuatan alat disesuaikan dengan ketersediaan di pasaran. Berikut merupakan komponen yang digunakan dalam penelitian ini:

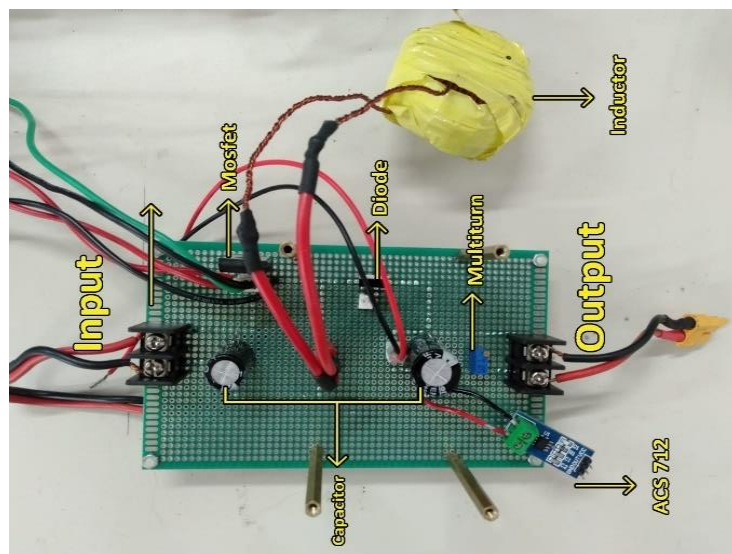
Tabel 4.1 Parameter Komponen Konverter

| No. | Parameter | Nilai |
|-----|----------------------------------|------------------------|
| 1. | Tegangan Sumber DC Supply | 22 V & 28 V |
| 2. | Mikrokontroler | Arduino NANO |
| 3. | MOSFET | IRFP4227 |
| 4. | Driver MOSFET | TLP250 |
| 5. | Power Supply Driver Mosfet | 12 V |
| 6. | Dioda | MUR1560 |
| 7. | Induktor | 1391,72 μ H |
| 8. | Inti Induktor | Toroid Ferrite Core |
| 9. | Kapasitor Tegangan <i>Input</i> | Elco 1000 μ F 50 V |
| 10. | Kapasitor Tegangan <i>Output</i> | Elco 2000 μ F 50 V |

| | | |
|-----|----------------------------|-------------------------|
| 11. | Beban Resistor | 4,8 R |
| 12. | Motor DC | PG 45 100 Watt |
| 13. | Frekuensi <i>Switching</i> | 20 kHz |
| 14. | Tegangan <i>Output</i> | 24 V |
| 15. | Sensor Tegangan | Multiturn 100k Ω |
| 16. | Sensor Arus | ACS 712 |

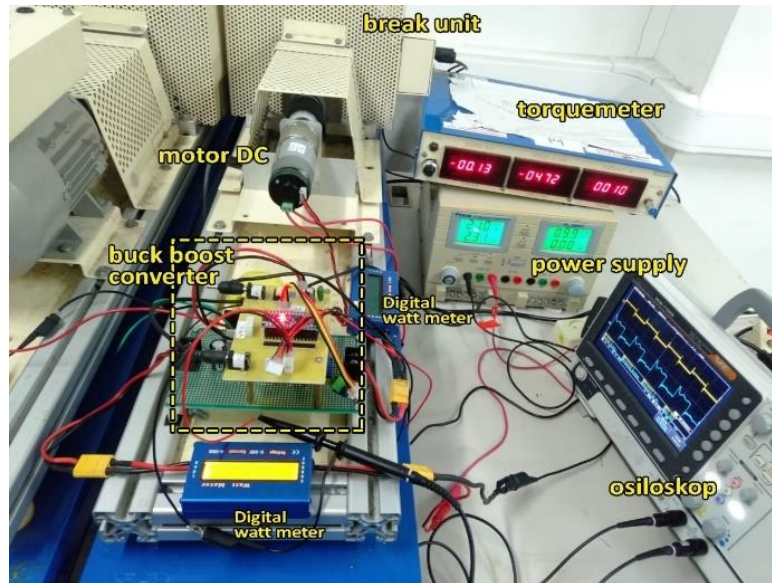
4.1.2 Pengujian Alat

Alat yang diimplementasikan terdiri dari 2 bagian. Bagian pertama yaitu rangkaian controller yang berupa Arduino Nano yang disupply dengan sumber tegangan 5 Volt dan Driver Mosfet IRFP4227 yang disupply dengan sumber tegangan 12 Volt. Pada rangkaian kontrol ini akan mengatur *Switching* dari MOSFET dan ditanamkan algoritma *Fuzzy Logic Controller* yang akan mengatur tegangan dan menjaga kecepatan dari motor DC. Kemudian bagian yang kedua adalah konverter *buck boost* yang nilai dari paramaterynya telah disesuaikan dengan desain dan perhitungan.



Gambar 4.1 Rangkaian Konverter *Buck boost*

Gambar diatas menunjukkan rangkaian konverter *buck boost* yang terdiri dari komponen yang didalamnya antara lain Kapsitor sebagai filter, Mosfet sebagai komponen pensakelaran, induktor, diode, ACS 712 digunakan sebagai sensor arus dan multiturn sebagai sensor tegangan.



Gambar 4.2 Set up Pengujian Konverter dengan Motor DC

Berdasarkan gambar diatas ketika pengujian konverter *Buck boost* dilakukan dengan menggunakan peralatan yang telah tersedia di Laboratorium Konversi Energi Listrik. Peralatan yang digunakan terdapat berbagai macam seperti contohnya: Power Supply DC Variable, Oscilloscope, Multimeter, Amperemeter, Rheostat beban resistif, dan motor DC 100 Watt. Untuk Power Supply DC Variable yang digunakan adalah merk Protek PL-3005D yang memiliki 2 channel *output* dengan rating tegangan maksimal hingga 30 Volt dengan arus maksimal 5 Ampere. Kedua channel *output* ini bisa dirangkai secara seri maupun paralel bergantung dengan kebutuhan ketika melakukan pengujian. Berdasarkan hal tersebut, dengan tegangan masukan konverter yaitu 22 Volt dan 28 Volt sehingga sumber DC tersebut dapat digunakan untuk pengujian. Untuk Rheostat beban resistif yang digunakan memiliki kapasitas sebesar 25Ω 5 Ampere. Selanjutnya untuk Oscilloscope yang digunakan adalah merk GW INSTEK GDS 2202A yang memiliki 2 channel dengan frekuensi maksimal 200 MHz, bisa memakai *voltage* maupun *current probe* sehingga memudahkan pengujian sinyal komponen.

Kemudian untuk pengujian dilakukan dengan beberapa tahap antara lain pengujian konverter *buck boost* beserta pensakelaran, pengujian konverter dengan motor tanpa beban, pengujian konverter dengan motor berbeban, pengujian konverter dengan motor berbeban yang dijaga tetap kecepatannya. Pada pengujian keseluruhan, untuk konverter *buck boost* akan diberikan 2 *input* tegangan yaitu 28 Volt ketika mode buck dan *input* tegangan 22 Volt ketika mode boost. Dengan hasil tegangan *output* yaitu 24 Volt. Tegangan *output* dari *buck boost* akan digunakan sebagai tegangan *input* pada motor DC, karena rating *input* tegangan nominal pada motor DC adalah 24 Volt sehingga didapatkan kecepatan sebesar 480 rpm.

4.1.3 Pengujian Sensor Arus dan Tegangan

Pada Pengujian sensor ini bertujuan untuk mengetahui nilai yang akurat dari sensor yang digunakan dalam penelitian. Untuk pengujian sensor arus yang digunakan komponen ACS 712 dengan spesifikasi 20 Ampere. Sedangkan untuk sensor tegangan yang digunakan adalah multiturn 100 k Ω . Kemudian dari data yang didapatkan akan dibandingkan dengan nilai yang

terbaca dari serial monitor dengan alat ukur konvensional berupa *Digital watt meter*. Berikut merupakan Hasil pengujian sensor arus dan tegangan.

Tabel 4.2 Pengujian Sensor Arus ACS712

| Pengujian sensor arus mode Buck | | |
|--|------------------|---------------------|
| Actual arus (A) | Sensing arus (A) | <i>Error sensor</i> |
| 0,8 | 0,75 | 6,25 |
| 0,98 | 0,93 | 5,10 |
| 1,08 | 1,05 | 2,78 |
| 1,2 | 1,15 | 4,17 |
| 1,33 | 1,3 | 2,26 |
| 1,48 | 1,46 | 1,35 |
| 1,58 | 1,56 | 1,27 |
| 1,69 | 1,68 | 0,59 |
| 1,76 | 1,71 | 2,84 |
| 1,92 | 1,91 | 0,52 |
| 2,14 | 2,16 | 0,93 |
| 2,29 | 2,31 | 0,87 |
| 2,42 | 2,48 | 2,48 |
| 2,5 | 2,57 | 2,80 |
| 2,65 | 2,63 | 0,75 |
| 2,84 | 2,89 | 1,76 |
| 3,02 | 3,08 | 1,99 |
| 3,14 | 3,15 | 0,32 |
| 3,2 | 3,24 | 1,25 |
| 3,35 | 3,4 | 1,49 |
| 3,5 | 3,58 | 2,29 |
| 3,6 | 3,66 | 1,67 |
| | <i>Error</i> | 2,08 |

Berdasarkan diatas dapat dilihat bahwa sensor arus memiliki *error* rata-rata yaitu 2,08 % dengan nilai *error* terbesar yaitu 6.25 % sehingga dapat dikatakan bahwa sensor arus tersebut memiliki kemampuan yang baik. Tetapi sensor arus ini rentan dengan *error* pembacaannya, ketika kalibrasi yang dilakukan tidak sesuai. Oleh karena itu harus dilakukan kalibrasi terlebih dahulu untuk memastikan bahwa sesor tersebut sudah bekerja secara baik.

Tabel 4.3 Pengujian Sensor Tegangan Multiturn 100 k Ω

| Pengujian sensor Tegangan mode Buck | | |
|--|----------------------|-----------------------|
| Actual tegangan (V) | Sensing tegangan (V) | <i>Error tegangan</i> |
| 25,27 | 24,66 | 2,47 |
| 24,9 | 24,56 | 1,38 |

| | | |
|-------|--------------|------|
| 24,28 | 23,65 | 2,66 |
| 24 | 23,45 | 2,35 |
| 23,75 | 23,18 | 2,46 |
| 23,4 | 22,72 | 2,99 |
| 22,9 | 22,41 | 2,19 |
| 22,7 | 22,22 | 2,16 |
| 22,35 | 22,02 | 1,50 |
| 22 | 21,44 | 2,61 |
| 21,85 | 21,14 | 3,36 |
| 21,51 | 20,79 | 3,46 |
| 20,52 | 20,63 | 0,53 |
| 20,3 | 20,44 | 0,68 |
| 20 | 20,18 | 0,89 |
| 19,7 | 19,98 | 1,40 |
| 19,5 | 19,81 | 1,56 |
| 19,45 | 19,7 | 1,27 |
| 19,4 | 19,56 | 0,82 |
| 19,32 | 19,45 | 0,67 |
| 19 | 19,3 | 1,55 |
| 18,8 | 19,22 | 2,19 |
| | <i>Error</i> | 1,87 |

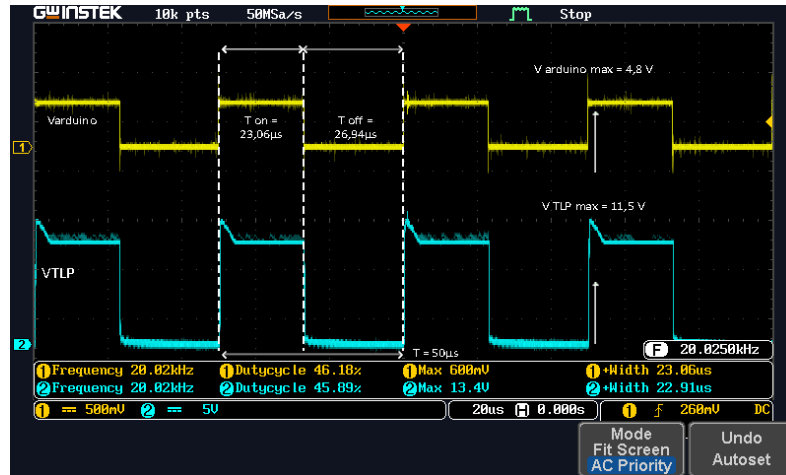
Kemudian untuk sensor tegangan memiliki *error* rata-rata 1,87 % dan *error* paling tinggi adalah 3.46 % sehingga sensor ini dapat dikatakan mempunyai kemampuan yang baik. Sensor tegangan juga harus dilakukan kalibrasi dengan menyesuaikan perhitungan.

4.2 Pengujian Konverter *Buck boost*

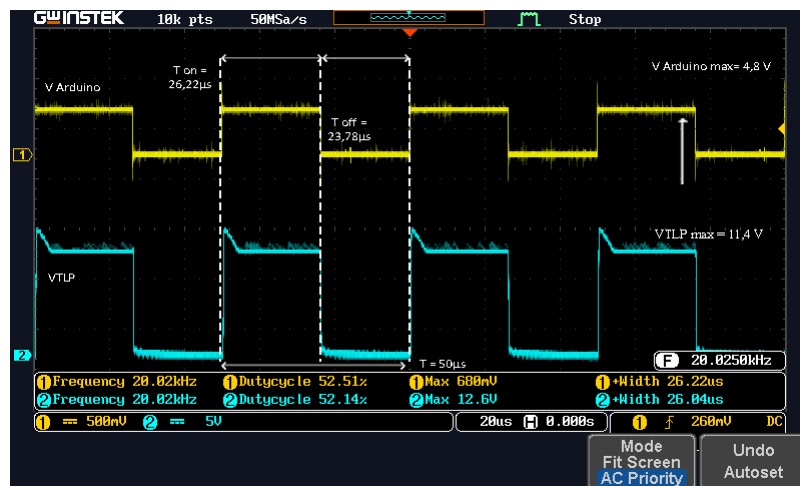
Pada penelitian ini, akan dilakukan beberapa pengujian yang dilakukan pada konverter antara lain pengujian pensakelaran, pengujian dioda, pengujian induktor, pengujian kapasitor, pengujian tegangan *input* dan *output*, dan pengujian efisiensi. Tujuan dari pengujian tersebut untuk mengetahui apakah konverter yang telah diimplementasikan sudah bekerja sesuai desain atau tidak.

4.2.1 Pengujian Sinyal Pulse Width Modulation (PWM)

Pada subbab ini akan dilakukan pengujian sinyal PWM dengan mengamati dan membandingkan bentuk gelombang keluaran pin D9 dan D10 (PWM) pada arduino nano dan bentuk gelombang keluaran Driver MOSFET TLP250. Pengujian sinyal PWM dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sinyal PWM yang dibangkitkan oleh mikrokontroler sudah sesuai dengan simulasi. Berikut merupakan bentuk gelombang dari keluaran PWM pada Arduino nano dan gelombang dari driver MOSFET.



Gambar 4.3 Bentuk Gelombang PWM Arduino dan TLP250 ketika mode Buck

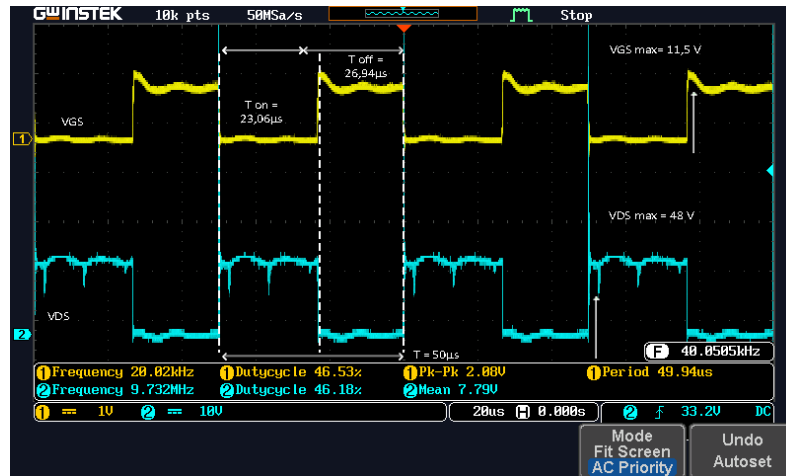


Gambar 4.4 Bentuk Gelombang PWM Arduino dan TLP250 ketika mode Boost

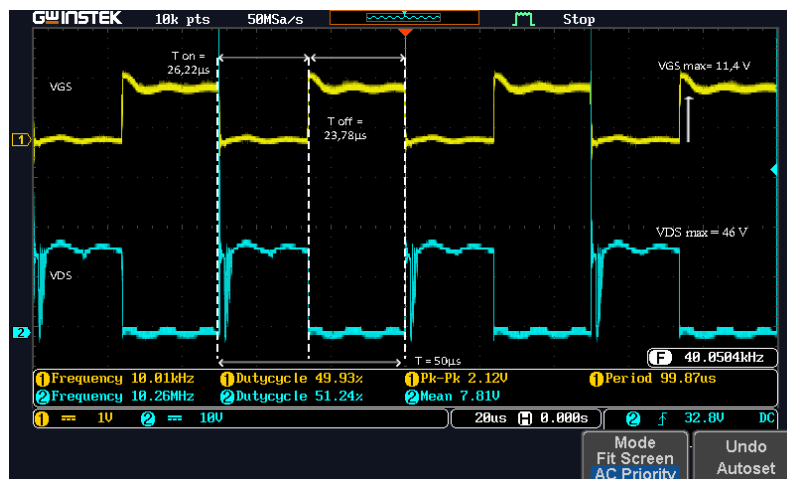
Dari bentuk gelombang diatas dapat dianalisa dengan digunakannya tegangan 12 Volt pada sisi TLP250 untuk men-drive MOSFET, sehingga kanal *Drain – Source* pada MOSFET akan terbuka. Dengan demikian MOSFET dapat bekerja secara maksimal dan lebih efisien. Berdasarkan dari gambar diatas dapat dilihat bahwa konverter telah bekerja sesuai dengan desain yang telah ditentukan dengan frekuensi *Switching* 20 kHz dan *duty cycle* 46,18 % ketika mode buck serta *duty cycle* 52,14 % ketika mode Boost. Kemudian didapatkan nilai 50 μ s untuk periode dari sinyal PWM yang didapatkan pada instrumen pengukuran di oscilloscope, sehingga didapatkan nilai 23,06 μ s saat kondisi PWM high dan bernilai 26,94 μ s saat kondisi low, nilai tersebut diperoleh ketika konverter mode *buck*. Begitu pula dengan mode *boost*, didapatkan nilai 26,22 μ s saat kondisi PWM high dan bernilai 23,78 μ s saat kondisi low. Berikutnya dapat dilihat bahwa bentuk dari gelombang PWM arduino dan TLP250 adalah sama, namun terdapat perbedaan tegangan puncak dari PWM arduino yaitu 4,8 Volt sedangkan tegangan puncak dari PWM TLP250 adalah 11,5 Volt ketika mode buck dan 11,4 Volt ketika mode *boost*. Meskipun masih terdapat *ripple* yang tidak terlalu besar pada bentuk gelombang PWM. Dari hasil tersebut, bentuk gelombang sudah sesuai dengan desain yang telah simulasikan.

4.2.2 Pengujian Pensakelaran *Voltage Gate Source* dan *Voltage Drain Source*

Pengujian pada subbab ini dilakukan dengan mengamati gelombang tegangan gate - *Source* dan *Drain – Source* MOSFET. Pengujian pensakelaran dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah sinyal VGS dan VDS yang dibangkitkan sudah sesuai dengan simulasi Sehingga didapatkan bentuk gelombang gate - *Source* dan *Drain – Source* sebagai berikut :



Gambar 4.5 Bentuk Gelombang VGS dan VDS pada MOSFET ketika mode buck



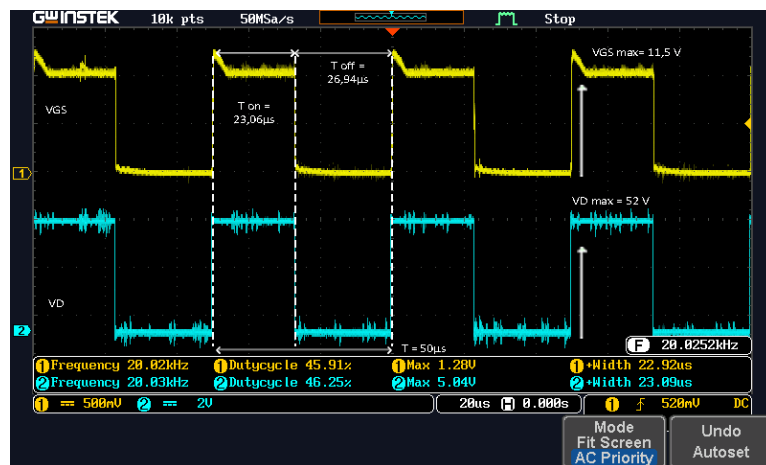
Gambar 4.6 Bentuk Gelombang VGS dan VDS pada MOSFET ketika mode boost

Berdasarkan bentuk gelombang dari gambar diatas, dapat dilihat saat gate dari MOSFET dalam keadaan *high*, maka sakelar atau kanal *Drain – Source* akan mengalami konduksi sehingga arus akan mengalir pada *Drain-Source* dan menyebabkan tegangan *Drain - Source* dalam keadaan low. Namun berbeda ketika gate dari MOSFET dalam keadaan low, sehingga sakelar akan dalam kondisi terbuka maka arus tidak mengalir yang menyebabkan tegangan *Drain-Source* dalam keadaan high. Dari hasil gambar tersebut diketahui bahwa konverter bekerja dengan frekuensi *Switching* 20 kHz dan *duty cycle* 46,18 % dan tegangan *Drain - Source* saat sakelar terbuka adalah sebesar 48 Volt ketika mode buck. Kemudian untuk mode *boost* nilai *duty cycle* yaitu 52,14 % tegangan *Drain - Source* saat sakelar terbuka adalah sebesar 46 Volt. Namun dari bentuk gelombang tersebut masih terdapat spike tegangan, penyebabnya ialah dari penggunaan komponen yang tidak ideal saat implementasi. Selain itu juga

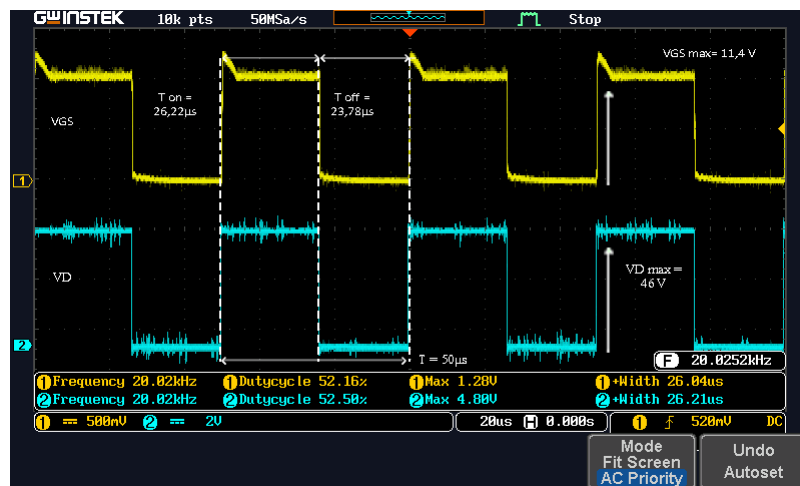
dikarenakan dari energi yang tersisa dari induktor saat transisi pensakelaran mengalir ke MOSFET secara sesaat sehingga menyebabkan terjadinya spike tegangan pada *Drain - Source*. Tetapi dari data yang didapatkan sudah sesuai dengan perhitungan dan simulasi.

4.2.3 Pengujian Tegangan Dioda

Pengujian pada subbab ini dilakukan dengan mengamati gelombang tegangan gate - *Source* dan tegangan dioda. Pengujian pada tegangan diode yang telah dilakukan bertujuan untuk mengetahui bahwa bentuk gelombang pada diode saat implemnetasi apakah sudah sesuai dengan desain dan simulasi yang telah dilakukan pada subbab sebelumnya. Sehingga didapatkan bentuk gelombang gate - *Source* dan tegangan dioda sebagai berikut :



Gambar 4.7 Bentuk VGS dan Tegangan Dioda ketika mode buck



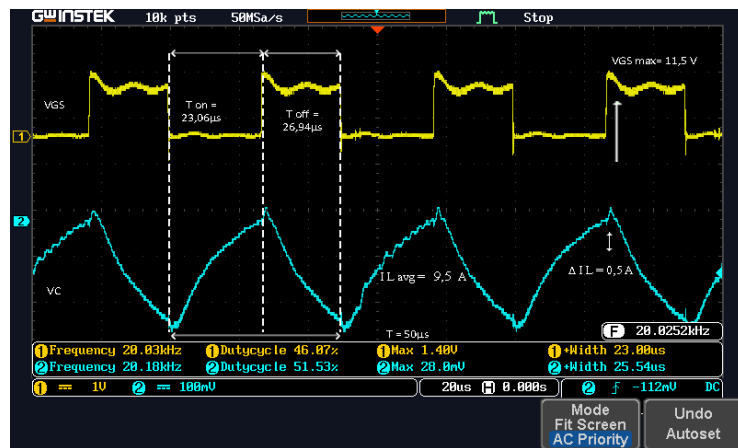
Gambar 4.8 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Dioda ketika boost

Berdasarkan bentuk gelombang dari gambar diatas, dapat dilihat bahwa gelombang yang didapatkan sudah sesuai dengan desain dan simulasi. Bentuk tegangan kapasitor akan berkebalikan dengan tegangan *Drain - Source* pada MOSFET. Dapat diketahui ketika gelombang tegangan gate - *Source* kondisi high (sakelar tertutup) maka pada dioda akan keadaan reversed bias sehingga akan didapatkan nilai tegangan pada dioda yaitu 52 Volt saat mode buck. Kemudian ketika mode boost didapatkan nilai tegangan pada didoda yaitu 46 Volt. Namun ketika tegangan gate-*Source* pada kondisi *low* (sakelar terbuka) maka dioda dalam

keadaan *forward bias* , dengan kondisi tersebut maka tegangan dioda nol dan arus akan mengalir dari induktor melewati dioda.

4.2.4 Pengujian Arus Induktor

Pengujian pada subbab ini dilakukan dengan mengamati gelombang tegangan gate - *Source* dan arus pada induktor. Pengujian pada arus induktor memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui mode charging-discharging pada induktor berdasarkan waktu pensakelaran dan dapat dilihat apakah induktor telah bekerja dalam mode CCM (Continuous Conduction Mode) atau DCM (Discontinuous Conduction Mode). Kemudian dari hasil yang telah didapatkan akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Sehingga didapatkan bentuk gelombang gate - *Source* dan arus induktor sebagai berikut:



Gambar 4.9 Bentuk VGS dan Arus induktor ketika buck



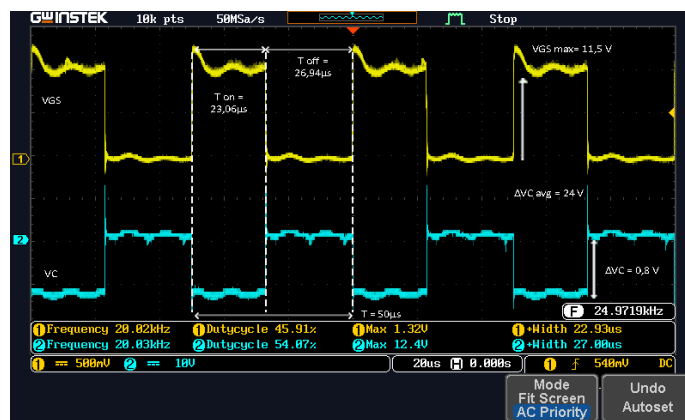
Gambar 4.10 Bentuk VGS dan Arus induktor ketika boost

Berdasarkan bentuk gelombang dari gambar diatas, dapat dilihat bahwa gelombang yang didapatkan sudah sesuai dengan desain dan simulasi. Dari data gambar tersebut dapat diketahui bahwa arus induktor berada pada mode CCM (Continuous Conduction Mode) yang mana pada bentuk arus induktor yang tidak pernah menyentuh nilai nol. Sehingga bentuk gelombang arus induktor dari konverter *Buck boost* sudah sesuai dengan bentuk gelombang pada desain dan simulasi yang telah dilakukan. Dari data gambar yang telah didapatkan bahwa komponen yang digunakan dapat mempengaruhi hasil gelombang. Hal ini dikarenakan karena faktor seperti rugi-rugi tembaga, inti besi dan fluks bocor sehingga *ripple* arus mengalami

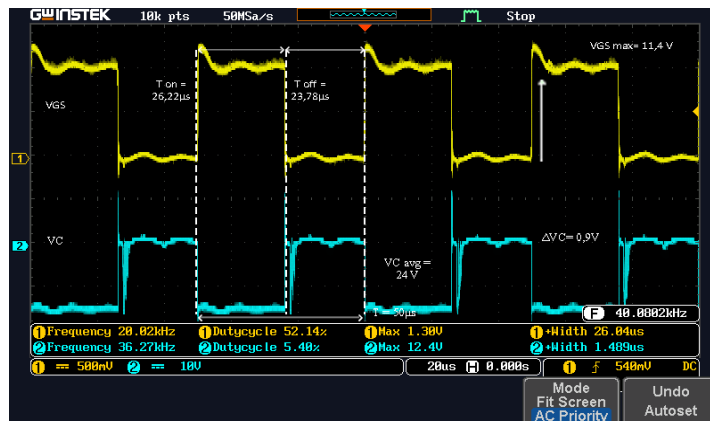
kenaikan, namun nilai tersebut masih bisa ditoleransi. Sehingga didapatkan nilai arus rata-rata pada induktor yaitu 9,5 Ampere ketika mode buck, kemudian didapatkan nilai arus rata rata pada induktor yaitu 10,85 Ampere ketika mode boost. Nilai tersebut lebih tinggi dari simulasi dan desain yang telah dilakukan, namun masih bisa ditoleransi karena konverter dapat bekerja dengan kondisi yang diinginkan

4.2.5 Pengujian Tegangan Kapasitor

Pengujian pada subbab ini dilakukan dengan mengamati gelombang tegangan gate - *Source* dan tegangan pada kapasitor. Pengujian pada tegangan kapasitor memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik charging dan discharging kapasitor yang sesuai dengan mode sakelar ketika sedang bekerja. Kemudian dari hasil yang telah didapatkan akan dibandingkan dengan hasil simulasi. Sehingga didapatkan bentuk gelombang gate - *Source* dan tegangan kapasitor sebagai berikut:



Gambar 4.11 Bentuk VGS dan Tegangan Kapasitor ketika mode buck



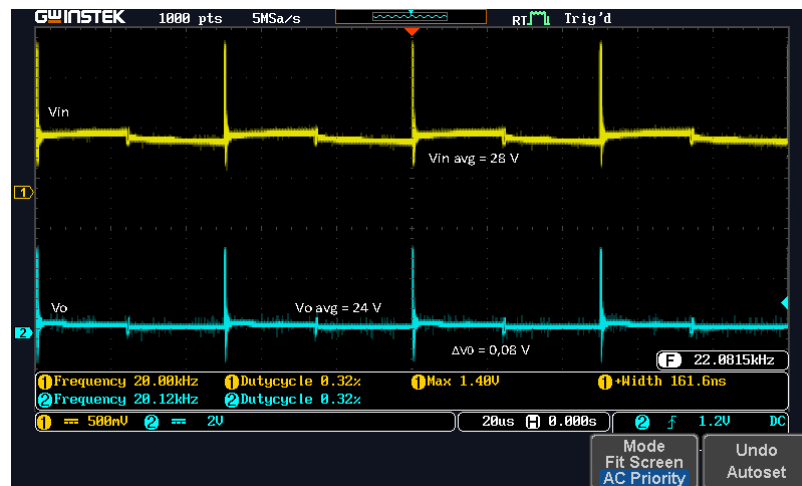
Gambar 4.12 Bentuk Gelombang VGS dan Tegangan Kapasitor ketika mode boost

Berdasarkan bentuk gelombang dari gambar diatas, dapat dilihat bahwa gelombang yang didapatkan sudah sesuai dengan desain dan simulasi. Bentuk tegangan kapasitor akan berkebalikan dengan tegangan gate – *Source* pada MOSFET. Dapat dilihat dari hasil pengujian sinyal charge dan discharge, Bentuk sinyal tegangan kapasitor filter *output* sudah sesuai desain dan simulasi yang telah dilakukan. Nilai Rata-rata tegangan pada kapasitor adalah 24 Volt ketika mode buck dan boost. Tegangan pada komponen kapasitor terdapat selisih dengan nilai desain dan simulasi, hal ini karena ketidakidealan komponen pada konverter sehingga terdapat rugi-rugi berupa resistansi dan induktansi. *Ripple* tegangan kapasitor juga berada diatas desain

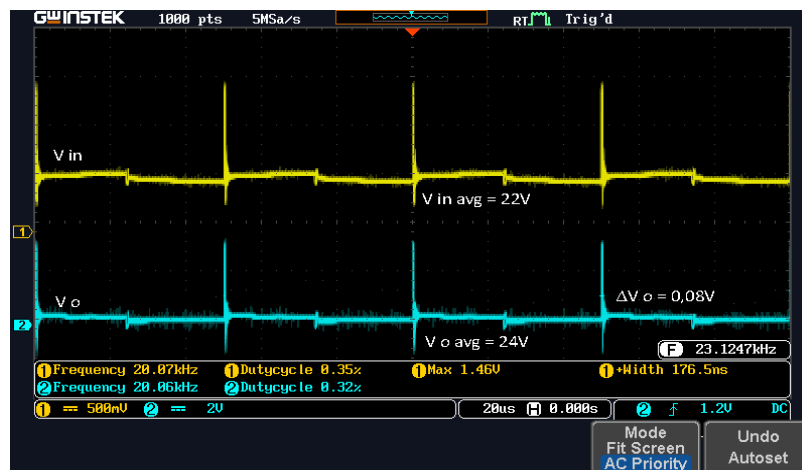
yaitu 0.8 V pada mode buck dan 0,9 V pada mode boost . Tetapi jika dilihat dari gelombang sinyalnya, didapatkan konverter bekerja sesuai dengan kondisi yang diinginkan.

4.2.6 Pengujian Tegangan *Input* dan *Output*

Pengujian pada subab ini dilakukan dengan mengamati gelombang tegangan *input* dan *output* dari konverter *buck boost*. Pengujian tegangan *input* dan tegangan *output* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bentuk gelombang. Kemudian nilai dari tegangan *output* dibandingkan dengan hasil desain dan simulasi yang telah dilakukan. Sehingga didapatkan bentuk gelombang *input* dan tegangan *output* sebagai berikut:



Gambar 4.13 Bentuk Gelombang Tegangan *input* dan *output* ketika mode buck

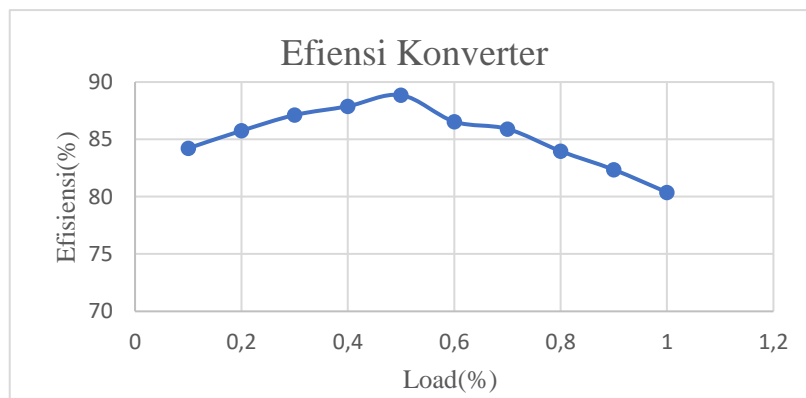


Gambar 4.14 Bentuk Gelombang Tegangan *input* dan *output* ketika mode boost

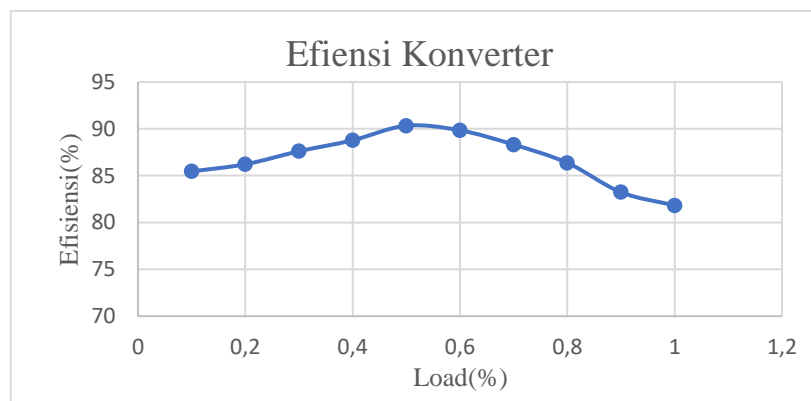
Berdasarkan bentuk gelombang dari gambar diatas, dapat dilihat bahwa gelombang yang didapatkan sudah sesuai dengan desain dan simulasi. Pada pengujian konverter diberikan *input* tegangan sebesar 28 Volt untuk mode buck dan 22 Volt untuk mode boost. Dari pengujian didapatkan nilai-nilai tegangan *output* konverter ketika mode buck yaitu 24 Volt, sedangkan untuk nilai *ripple* tegangan *output* adalah 0,08 Volt. Kemudian untuk nilai tegangan *output* konverter ketika mode boost yaitu 24 Volt, sedangkan untuk nilai *ripple* tegangan *output* adalah 0,08 Volt. Dari hasil pengujian sinyal tegangan *input* dan *output* dapat disimpulkan bahwa konverter dapat bekerja dengan baik walaupun terdapat sedikit perbedaan dari desain akibat komponen yang tidak ideal.

4.2.7 Pengujian Efisiensi Konverter

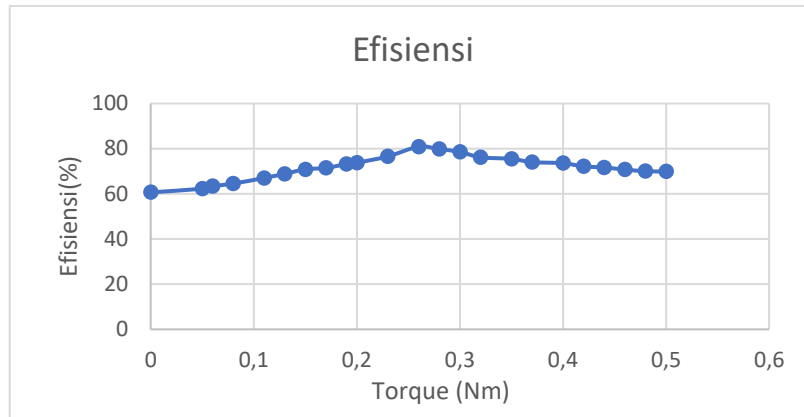
Pada subbab ini akan dibahas tentang pengujian efisiensi dari konverter, baik dioperasikan mode buck dan mode boost. Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa efisien sebuah konverter dapat memikul beban yang bervariasi dari rendah ke full-load. Pada pengujian ini dilakukan dengan menjaga tegangan *input* konstan dinilai 28 Volt untuk mode buck dan 22 Volt untuk mode boost. Kemudian untuk tegangan *output* dari *buck boost* juga dijaga konstan dengan nilai 24 Volt dengan mengubah nilai *duty cycle* dimana beban akan ditambahkan sampai nilai full-load konverter. Selanjutnya diberikan perubahan beban mulai dari 10-100% dari desain yang telah ditentukan. Pengukuran efisiensi dilakukan dengan membandingkan nilai daya *output* dengan daya *input* dengan menggunakan alat ukur yang sama. Berikut merupakan hasil pengujian efisiensi konverter saat mode buck dan mode boost:



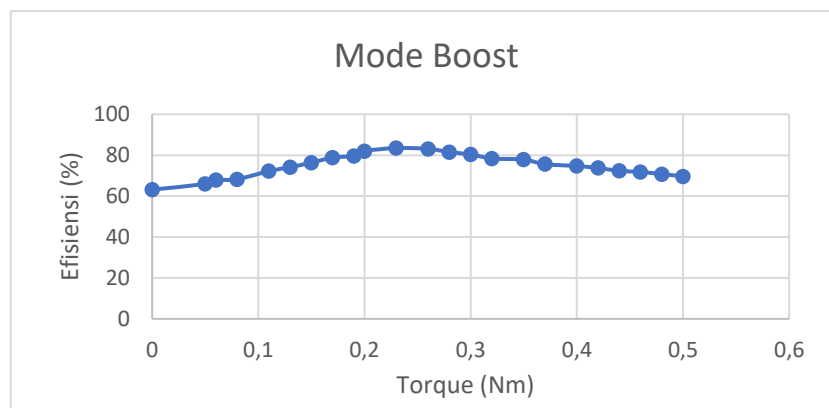
Gambar 4.15 Grafik Efisiensi Konverter ketika mode buck



Gambar 4.16 Grafik Efisiensi Konverter ketika mode boost



Gambar 4.17 Grafik Efisiensi pada konverter beban motor DC saat mode buck



Gambar 4.18 Grafik Efisiensi pada konverter beban motor DC saat mode boost

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa konverter ketika beroperasi pada mode buck dapat mencapai efisiensi 85,30 % pada pembebanan 50% dan efisiensi 80,38 % pada pembebanan full-load. Sedangkan ketika konverter beroperasi ketika mode boost dapat mencapai efisiensi 90,33% pada pembebanan 50% dan efisiensi 81,81% saat pembebanan full-load. Sehingga dari pengujian efisiensi konverter tersebut memiliki rata-rata efisiensi sebesar 85,3% ketika mode buck dan rata rata efisiensi sebesar 86,79% ketika mode boost.

Kemudian untuk efisiensi konverter buck boost ketika motor DC diberikan beban maka didapatkan efisiensi pada mode buck yaitu 80,8% ketika pembebanan 50% dengan nilai torque yaitu 0,26 Nm. Sedangkan untuk efisiensi pada mode boost yaitu 83,4% ketika pembebanan 50% dengan nilai torque adalah 0,23 Nm. Sehingga dari pengujian efisiensi konverter tersebut memiliki rata rata efisiensi sebesar 71,55% saat mode buck dan rata-rata sebesar 74,86% saat mode boost.

Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa efisiensi konverter mengalami penurunan dengan semakin besar pembebanannya, hal ini disebabkan karena semakin besar daya yang dikeluarkan oleh konverter maka arus yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga sesuai dengan rumus rugi-rugi yaitu rugi-rugi sama dengan kuadrat arus dikalikan R, maka dengan semakin besar arus yang dihasilkan menyebabkan rugi-ruginya akan semakin besar juga. Selain

itu penentuan komponen dengan nilai resistansi yang besar juga akan berdampak pada nilai efisiensi sebuah konverter.

4.3 Pengujian Konverter dengan motor DC Tidak Berbeban

Setelah melakukan pengujian konverter dan didapatkan bahwa konverter *buck boost* dapat bekerja sesuai dengan kondisi yang diinginkan, sehingga selanjutnya akan dilakukan pengujian konverter dengan motor DC tanpa beban. Pada pengujian konverter dengan motor DC tanpa beban memiliki tujuan untuk mengetahui apakah konverter *Buck boost* dapat diatur tegangan *output* nya berdasarkan nilai *duty cycle* nya baik mode buck dan mode boost. Selanjutnya dari tegangan *output* konverter apakah dapat mempengaruhi dari kecepatan motor DC atau tidak. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah algoritma *Fuzzy Logic Controller* telah bekerja dengan baik atau tidak.

4.3.1 Pengujian mode Buck

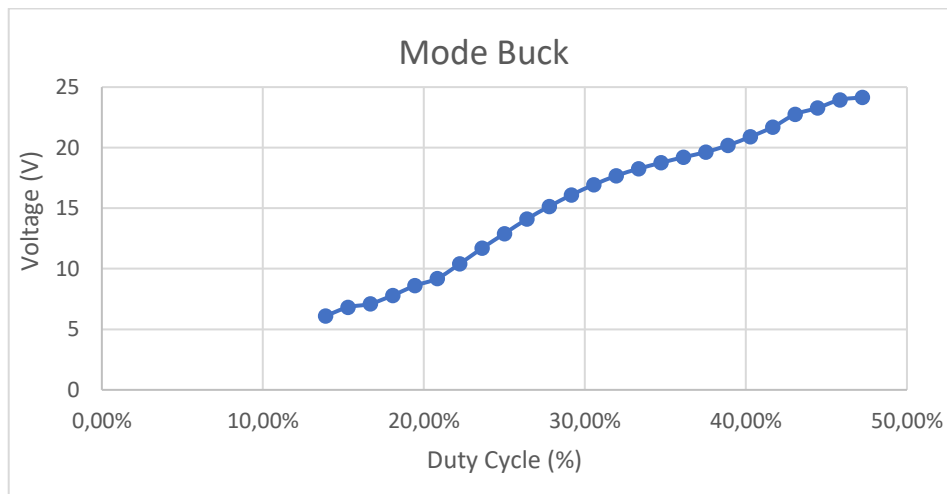
Pengujian ini dilakukan menggunakan motor DC dengan spesifikasi yaitu 100 watt yang tidak berbeban. Sehingga nanti dapat dilihat *output* dari konverter dapat mempengaruhi kecepatan motor DC. Pada pengujian mode buck, dilakukan pengaturan *duty cycle* secara *open loop*.

Tabel 4.4 Data pengujian konverter ketika mode buck tidak berbeban

| Duty | V out | I out | P out | RPM | Torque |
|--------|-------|-------|-------|-----|--------|
| 13,89% | 6,1 | 0,82 | 5,00 | 120 | 0 |
| 15,28% | 6,82 | 0,84 | 5,72 | 122 | 0 |
| 16,67% | 7,1 | 1 | 6,31 | 124 | 0 |
| 18,06% | 7,8 | 1,03 | 8,03 | 131 | 0 |
| 19,44% | 8,6 | 1,06 | 9,11 | 150 | 0 |
| 20,83% | 9,2 | 1,08 | 9,93 | 173 | 0 |
| 22,22% | 10,4 | 1,11 | 11,54 | 195 | 0 |
| 23,61% | 11,7 | 1,25 | 14,62 | 222 | 0 |
| 25,00% | 12,9 | 1,31 | 16,89 | 244 | 0 |
| 26,39% | 14,1 | 1,46 | 20,58 | 267 | 0 |
| 27,78% | 15,14 | 1,47 | 22,25 | 287 | 0 |
| 29,17% | 16,1 | 1,52 | 24,47 | 309 | 0 |
| 30,56% | 16,94 | 1,63 | 27,61 | 325 | 0 |
| 31,94% | 17,68 | 1,68 | 29,70 | 340 | 0 |
| 33,33% | 18,26 | 1,72 | 31,40 | 353 | 0 |
| 34,72% | 18,75 | 1,78 | 33,37 | 363 | 0 |
| 36,11% | 19,21 | 1,81 | 34,77 | 372 | 0 |
| 37,50% | 19,63 | 1,85 | 36,31 | 379 | 0 |
| 38,89% | 20,2 | 1,88 | 37,97 | 387 | 0 |

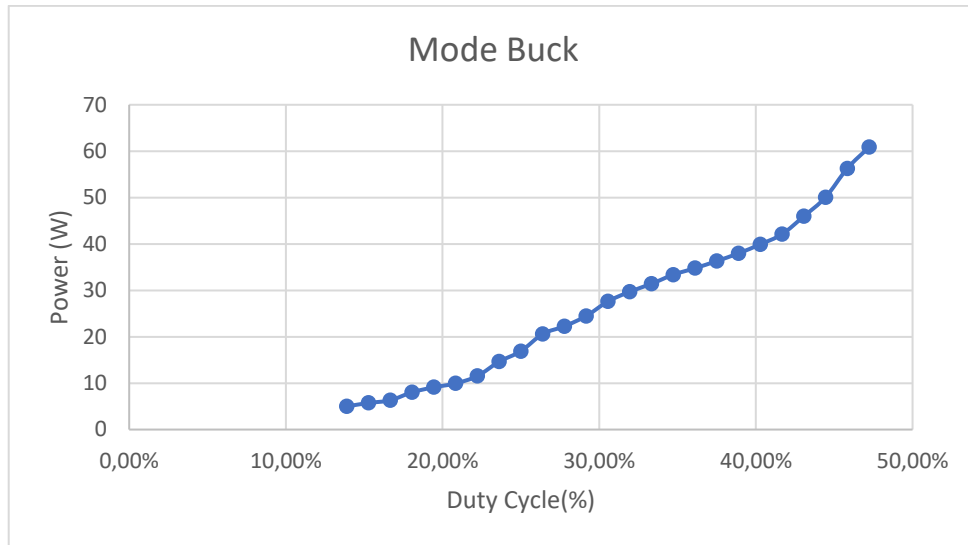
| | | | | | |
|--------|-------|------|-------|-----|---|
| 40,28% | 20,9 | 1,91 | 39,91 | 402 | 0 |
| 41,67% | 21,7 | 1,94 | 42,09 | 428 | 0 |
| 43,06% | 22,75 | 2,02 | 45,95 | 448 | 0 |
| 44,44% | 23,28 | 2,15 | 50,05 | 455 | 0 |
| 45,83% | 23,95 | 2,35 | 56,28 | 468 | 0 |
| 47,22% | 24,15 | 2,52 | 60,85 | 480 | 0 |

Untuk data yang didapatkan dalam pengujian ini berupa nilai dari *duty cycle*, tegangan *output*, arus *output*, daya *output*, dan kecepatan dari motor DC. Berdasarkan dari data diatas, nilai *duty cycle* ditentukan sesuai dengan perhitungan pada subab sebelumnya. Sehingga dengan mengatur nilai dari *duty cycle* akan mempengaruhi *output* dari tegangan konverter. Kemudian didapatkan juga hasil dari kecepatan motor DC yang terus meningkat seiring dengan bertambah nya *output* tegangan dari konverter yang dipengaruhi oleh pengaturan *duty cycle*. Pengujian ini membuktikan ketika *duty cycle* diatur dapat mempengaruhi terhadap *output* tegangan konverter. Sehingga dapat ditarik kesimpulan juga bahwa kecepatan motor DC berbanding lurus dengan tegangan *output* konverter atau tegangan *armature* nya. Berikut merupakan grafik yang didapatkan dalam pengujian konverter dengan motor DC tanpa beban ketika mode buck.



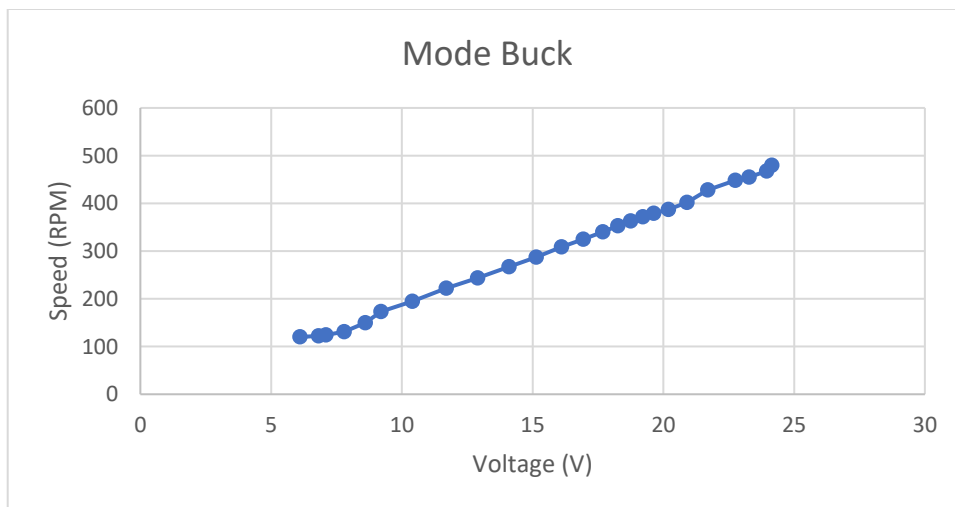
Gambar 4.19 Grafik Duty Cycle dengan tegangan ketika mode buck

Berdasarkan grafik diatas, nilai *duty cycle* diatur dari 13,89% hingga 47,22 % yang mana dari nilai *duty cycle* tersebut mempengaruhi *output* dari tegangan konverter yang terus naik dari nilai 6,1 Volt hingga 24,15 Volt. Nilai tegangan *output* tersebut didapatkan *error* sebesar 0,3% dari desain dan perhitungan. Kondisi itu dipengaruhi oleh rugi-rugi dan nilai yang tidak ideal pada komponen karena disesuaikan pada ketersediaan di pasar. Namun *error* dari nilai tersebut masih ditoleransi, karena konverter dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 4.20 Grafik Duty Cycle dengan Daya *output* ketika mode buck

Kemudian untuk data arus *output* dari konverter juga ikut naik seiring dengan kenaikan tegangan *output*. Namun kenaikan arus ini tidak terlalu signifikan, dikarenakan motor belum dibebani. Dari kenaikan tegangan dan arus menghasilkan daya *output* yang berbanding lurus dengan kedua nilai tersebut, yang mana didapatkan data bahwa daya *output* dari konverter adalah 60,85 watt.



Gambar 4.21 Grafik Duty Cycle dengan Daya *output* ketika mode buck

Grafik diatas menunjukkan bahwa kecepatan motor DC mengalami kenaikan dari nilai 120 hingga 480 rpm. Nilai tersebut sudah sesuai dari hasil simulasi dan rating pada motor. Hal ini terbukti sesuai dengan teori, bahwa nilai dari tegangan *armature* berbanding lurus dengan kecepatan motor DC.

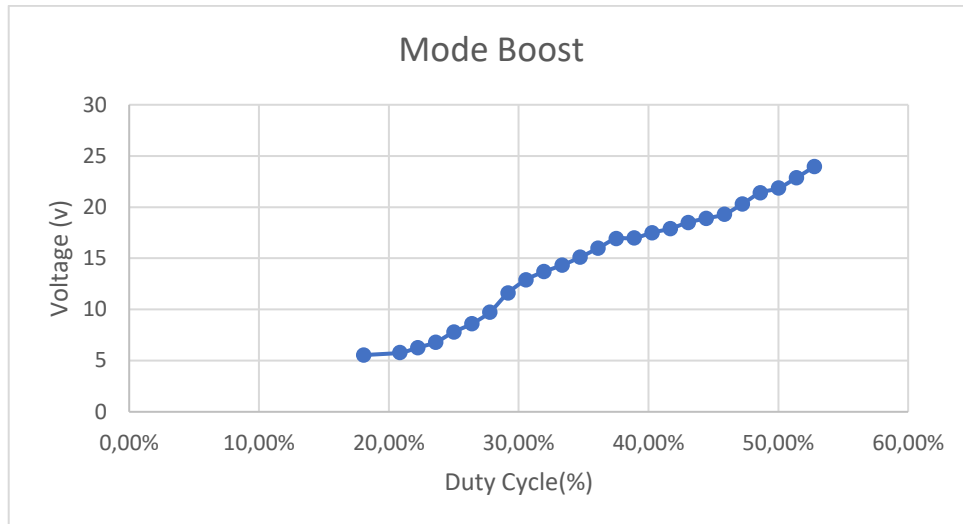
4.3.2 Pengujian Mode Boost

Pengujian ini dilakukan sama dengan pengujian konverter ketika mode buck yang menggunakan motor DC dengan spesifikasi yaitu 100 watt yang tidak bebani. Sehingga nanti dapat dilihat *output* dari konverter dapat mempengaruhi kecepatan motor DC. Pada pengujian mode boost, dilakukan pengaturan *duty cycle* secara *open loop*

Tabel 4.5 Data pengujian konverter ketika mode boost tidak berbeban

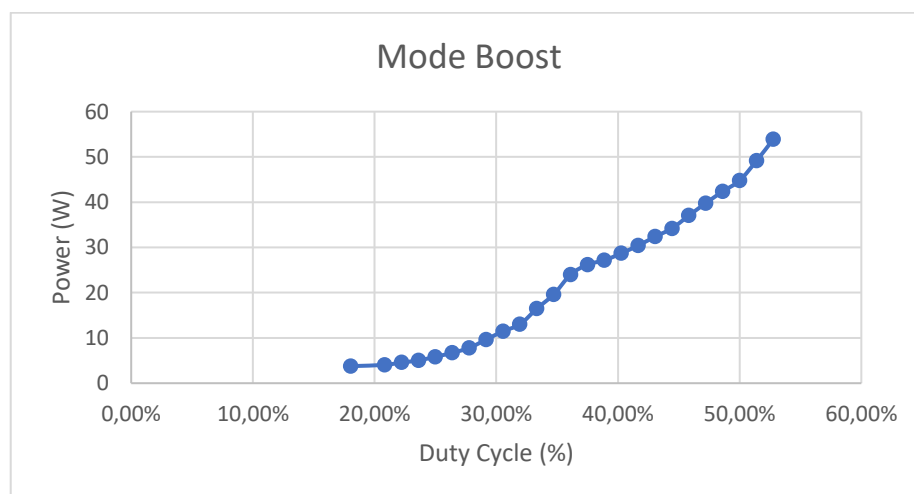
| Duty | V out | I out | P out | RPM | Torque |
|--------|-------|-------|-------|-----|--------|
| 18,06% | 5,54 | 0,68 | 3,76 | 106 | 0 |
| 20,83% | 5,78 | 0,7 | 4,04 | 108 | 0 |
| 22,22% | 6,27 | 0,73 | 4,57 | 114 | 0 |
| 23,61% | 6,8 | 0,74 | 5,03 | 120 | 0 |
| 25,00% | 7,8 | 0,75 | 5,85 | 150 | 0 |
| 26,39% | 8,6 | 0,78 | 6,70 | 172 | 0 |
| 27,78% | 9,74 | 1 | 7,79 | 192 | 0 |
| 29,17% | 11,6 | 0,83 | 9,62 | 219 | 0 |
| 30,56% | 12,9 | 0,89 | 11,48 | 245 | 0 |
| 31,94% | 13,69 | 0,95 | 13,00 | 261 | 0 |
| 33,33% | 14,32 | 1,15 | 16,46 | 274 | 0 |
| 34,72% | 15,1 | 1,3 | 19,63 | 290 | 0 |
| 36,11% | 15,99 | 1,5 | 23,98 | 307 | 0 |
| 37,50% | 16,91 | 1,55 | 26,21 | 320 | 0 |
| 38,89% | 17 | 1,6 | 27,15 | 335 | 0 |
| 40,28% | 17,5 | 1,64 | 28,73 | 356 | 0 |
| 41,67% | 17,9 | 1,7 | 30,43 | 367 | 0 |
| 43,06% | 18,5 | 1,75 | 32,37 | 378 | 0 |
| 44,44% | 18,9 | 1,81 | 34,20 | 384 | 0 |
| 45,83% | 19,3 | 1,92 | 37,05 | 397 | 0 |
| 47,22% | 20,3 | 1,96 | 39,78 | 415 | 0 |
| 48,61% | 21,4 | 1,98 | 42,37 | 432 | 0 |
| 50,00% | 21,85 | 2,05 | 44,79 | 458 | 0 |
| 51,39% | 22,86 | 2,15 | 49,14 | 468 | 0 |
| 52,78% | 23,97 | 2,25 | 53,93 | 479 | 0 |

Berdasarkan dari tabel diatas didapatkan data berupa nilai dari *duty cycle*, tegangan *output*, arus *output*, daya *output*, dan kecepatan dari motor DC. Untuk nilai *duty cycle* ditentukan sesuai dengan perhitungan pada subab sebelumnya. Pengujian ini membuktikan ketika *duty cycle* diatur dapat mempengaruhi terhadap *output* tegangan konverter. Sehingga kecepatan dari motor DC berbanding lurus dengan tegangan *output* konverter atau tegangan *armature* nya. Berikut merupakan grafik yang didapatkan dalam pengujian konverter dengan motor DC tanpa beban ketika mode boost



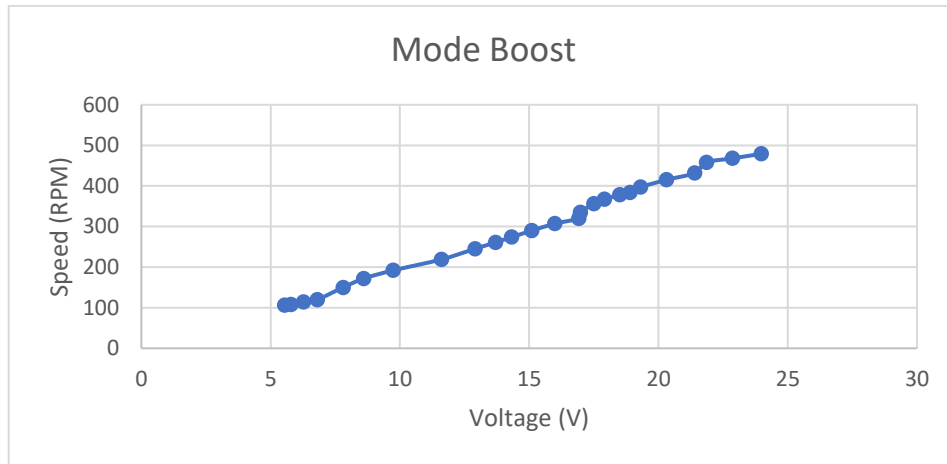
Gambar 4.22 Grafik *Duty cycle* dengan Tegangan ketika mode boost

Berdasarkan grafik diatas, nilai *duty cycle* diatur dari 18,06% hingga 52,78 % yang mana dari nilai *duty cycle* tersebut mempengaruhi *output* dari tegangan konverter yang terus naik dari nilai 5,54 Volt hingga 23,97 Volt. Nilai tegangan *output* tersebut didapatkan *error* sebesar 0,1% dari desain dan perhitungan. Kondisi itu dipengaruhi oleh rugi-rugi dan nilai yang tidak ideal pada komponen karena disesuaikan pada ketersediaan di pasar. Namun *error* dari nilai tersebut masih ditoleransi, karena konverter dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan



Gambar 4.23 Grafik *Duty Cycle* dengan Daya *output* ketika mode boost

Dari table dan grafik diatas diketahui untuk data arus *output* dari konverter juga ikut naik seiring dengan kenaikan tegangan *output*. Namun kenaikan arus ini tidak terlalu signifikan, dikarenakan motor belum dibebani. Dari kenaikan tegangan dan arus menghasilkan daya *output* yang berbanding lurus dengan kedua nilai tersebut, yang mana didapatkan data bahwa daya *output* dari konverter adalah 53,93 watt.



Gambar 4.24 Grafik Tegangan dengan Kecepatan ketika mode boost

Berdasarkan grafik diatas, dapat diketahui bahwa kecepatan motor DC mengalami kenaikan yang dipengaruhi oleh bertambahnya tegangan armaturnya. Kenaikan kecepatan tersebut diawali dari 106 hingga 479 RPM. Pada data tersebut terdapat *error* kecepatan sebesar 0,2% dari kecepatan yang tertera pada datasheet. *Error* tersebut dikarenakan terdapat rugi-rugi pada kopel motor DC dengan break unit. Namun kondisi itu masih ditoleransi, karena nilai yang didapatkan tidak terlalu besar selisihnya. Ditambah sistem masih bekerja dengan baik dan sesuai yang diharapkan.

4.4 Pengujian Konverter dengan motor DC Berbeban

Pada pengujian konverter dengan motor DC berbeban memiliki tujuan untuk mengetahui pembebanan pada motor DC dapat mempengaruhi kecepatan, tegangan, arus, serta parameter lainnya. Untuk nilai *duty cycle* pada pengujian ini diatur sesuai dengan desain dan perhitungan pada masing-masing mode, baik mode buck dan boost. Kemudian akan dilakukan pengujian dengan menggunakan pembebanan break unit pada laboratorium Konversi Energi.

4.4.1 Pengujian Mode Buck

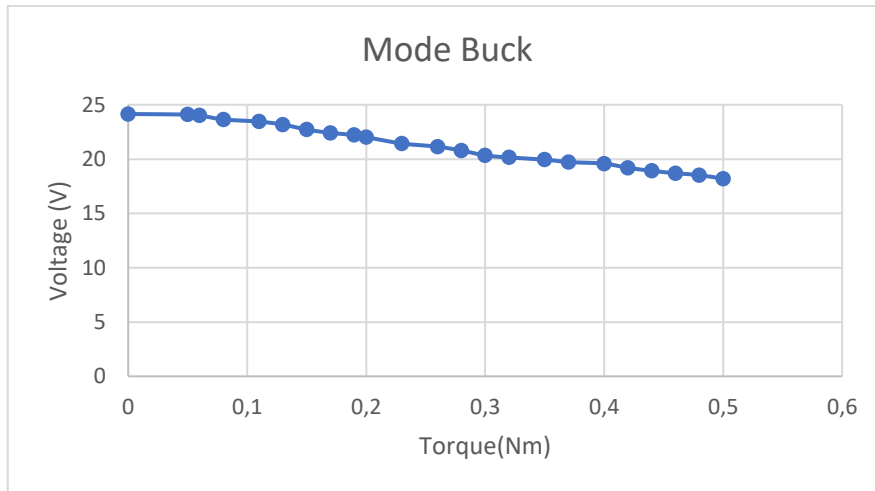
Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan motor DC 100 Watt. Kemudian akan diberikan pembebanan berupa break unit yang diatur nilainya sebesar 0 hingga 0,5 Nm. Nilai tersebut telah disesuaikan dengan rating pada data sheet motor DC. Kemudian untuk nilai dari *duty cycle* diatur sesuai dengan mode buck. Berikut merupakan data dari pengujian yang telah dilakukan:

Tabel 4.6 Data pengujian konverter ketika mode buck berbeban

| Duty | V out | I out | P out | RPM | Torque |
|--------|-------|-------|-------|-----|--------|
| 47,22% | 24,15 | 0,9 | 21,73 | 480 | 0 |
| 47,22% | 24,1 | 0,96 | 23,13 | 472 | 0,05 |
| 47,22% | 24,02 | 1 | 24,02 | 467 | 0,06 |
| 47,22% | 23,65 | 1,15 | 27,19 | 455 | 0,08 |
| 47,22% | 23,45 | 1,36 | 31,89 | 443 | 0,11 |

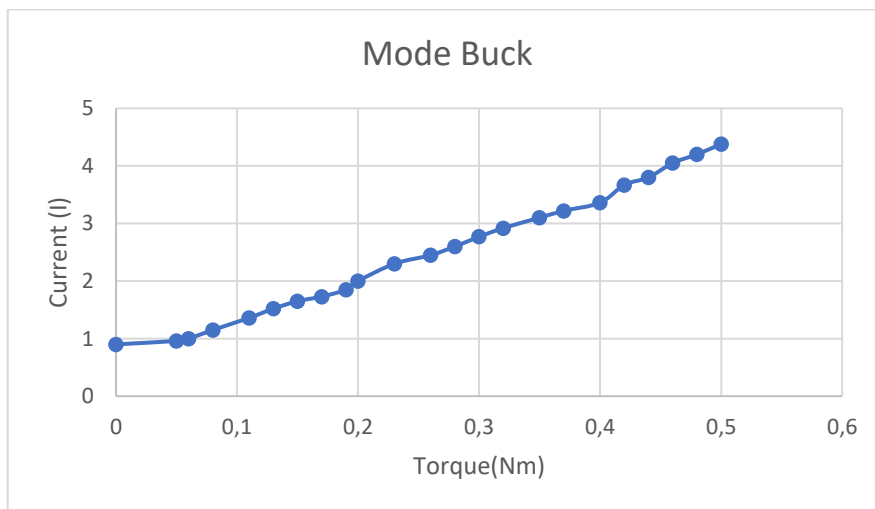
| Duty | V out | I out | P out | RPM | Torque |
|--------|-------|-------|-------|-----|--------|
| 47,22% | 23,18 | 1,52 | 35,23 | 435 | 0,13 |
| 47,22% | 22,72 | 1,65 | 37,48 | 426 | 0,15 |
| 47,22% | 22,41 | 1,73 | 38,76 | 415 | 0,17 |
| 47,22% | 22,22 | 1,85 | 41,10 | 405 | 0,19 |
| 47,22% | 22,02 | 2 | 44,04 | 395 | 0,2 |
| 47,22% | 21,44 | 2,3 | 49,31 | 389 | 0,23 |
| 47,22% | 21,14 | 2,45 | 51,79 | 379 | 0,26 |
| 47,22% | 20,79 | 2,6 | 54,05 | 369 | 0,28 |
| 47,22% | 20,34 | 2,77 | 56,34 | 350 | 0,3 |
| 47,22% | 20,15 | 2,92 | 58,83 | 342 | 0,32 |
| 47,22% | 19,95 | 3,1 | 61,84 | 338 | 0,35 |
| 47,22% | 19,73 | 3,22 | 63,53 | 325 | 0,37 |
| 47,22% | 19,58 | 3,36 | 65,78 | 320 | 0,4 |
| 47,22% | 19,2 | 3,67 | 70,46 | 314 | 0,42 |
| 47,22% | 18,92 | 3,8 | 71,89 | 306 | 0,44 |
| 47,22% | 18,7 | 4,05 | 75,73 | 295 | 0,46 |
| 47,22% | 18,52 | 4,2 | 77,78 | 290 | 0,48 |
| 47,22% | 18,2 | 4,38 | 79,71 | 285 | 0,5 |

Berdasarkan dari tabel diatas, parameter yang diubah-ubah adalah nilai toque pembebanan sehingga didapatkan data berupa nilai dari tegangan *output*, arus *output*, daya *output*, dan kecepatan dari motor DC. Untuk nilai *duty cycle* ditentukan sesuai dengan perhitungan pada subab sebelumnya. Pengujian ini ini bertujuan untuk membuktikan bahwa pembebanan break unit pada motor DC berpengaruh terhadap nilai kecepatan dan tegangan *output* konverter yang menurun. Namun untuk nilai arus *output* pada konverter semakin meningkat seusai dengan pembebanan yang diberikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Torque nilainya berbading terbalik dengan kecepatan dan tegangan. Sedangkan berbading lurus dengan nilai daripada arus *output* konverter. Disamping itu didapatkan data untuk nilai daya *output* konverter sebesar 79,71 Watt. Berikut merupakan grafik yang didapatkan dalam pengujian konverter dengan motor DC tanpa bebahan ketika mode buck



Gambar 4.25 Grafik Torque dengan Tegangan ketika mode buck

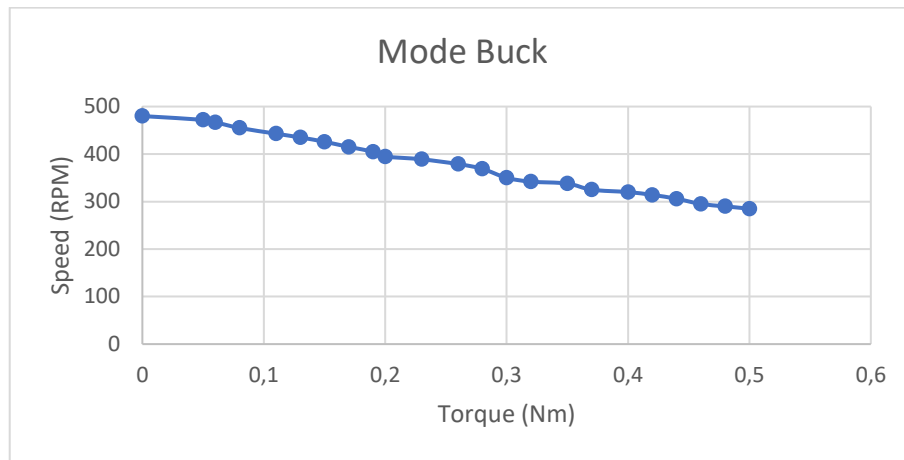
Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai tegangan mengalami penurunan ketika pembebanan torque yang semakin dinaikkan. Sehingga pada pengujian ini didapatkan data bahwa tegangan *output* sebesar 24,15 Volt ketika diberikan pembebanan dengan nilai torque 0 Nm. Kemudian saat torque mencapai pembebanan maksimal sebesar 0,5 Nm menyebabkan nilai tegangan menjadi turun hingga 18,2 Volt. Kondisi tersebut terbukti secara teori bahwa perbandingan anantara nilai Torque dengan tegangan *armature* adalah berbanding terbalik. Sehingga dapat disimpulkan untuk percobaan ini adalah sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 4.26 Grafik Torque dengan Arus ketika mode buck

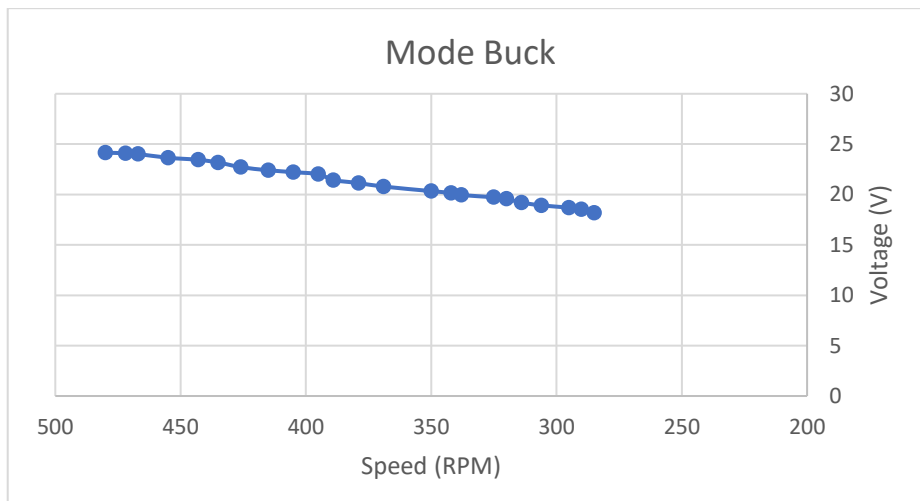
Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai arus semakin meningkat seiring dengan bertambahnya pembebanan. Dalam pengujian ini didapatkan nilai arus sebesar 4,38 Ampere ketika pembebanan dengan torque sebesar 0,5 Nm. Kenaikan dari arus ini masih dibawah dari nilai rating pada motor DC yaitu sebesar 5 A, sehingga masih dalam kondisi aman dan sesuai. Data arus yang didapatkan pada mode buck lebih tinggi dibandingkan pada mode boost. Hal tersebut dikarenakan daya dari power supply terserap terlebih dahulu oleh konverter pada mode buck. Hal ini disebabkan karena tegangan yang disupply lebih tinggi sehingga butuh penurunan tegangan, yang kemudian akan menyebabkan arus pada sistem akan perlahan lebih

naik. Kemudian dari kondisi tersebut terbukti secara teori bahwa ketika beban semakin ditambah maka nilai arus akan mengikuti atau berbanding lurus.



Gambar 4.27 Grafik Torque dengan Kecepatan ketika mode buck

Pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai kecepatan mengalami penurunan ketika pembebanan torque yang semakin dinaikkan. Sehingga pada pengujian ini didapatkan data bahwa kecepatan menurun dari 480 hingga 285 RPM ketika diberikan pembebanan dengan nilai torque yang dinaikkan dari 0 hingga 0,5 Nm. Kondisi tersebut membuktikan bahwa nilai pembebanan torque sangat mempengaruhi kecepatan motor DC, sehingga perbandingan torque dan kecepatan yaitu berbanding terbalik. Data pengujian tersebut juga sudah sesuai dengan teori dan hasil yang diharapkan.



Gambar 4.28 Grafik Kecepatan dengan Tegangan ketika mode buck

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai tegangan mengalami penurunan sehingga kecepatan dari motor DC juga menurun. Dalam pengujian ini didapatkan tegangan mengalami penurunan dengan nilai terendah adalah 18,2 Volt pada kecepatan motor DC yaitu 285 RPM. Penurunan nilai tegangan dan kecepatan disebabkan oleh semakin besarnya beban yang diberikan. Oleh karena itu ketika tegangan *armature* mengalami penurunan hal tersebut akan diikuti dengan penurunan pada kecepatan motor DC atau sebaliknya. Kondisi tersebut sesuai dengan teori, serta perbandingan antara tegangan *armature* dan kecepatan motor DC adalah berbanding lurus.

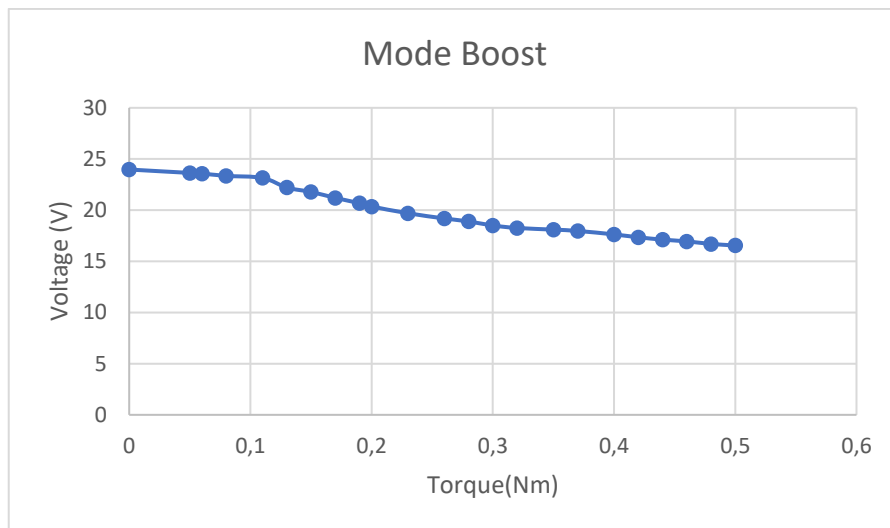
4.4.2 Pengujian mode Boost

Pengujian ini sama dengan yang dilakukan pada mode buck yaitu dengan menggunakan motor DC 100 Watt. Kemudian akan diberikan pembebanan berupa *break unit* yang diatur nilainya sebesar 0 hingga 0,5 Nm. Nilai tersebut telah disesuaikan dengan rating pada data sheet motor DC. Kemudian untuk nilai dari *duty cycle* diatur sesuai dengan mode boost. Namun dalam pengujian ini didapatn hasil yang berbeda dari mode buck. Berikut merupakan data dari pengujian yang telah dilakukan:

Tabel 4.7 Data pengujian konverter ketika mode boost berbeban

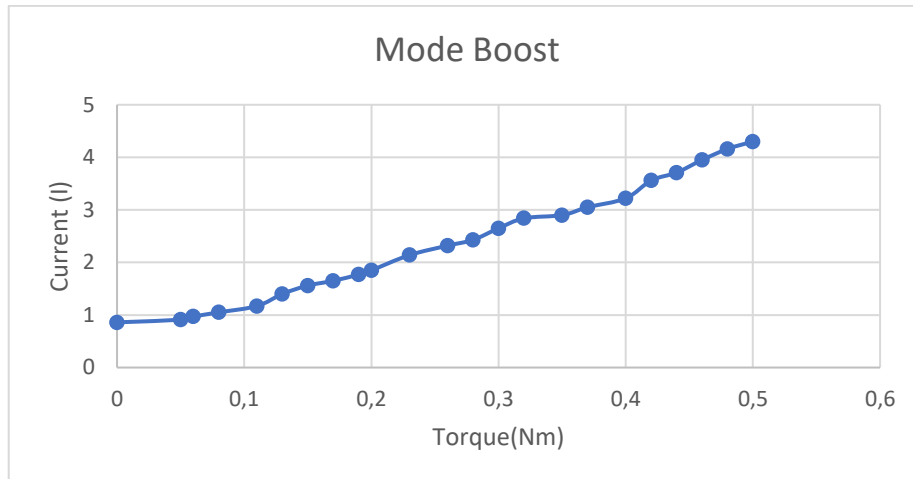
| Duty | V out | I out | P out | RPM | Torque |
|--------|-------|-------|---------|-----|--------|
| 52,78% | 23,97 | 0,86 | 20,6142 | 479 | 0 |
| 52,78% | 23,64 | 0,91 | 21,5124 | 475 | 0,05 |
| 52,78% | 23,58 | 0,97 | 22,8726 | 471 | 0,06 |
| 52,78% | 23,35 | 1,05 | 24,5175 | 461 | 0,08 |
| 52,78% | 23,15 | 1,17 | 27,0855 | 441 | 0,11 |
| 52,78% | 22,21 | 1,4 | 31,094 | 421 | 0,13 |
| 52,78% | 21,78 | 1,56 | 33,9768 | 409 | 0,15 |
| 52,78% | 21,2 | 1,65 | 34,98 | 400 | 0,17 |
| 52,78% | 20,68 | 1,77 | 36,6036 | 385 | 0,19 |
| 52,78% | 20,36 | 1,85 | 37,666 | 378 | 0,2 |
| 52,78% | 19,7 | 2,14 | 42,158 | 362 | 0,23 |
| 52,78% | 19,19 | 2,32 | 44,5208 | 348 | 0,26 |
| 52,78% | 18,9 | 2,43 | 45,927 | 340 | 0,28 |
| 52,78% | 18,5 | 2,65 | 49,025 | 329 | 0,3 |
| 52,78% | 18,26 | 2,84 | 51,8584 | 310 | 0,32 |
| 52,78% | 18,1 | 2,9 | 52,49 | 305 | 0,35 |
| 52,78% | 17,97 | 3,05 | 54,8085 | 298 | 0,37 |
| 52,78% | 17,63 | 3,22 | 56,7686 | 287 | 0,4 |
| 52,78% | 17,35 | 3,56 | 61,766 | 284 | 0,42 |
| 52,78% | 17,12 | 3,71 | 63,5152 | 275 | 0,44 |
| 52,78% | 16,95 | 3,95 | 66,9525 | 271 | 0,46 |
| 52,78% | 16,7 | 4,16 | 69,472 | 265 | 0,48 |
| 52,78% | 16,55 | 4,3 | 71,165 | 260 | 0,5 |

Berdasarkan dari tabel diatas, Untuk nilai *duty cycle* ditentukan sesuai dengan perhitungan pada subab sebelumnya yaitu pada mode boost. Kemudian untuk parameter yang diubah-ubah adalah nilai toque pembebanan sehingga didapatkan data berupa nilai dari tegangan *output*, arus *output*, daya *output*, dan kecepatan dari motor DC. Pengujian ini bertujuan untuk membuktikan bahwa pembebeban break unit pada motor DC berpengaruh terhadap nilai kecepatan dan tegangan *output* konverter yang menurun. Namun untuk nilai arus *output* pada konverter semakin meningkat seusai dengan pembebanan yang diberikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa Torque nilainya berbanding terbalik dengan kecepatan dan tegangan. Sedangkan berbanding lurus dengan nilai daripada arus *output* konverter. Disamping itu juga didapatkan data untuk daya ouput konverter ketika beban maksimal sebesar 71,16 Watt. Berikut merupakan grafik yang didapatkan dalam pengujian konverter dengan motor DC tanpa berbeban ketika mode boost.



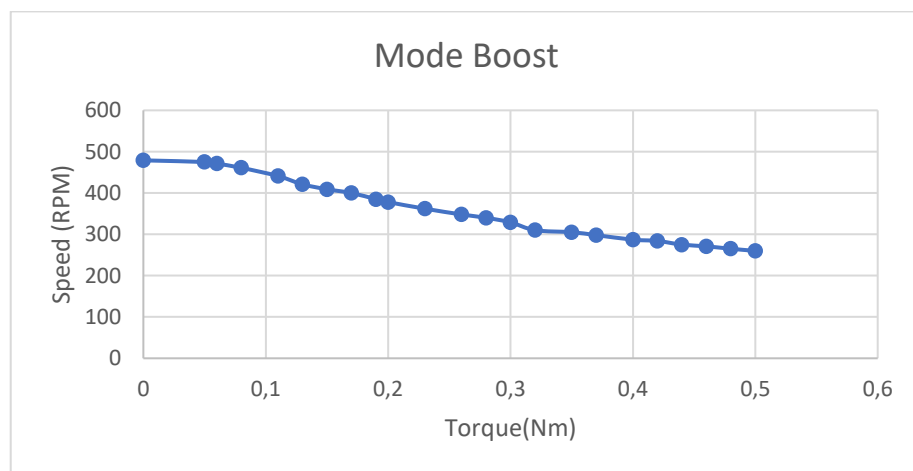
Gambar 4.29 Grafik Torque dengan Tegangan ketika mode boost

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai tegangan mengalami penurunan ketika pembebanan torque yang semakin dinaikkan. Sehingga pada pengujian ini didapatkan data bahwa tegangan *output* sebesar 23,97 Volt ketika diberikan pembebanan dengan nilai torque 0 Nm. Kemudian saat torque mencapai pembebanan maksimal sebesar 0,5 Nm menyebabkan nilai tegangan menjadi turun hingga 16,22 Volt. Kondisi tersebut terbukti secara teori bahwa perbandingan anantara nilai Toque dengan Tegangan terminal motor DC adalah berbanding terbaik. Sehingga dapat disimpulkan untuk percobaan ini adalah sesuai dengan yang diharapkan. Untuk nilai tegangan yang didapatakan lebih rendah dibandingkan dengan mode buck namun tidak terlalu jauh untuk selisihnya. Hal ini dikarenakan rugi-rugi inti yang terjadi pada komponen dan rugi mekanikal yang terdapat pada kopel motor DC dengan *break unit*.



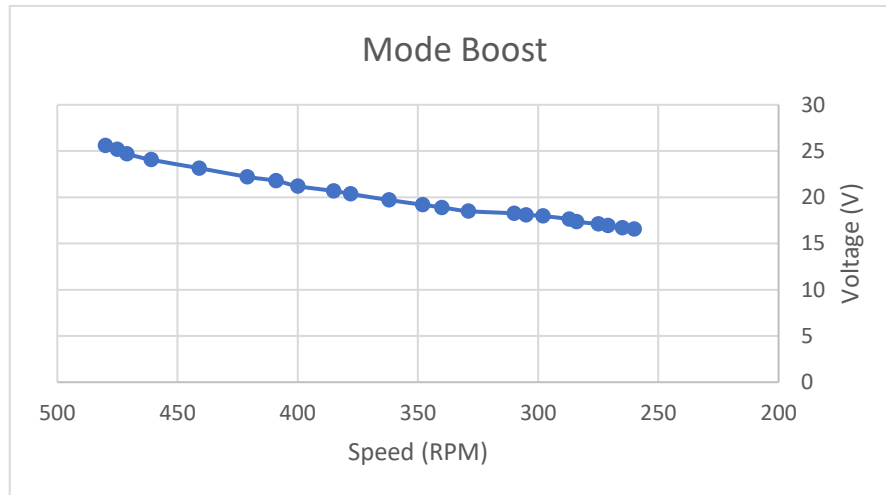
Gambar 4.30 Grafik Torque dengan Arus ketika mode boost

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai arus semakin meningkat seiring dengan bertambahnya pembebanan. Dalam pengujian ini didapatkan nilai arus sebesar 4,3 Ampere ketika pembebanan dengan torque sebesar 0,5 Nm. Nilai tersebut memiliki selisih sebesar 0,8 terhadap pengujian ketika mode buck. Kenaikan dari arus ini masih dibawah dari nilai rating pada motor DC yaitu sebesar 5 Ampere, sehingga masih dalam kondisi aman dan sesuai. Kemudian dari konidisi tersebut terbutkti secara teori bahwa ketika beban semakin ditambah maka nilai arus akan mengikuti atau berbanding lurus



Gambar 4.31 Grafik Torque dengan kecepatan ketika mode boost

Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai kecepatan mengalami penurunan ketika pembebanan torque yang semakin dinaikkan. Sehingga pada pengujian ini didapatkan data bahwa kecepatan menurun dari 479 hingga 260 RPM ketika diberikan pembebanan dengan nilai torque yang dinaikkan dari 0 hingga 0,5 Nm. Nilai kecepatan ini lebih rendah dibandingkan dengan mode buck namun selisihnya tidak terlalu jauh. Hal ini dikarenakan rugi-rugi pada komponen dan rugi mekanikal yang disebabkan pada kopel motor DC. Namun dengan data tersebut membuktikan bahwa nilai pembebanan torque sangat mempengaruhi kecepatan motor DC, sehingga perbandingan torque dan kecepatan yaitu berbanding terbalik. Data pengujian tersebut juga sudah sesuai dengan teori dan hasil yang diharapkan



Gambar 4.32 Grafik kecepatan dengan tegangan ketika mode boost

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa nilai tegangan mengalami penurunan sehingga kecepatan dari motor DC juga menurun. Dalam pengujian ini didapatkan nilai tegangan mengalami penurunan dengan nilai terendah adalah 16,55 Volt pada kecepatan motor DC yaitu 260 RPM. Penurunan nilai tegangan dan kecepatan disebabkan oleh semakin besarnya beban yang diberikan. Oleh karena itu ketika tegangan *armature* mengalami penurunan hal tersebut akan diikuti dengan penurunan pada kecepatan motor DC atau sebaliknya. Kondisi tersebut sesuai dengan teori, serta perbandingan antara tegangan *armature* dan kecepatan motor DC adalah berbanding lurus.

4.5 Pengujian Konverter dengan motor DC untuk kecepatan dijaga Tetap

Setelah melakukan pengujian pengujian konverter pada mode buck maupun boost dengan kondisi berbeban dan tidak berbeban. Maka tahap selanjutnya adalah pengujian konverter dengan motor DC yang bertujuan untuk menjaga kecepatannya tetap ketika diberikan beban yang bervariasi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah konverter dapat bekerja secara baik atau tidak ketika motor DC diberikan beban yang bervariasi. Selain itu, Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah algoritma *Fuzzy Logic Controller* telah bekerja dengan baik atau tidak ketika menerima respon dari kecepatan dan tegangan dari konverter yang berubah.

4.5.1 Pengujian Mode Buck

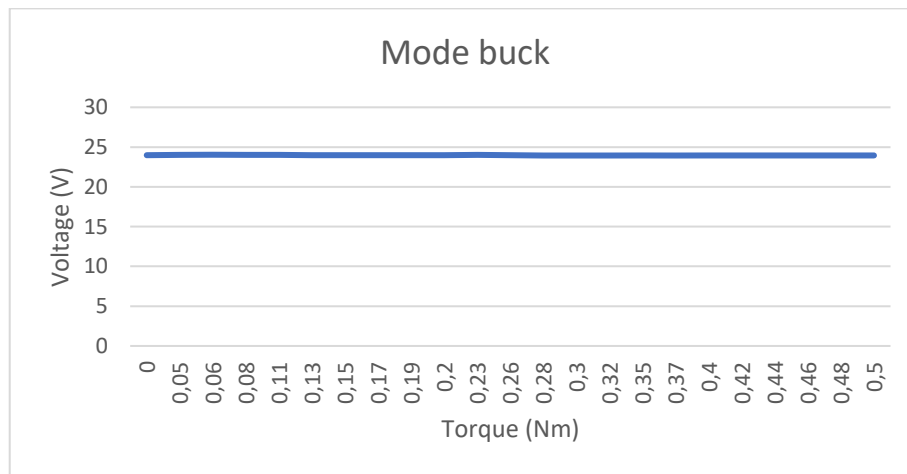
Pada pengujian ini motor DC yang digunakan mempunyai spesifikasi 100 Watt. Dimana untuk nilai set poinnya sudah diatur sesuai dari perhitungan tegangan konverter pada mode buck. Kemudian motor DC dalam pengujian ini akan diberikan pembebanan dari break unit, dengan cara menaikkan torque yang dimulai dari 0-0,5 Nm. Kemudian dilihat apakah ketika diberikan beban, kecepatan dari motor DC dapat stabil atau tidak. Karena disisi lain tegangan *output* konverter akan dijaga tetap, karena tegangan *output* dari konverter merupakan tegangan *input* atau tegangan *armature* dari motor DC. Seperti percobaan pada subab sebelumnya , bahwa perbandingan antara tegangan dan kecepatan motor adalah berbanding lurus. Dengan kondisi tersebut, konverter harus mampu menjaga tegangan sehingga putaran motor DC dapat stabil ketika diberikan pembebanan yang bervariasi. Berikut merupakan data yang didapatkan ketika pengujian konverter dengan motor untuk kecepatan dijaga tetap pada mode buck:

Tabel 4.8 Data pengujian konverter ketika mode Buck

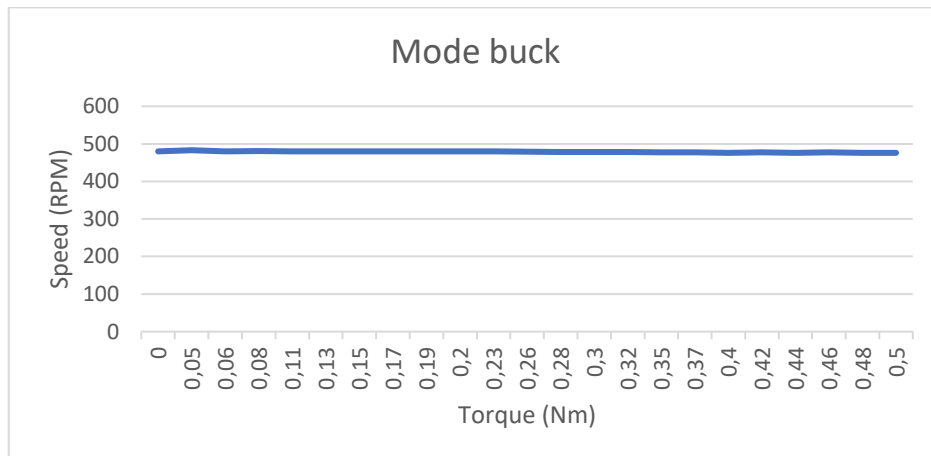
| V out | I out | P out | RPM | Torque | P motor |
|-------|-------|--------|-----|--------|---------|
| 24 | 0,92 | 22,08 | 480 | 0 | 0,00 |
| 24,03 | 1,27 | 30,52 | 483 | 0,05 | 2,53 |
| 24,03 | 1,55 | 37,26 | 480 | 0,06 | 3,01 |
| 24,03 | 1,88 | 45,18 | 481 | 0,08 | 4,03 |
| 24,02 | 2,25 | 54,05 | 480 | 0,11 | 5,53 |
| 24 | 2,33 | 55,92 | 480 | 0,13 | 6,53 |
| 24 | 2,48 | 59,52 | 480 | 0,15 | 7,54 |
| 24 | 2,66 | 63,84 | 480 | 0,17 | 8,54 |
| 24 | 2,75 | 66,00 | 480 | 0,19 | 9,55 |
| 24 | 2,85 | 68,40 | 480 | 0,2 | 10,05 |
| 24,01 | 3 | 72,03 | 480 | 0,23 | 11,56 |
| 23,98 | 3,23 | 77,46 | 479 | 0,26 | 13,04 |
| 23,96 | 3,45 | 82,66 | 478 | 0,28 | 14,01 |
| 23,96 | 3,6 | 86,26 | 478 | 0,3 | 15,01 |
| 23,96 | 3,75 | 89,85 | 478 | 0,32 | 16,01 |
| 23,95 | 3,98 | 95,32 | 477 | 0,35 | 17,47 |
| 23,96 | 4,18 | 100,15 | 477 | 0,37 | 18,47 |
| 23,95 | 4,3 | 102,99 | 476 | 0,4 | 19,93 |
| 23,95 | 4,42 | 105,86 | 477 | 0,42 | 20,97 |
| 23,95 | 4,55 | 108,97 | 476 | 0,44 | 21,92 |
| 23,95 | 4,64 | 111,13 | 477 | 0,46 | 22,97 |
| 23,95 | 4,75 | 113,76 | 476 | 0,48 | 23,91 |
| 23,95 | 4,82 | 115,44 | 476 | 0,5 | 24,91 |

Berdasarkan dari tabel diatas, konverter *buck boost* dapat menjaga tegangan *output* sehingga kecepatan pun dapat distabilkan ketika diberikan beban yang bervariasi. Dapat diketahui bahwa nilai tegangan dijaga konstan dengan nilai yang paling tertinggi adalah 24,03 Volt, sedangkan untuk nilai yang paling terendah adalah 23,95 Volt. Dapat diketahui untuk nilai rata-rata tegangan adalah 23,98 Volt. Dari nilai ini dapat terlihat bahwa konverter mampu menjaga tegangan meskipun motor diberikan beban yang bervariasi. Hanya selisih 0,02 dari set poin tegangan yang diberikan sehingga didapatkan *error* sebesar 0,08%. Kemudian berdasarkan data diatas juga dapat diketahui bahwa kecepatan dari motor DC dapat dijaga

konstan walaupun diberikan beban yang bervariasi. Didapatkan nilai kecepatan motor DC yang paling tertinggi adalah 483 rpm dan nilai yang terendah adalah 476 RPM. Kemudian untuk nilai rata-rata kecepatan motor DC adalah 478 rpm. Dari nilai yang telah ditentukan hanya berselisih 2 rpm, sehingga didapatkan *error* sebesar 0,4%. Nilai dari kecepatan dan tegangan lebih relatif menurun, namun tidak terlalu jauh dari set poin yang diberikan. Oleh karena bisa disimpulkan bahwa sistem dapat bekerja sesuai yang diharapkan dan mampu menjaga kecepatan motor DC ketika diberikan beban yang bervariasi. Meskipun didapatkan *error*, ini dianggap toleransi daripada komponen dan peralatan yang digunakan saat pengujian. Sehingga menyebabkan rugi-rugi electrical dan mekanikal. Berikut merupakan grafik pengujian dari tegangan dan kecepatan:

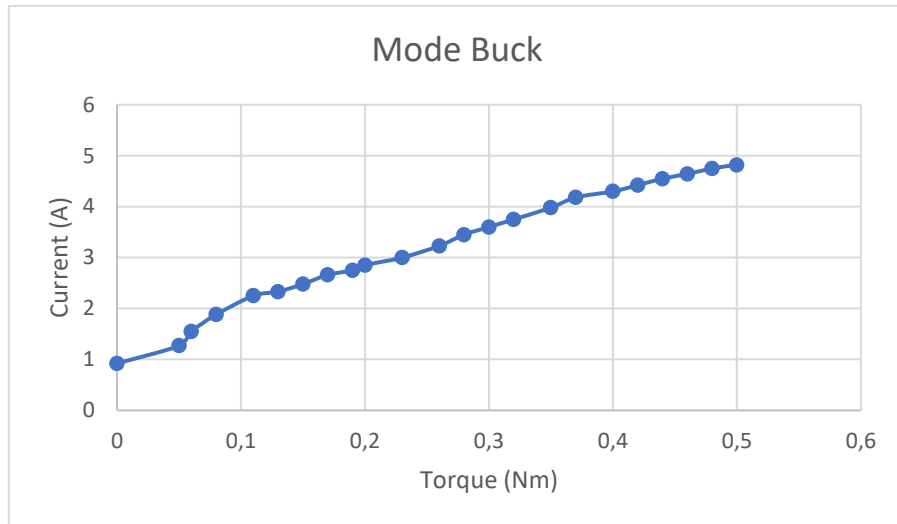


Gambar 4.33 Grafik Torque dan Tegangan ketika mode Buck



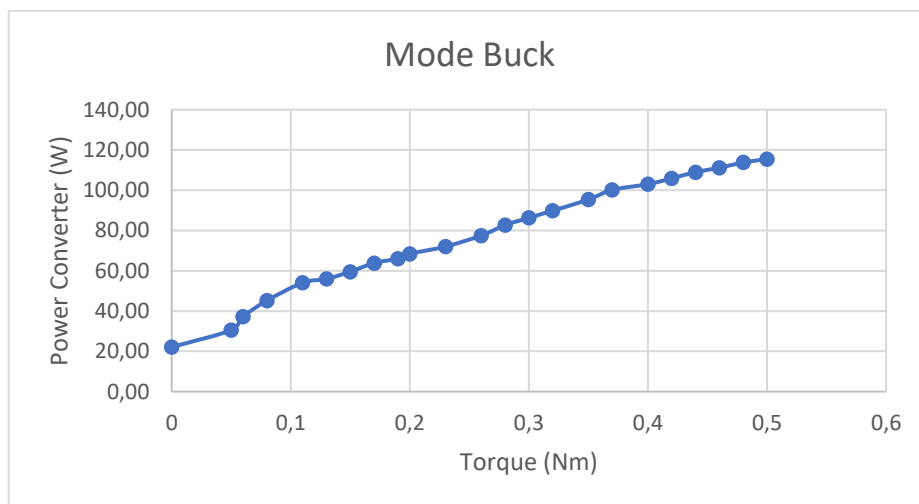
Gambar 4.34 Grafik Torque dan Tegangan ketika mode Buck

Berdasarkan dari kedua grafik tersebut, terlihat bahwa tegangan *output* dapat dijaga konstan sehingga kecepatan motor DC dapat stabil juga ketika diberikan beban yang bervariasi. Namun Dari kedua grafik tersebut lebih cenderung menurun, dikarenakan kurang sensitifnya sensor yang digunakan dan program yang dibuat. Namun *error* tersebut tidak terlalu besar sehingga masih dianggap toleransi karena sistem dapat bekerja dengan baik dan sesuai yang diharapkan



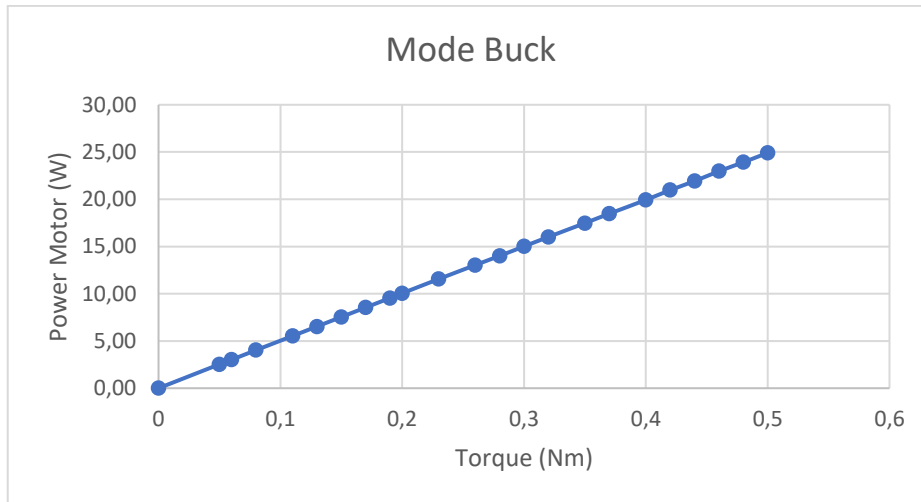
Gambar 4.35 Grafik Torque dan Arus ketika mode Buck

Berdasarkan dari grafik diatas, bahwa nilai arus semakin meningkat ketika torque dinaikkan. Didapatkan data bahwa nilai arus yaitu 4,82 Ampere dengan torqe 0,5 Nm. Nilai arus tersebut masih aman dan dibawah rating daripada motor DC yaitu 5Ampere. Hubungan antara arus dan torque adalah berbanding lurus. Karena arus pada motor DC didapatkan karena adanya pembebanan. Sehingga dari hasil pengujian tersebut dapat dikatakan seusai dengan teori atau persamaa pada motor DC.



Gambar 4.36 Grafik Torque dan Daya Konverter ketika mode Buck

Berdasarkan grafik diatas, menunjukkan bahwa nilai daya *output* konverter semakin meningkat ketika nilai pembebanan dinaikkan. Pada kondisi ini, tegangan dijaga konstan sehingga arus nya akan lebih naik dibanding ketika tegangan tidak dijaga konstan. Sehingga dari naiknya arus tersebut menghasilkan daya *output* yang bertambah besar. Daya *output* konverter didapatkan pada nilai 115, 44 Watt ketika diberikan pembebanan sebesar 0,5Nm. Nilai tersebut masih dalam batas aman, karena konverter *buck boost* didesain dengan kapasitas sebesar 120 Watt.



Gambar 4.37 Torque dan Daya Motor ketika mode Buck

Berdasarkan grafik diatas, nilai daya *output* motor DC semakin meningkat dengan ditambahkan pembebanan. Nilai daya *output* pada motor DC sebesar 24,91 Watt ketika diberikan pembebanan sebesar 0,5Nm. Nilai daya *output* motor tersebut seperempat dari rating motor nya yaitu 100 watt. Karena pada datasheet diketahui untuk mencapai daya tersebut harus diberikan pembebanan yang maksimum hingga 2Nm. Ketika pada pembebanan itu kondisi motor akan diam dan tidak berputar. Karena pengujian pada penelitian ini dilakukan untuk menjaga kecepatan motor ketika diberikan beban yang bervariasi. Sehingga pembebanan yang diberikan hanya seperempat dari total kapasitas daya *output* motor.

4.5.2 Pengujian Mode Boost

Pengujian ini sama dengan pengujian mode buck. Motor DC yang digunakan mempunyai spesifikasi 100 Watt. Dimana untuk nilai set poinnya sudah diatur sesuai dari perhitungan tegangan konverter pada mode boost. Kemudian motor DC dalam pengujian ini akan diberikan pembebanan dari break unit, dengan cara menaikkan torque yang dimulai dari 0-0,5 Nm. Kemudian dilihat apakah ketika diberikan beban, kecepatan dari motor DC dapat stabil atau tidak. Karena disisi lain tegangan *output* konverter akan dijaga tetap, karena tegangan *output* dari konverter merupakan tegangan *input* atau tegangan *armature* dari motor DC. Seperti percobaan pada subab sebelumnya , bahwa perbandingan antara tegangan dan kecepatan motor adalah berbanding lurus. Dengan kondisi tersebut, konverter harus mampu menjaga tegangan sehingga putaran motor DC dapat stabil ketika diberikan pembebanan yang bervariasi. Berikut merupakan data yang didapatkan ketika pengujian konverter dengan motor untuk kecepatan dijaga tetap pada mode boost:

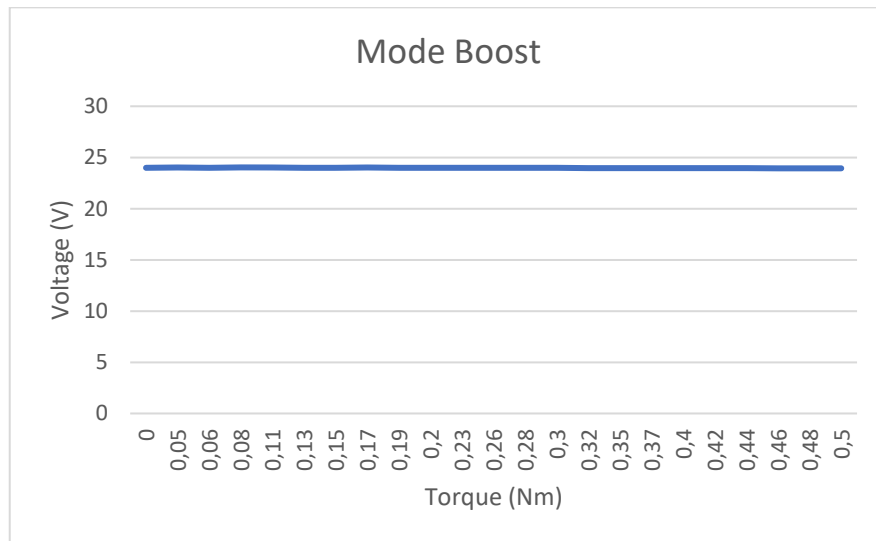
Tabel 4.9 Data pengujian konverter ketika mode Boost

| V out | I out | P out | RPM | Torque | P motor |
|-------|-------|-------|-----|--------|---------|
| 24 | 0,8 | 21,12 | 480 | 0 | 0,00 |
| 24,02 | 1,16 | 27,86 | 483 | 0,05 | 2,53 |
| 24 | 1,43 | 34,32 | 480 | 0,06 | 3,01 |
| 24,03 | 1,75 | 42,05 | 481 | 0,08 | 4,03 |

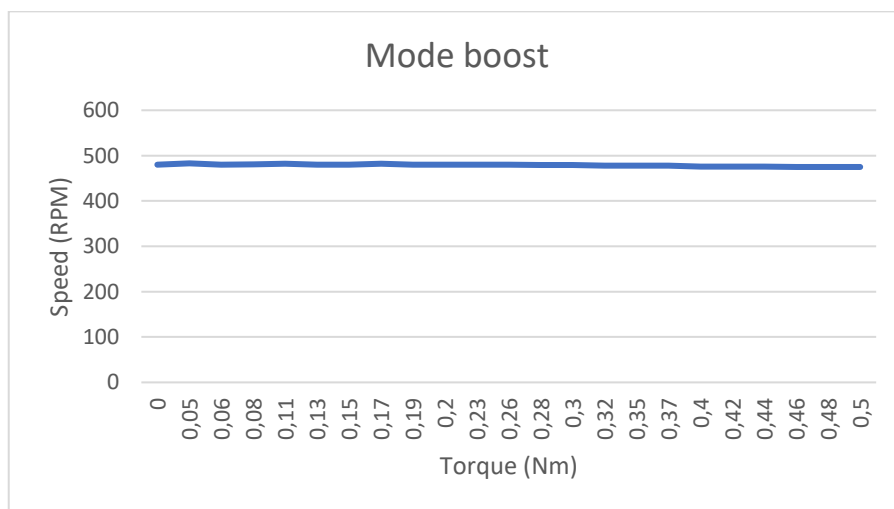
| V out | I out | P out | RPM | Torque | P motor |
|-------|-------|--------|-----|--------|---------|
| 24,02 | 2,15 | 51,64 | 482 | 0,11 | 5,55 |
| 24 | 2,27 | 54,48 | 480 | 0,13 | 6,53 |
| 24 | 2,45 | 58,80 | 480 | 0,15 | 7,54 |
| 24,02 | 2,6 | 62,45 | 482 | 0,17 | 8,58 |
| 24 | 2,68 | 64,32 | 480 | 0,19 | 9,55 |
| 24 | 2,82 | 67,68 | 480 | 0,2 | 10,05 |
| 24 | 3 | 72,00 | 480 | 0,23 | 11,56 |
| 24 | 3,2 | 76,80 | 480 | 0,26 | 13,06 |
| 23,98 | 3,38 | 81,05 | 479 | 0,28 | 14,04 |
| 23,98 | 3,51 | 84,17 | 479 | 0,3 | 15,04 |
| 23,97 | 3,7 | 88,69 | 478 | 0,32 | 16,01 |
| 23,97 | 3,93 | 94,20 | 478 | 0,35 | 17,51 |
| 23,97 | 4,11 | 98,52 | 478 | 0,37 | 18,51 |
| 23,95 | 4,2 | 100,59 | 476 | 0,4 | 19,93 |
| 23,95 | 4,35 | 104,18 | 476 | 0,42 | 20,92 |
| 23,95 | 4,42 | 105,86 | 476 | 0,44 | 21,92 |
| 23,94 | 4,54 | 108,69 | 475 | 0,46 | 22,87 |
| 23,94 | 4,65 | 111,32 | 475 | 0,48 | 23,86 |
| 23,94 | 4,77 | 114,19 | 475 | 0,5 | 24,86 |

Dari hasil data pengujian diatas, konverter *buck boost* dapat menjaga tegangan *output* sehingga kecepatan pun dapat distabilkan ketika diberikan beban yang bervariasi. Untuk mode boost nilai yang didapatkan dari pengujian hampir sama namun terdapat selisih dengan mode buck yang tidak terlalu jauh. Nilai Tegangan yang didapatkan relatif lebih rendah namun tetap sesuai dengan *output* tegangan konverter yang diharapkan. Dapat diketahui bahwa nilai tegangan dijaga konstan dengan nilai yang paling tertinggi adalah 24,02 Volt, sedangkan untuk nilai yang paling terendah adalah 23,94 Volt. Dapat diketahui untuk nilai rata-rata tegangan adalah 23,98 Volt. Dari nilai ini dapat terlihat bahwa konverter mampu menjaga tegangan meskipun motor diberikan beban yang bervariasi. Hanya selisih 0,02 dari set poin tegangan yang diberikan sehingga didapatkan *error* sebesar 0,08% pada mode boost. Kemudian berdasarkan data diatas juga dapat diketahui bahwa kecepatan dari motor DC dapat dijaga konstan walaupun diberikan beban yang bervariasi. Didapatkan nilai kecepatan motor DC yang paling tertinggi adalah 482 rpm dan nilai yang terendah adalah 475 RPM. Kemudian untuk nilai rata-rata kecepatan motor DC adalah 479 RPM. Dari nilai yang telah ditentukan hanya berselisih 1 rpm, sehingga didapatkan *error* sebesar 0,2%. Nilai rata-rata kecepatan pada mode boost lebih dibandingkan dengan mode buck. Oleh karena bisa disimpulkan bahwa sistem dapat bekerja sesuai yang diharapkan dan mampu menjaga kecepatan motor DC ketika diberikan beban yang bervariasi. Nilai dari kecepatan dan tegangan lebih relatif menurun, namun tidak

terlalu jauh dari set poin yang diberikan Meskipun terdapat *error*, ini dinggap toleransi daripada komponen dan peralatan yang digunakan saat pengujian. Sehingga mneyebakan rugi-rugi electrical dan mekanikal. Berikut merupakan grafik pengujian dari tegangan dan kecepatan :

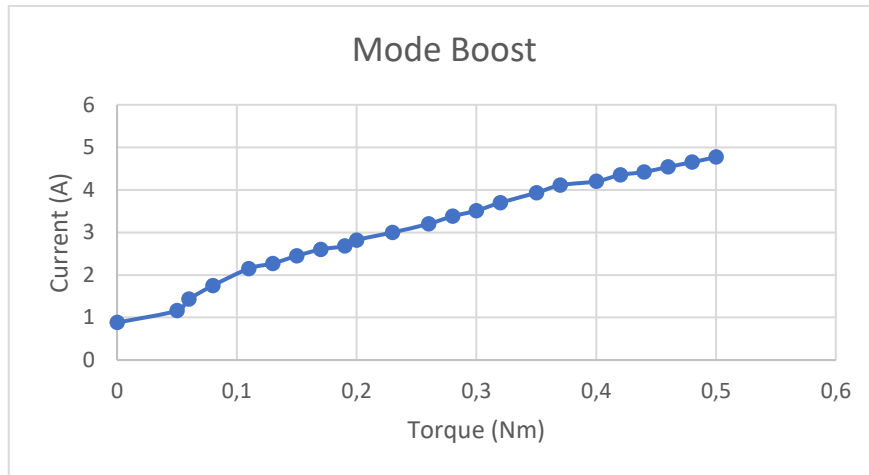


Gambar 4.38 Grafik Torque dan Tegangan ketika mode Boost



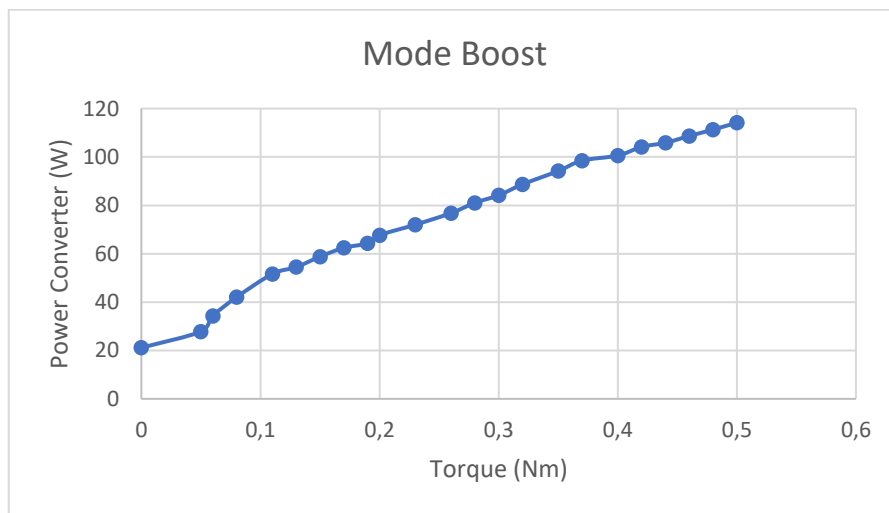
Gambar 4.39 Grafik Torque dan Tegangan ketika mode Boost

Berdasarkan dari grafik yang diatas, terlihat bahwa tegangan *output* dapat dijaga konstan sehingga kecepatan motor DC dapat stabil juga ketika diberikan beban yang bervariasi. Kondisi tersebut juga sama ketika dilakukan pengujian pada mode buck. Beban yang diberikan pada pengujian ini adalah break unit dengan mengatur torque bebannya mulai dari 0 hingga 0,5 Nm. Namun Dari kedua grafik tersebut lebih cenderung menurun, dikarenakan kurang sensitifnya sensor yang digunakan dan program yang dibuat. Namun *error* tersebut tidak terlalu besar sehingga masih dianggap toleransi karena sistem dapat bekerja dengan baik dan seusai yang diharapkan.



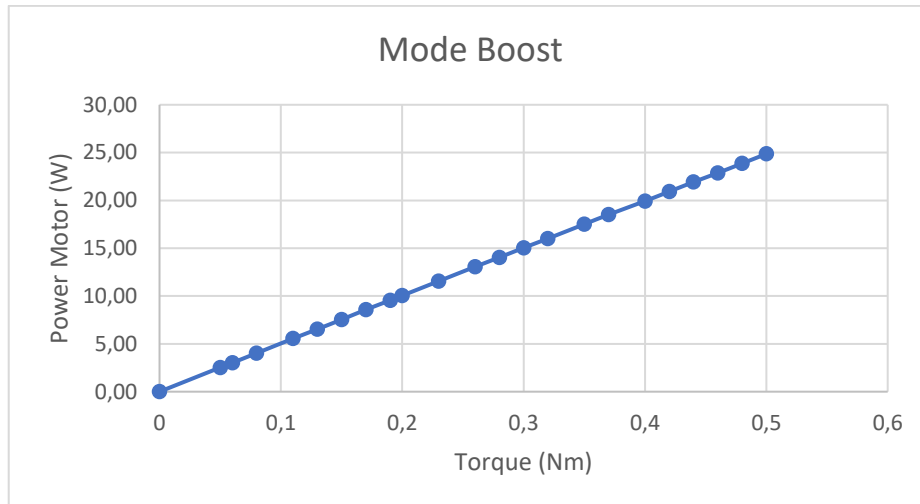
Gambar 4.40 Grafik Torque dan arus ketika mode Boost

Berdasarkan dari grafik diatas, bahwa nilai arus semakin meningkat ketika torque dinaikkan. Sehingga didapatkan data bahwa nilai arus yaitu 4,77 Ampere dengan torque 0,5 Nm. Kondisi dari motor masih dalam kondisi aman karena nilai arus tersebut dibawah rating daripada motor DC yaitu 5 Ampere. Hubungan antara arus dan torque adalah berbanding lurus. Karena arus pada motor DC didapatkan karena adanya pembebanan. Sehingga dari hasil pengujian tersebut dapat dikatakan sesuai dengan teori dan kondisi yang diharapkan



Gambar 4.41 Grafik Torque dan Daya konverter ketika mode Boost

Berdasarkan grafik diatas, menunjukkan bahwa nilai daya *output* konverter semakin meningkat ketika nilai pembebanan dinaikkan. Pada kondisi ini, tegangan dijaga konstan sehingga arusnya akan lebih naik dibanding ketika tegangan tidak dijaga konstan. Sehingga dari naiknya arus tersebut menghasilkan daya *output* yang bertambah besar. Daya *output* konverter didapatkan pada nilai 114,19 Watt ketika diberikan pembebanan sebesar 0,5Nm. Nilai tersebut masih dalam batas aman, karena konverter *buck boost* didesain dengan kapasitas sebesar 120 Watt.



Gambar 4.42 Grafik Torque dan Daya Motor ketika mode Boost

Berdasarkan grafik diatas, nilai daya *output* motor DC semakin meningkat dengan ditambahnya pembebanan. Kondisi tersebut dapat dianalisa dari persamaan daya sama dengan torque dikalikan dengan omega. Yang hasilnya untuk daya *output* dan torque adalah berbanding lurus. Nilai daya *output* pada motor DC sebesar 24,86 Watt ketika diberikan pembebanan sebesar 0,5Nm. Nilai daya *output* motor tersebut seperempat dari rating motor nya yaitu 100 watt. Karena pada datasheet diketahui untuk mencapai daya tersebut harus diberikan pembebanan yang maksimum hingga 2 Nm. Ketika pada pembebanan itu kondisi motor akan diam dan tidak berputar. Karena pengujian pada penelitian ini dilakukan untuk menjaga kecepatan motor ketika diberikan beban yang bervariasi. Sehingga pembebanan yang diberikan hanya seperempat dari total kapasitas daya *output* motor. Dan tidak dilanjutkan untuk pembebanan hingga maksimum.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, implementasi dan pengujian dari *buck boost converter* untuk kontrol kecepatan motor DC berbasis *Fuzzy Logic Controller* dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perbandingan yang didapatkan oleh simulasi dan implementasi menunjukkan nilai simulasi lebih baik dibanding dengan implementasi, hal ini dikarenakan penggunaan komponen yang tidak ideal dalam implementasi
2. Didapatkan efisiensi *buck boost converter* ketika disimulasikan adalah 93,03% untuk mode *buck* dan 94% ketika mode *boost*.
3. Implementasi *buck boost converter* dalam penelitian ini dapat bekerja sesuai desain dengan rata-rata efisiensi ketika diberikan pembebanan 10-100 % adalah 85,3% saat mode *buck* dan 86,79% saat mode *boost*
4. Penggunaan *Buck boost converter* FLC ketika dihubungkan dengan motor DC memiliki efisiensi rata-rata sebesar 71,55% ketika mode *buck* dan 74,86% ketika mode *boost*
5. Pada pengujian motor DC berbeban didapatkan bahwa *buck boost converter* FLC dapat menjaga rata-rata tegangan *output* yaitu 23,98 Volt dengan nilai *error* sebesar 0,02% ketika mode *buck* dan rata-rata *tegangan output* yaitu 23,95 Volt dengan nilai *error* sebesar 0,08% ketika mode *boost*, hal ini disebabkan oleh komponen yang tidak ideal dalam proses implementasi alat.
6. Pada pengujian motor DC berbeban didapatkan bahwa *buck boost converter* FLC dapat menjaga rata-rata kecepatan motor DC sebesar 478 RPM dengan nilai *error* yaitu 0,4%, hal ini dikarenakan penggunaan komponen yang tidak ideal pada proses implementasi alat.

5.2 Saran

Dari penelitian ini ada beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Pemilihan sensor arus dan sensor tegangan yang lebih baik pada konverter sehingga mendapatkan nilai yang lebih akurat dan presisi
2. Dikarenakan rugi-rugi pada konverter terdapat pada induktor, sehingga diperlukan pemilihan kawat induktor yang memiliki resistansi yang rendah agar didapatkan hasil yang lebih optimal pada konverter

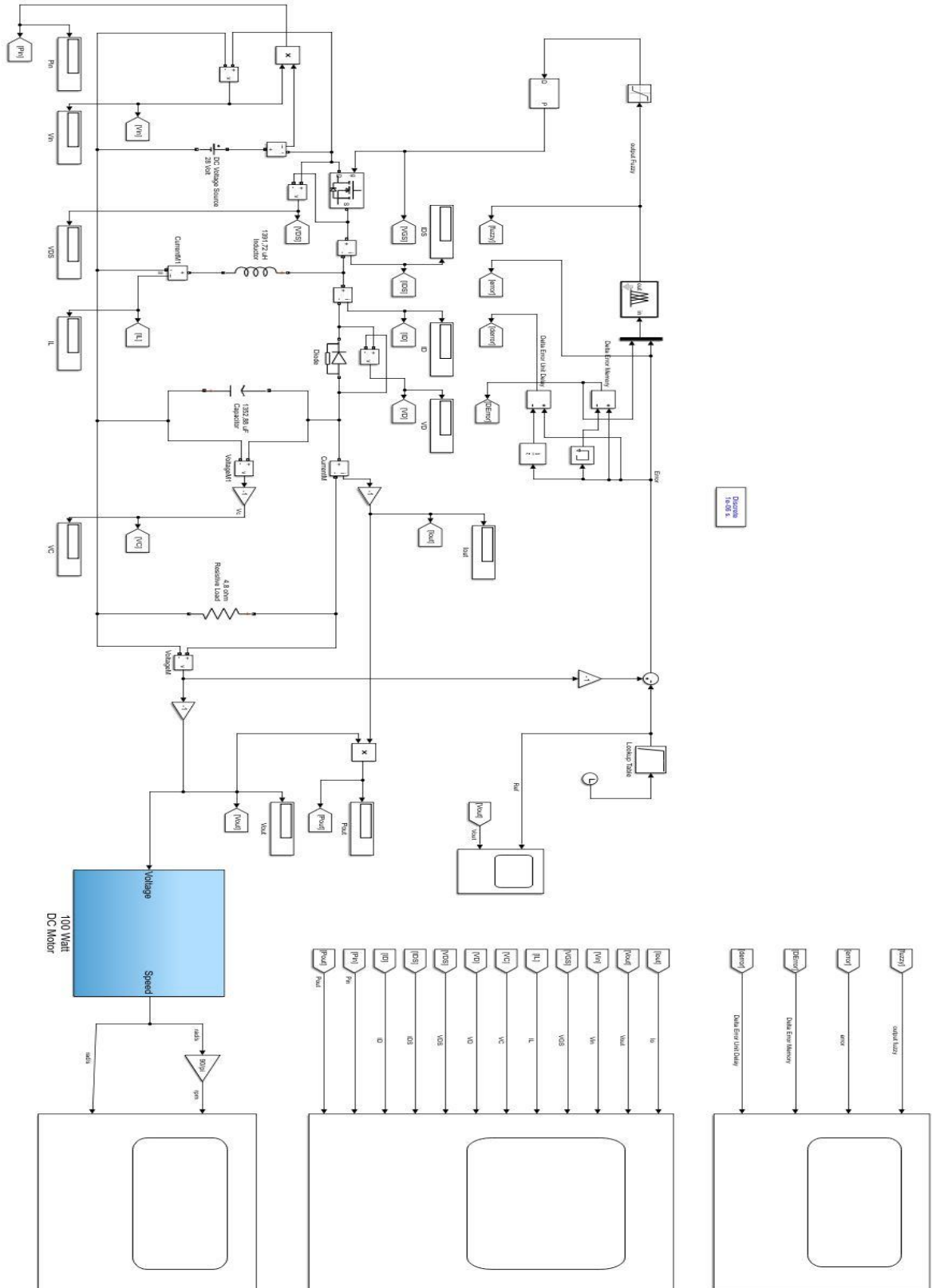
DAFTAR PUSTAKA

- Ajiatmo, D., & Robandi, I. (2018). Analisis Pengendalian Kecepatan DC Motor Berbasis Buck-Boost Konverter. *Jurnal Intake : Jurnal Penelitian Ilmu Teknik Dan Terapan*, 9(2), 74–79. <https://doi.org/10.32492/jintake.v9i2.777>
- Caricchi, 17, Crescimbin, F., Giulii Capponi, F., & Solero, L. (1998). *Study of Bi-Directional Buck-Boost Converter Topologies for Application in Electrical Vehicle Motor Drives*.
- Dutta, V., Scholar, R., & Borkakati Student, S. (2014). *PI-Fuzzy rule based controller for Analysis and performance evaluation of dc motor speed control PI-Fuzzy rule based controller for Analysis and performance evaluation of dc motor speed control Victor Dutta Deepjyoti Bora*. <https://doi.org/10.13140/2.1.3635.7922>
- Fitzgerald, A. E. (Arthur E., Kingsley, C., & Umans, S. D. (2003). *Electric machinery*. McGraw-Hill.
- Guo, Y., & Mohamed, M. E. A. (2020). Speed Control of Direct Current Motor Using ANFIS Based Hybrid P-I-D Configuration Controller. *IEEE Access*, 8, 125638–125647. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007615>
- Hernández-Márquez, E., García-Sánchez, J. R., Silva-Ortigoza, R., Antonio-Cruz, M., Hernández-Guzmán, V. M., Taud, H., & Marcelino-Aranda, M. (2018). Bidirectional tracking robust controls for a DC/DC buck converter-DC motor system. *Complexity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/1260743>
- Jung, H. Y., Kim, S. H., Moon, B., & Lee, S. H. (2018). A new circuit design of two-switch buck-boost converter. *IEEE Access*, 6, 47415–47423. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2866886>
- Lin, B.-R., & Hua, C. (1993). *BUCK/BOOST CONVERTER CONTROL WITH FUZZY LOGIC APPROACH*.
- Muruganandam, M., & Madheswaran, M. (2009). Performance analysis of fuzzy logic controller based DC-DC converter fed DC series motor. *2009 Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2009*, 1635–1640. <https://doi.org/10.1109/CCDC.2009.5192235>
- Rashid, M. H. (Muhammad H. (2014). *Power electronics : devices, circuits, and applications*.
- Sadiq.A.A. (2013). *A Fuzzy-Based Speed Control of DC Motor Using Combined Armature Voltage and Field Current _ Elsevier Enhanced Reader*.
- Saeed, R. A., Mokhtar, R. A., IEEE Sudan Subsection, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (n.d.). *2017 International Conference on Communication, Control, Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE) : proceedings : 16th-17th January 2017, Khartoum, Sudan*.
- Siahan, F. (2018). *Universitas Sumatera Utara*.
- S.J.Chapman. (2005). *ELECTRIC MACHINERY FUNDAMENTALS*.

- So, W. C., Tse, C. K., & Lee, Y. S. (1994). *A Fuzzy Controller for DC-DC Converters*.
- Tapia-Olvera, R., Beltran-Carbajal, F., Aguilar-Mejia, O., & Valderrabano-Gonzalez, A. (2016). An adaptive speed control approach for DC shunt motors. *Energies*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/en9110961>
- Taufiq Arif, D. (2020). *Kendali Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Berbeban Berbasis Arduino*. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/jtev/index>
- Tir, Z., Malik, O., Hamida, Med. A., Cherif, H., Bekakra, Y., & Kadrine, A. (2017). *Implementation of a Fuzzy Logic Speed Controller For a Permanent Magnet DC Motor Using a LowCost Arduino Platform*.

LAMPIRAN

1. Simulasi *Buck Boost Converter* keseluruhan pada *software* MATLAB



2. Program *Buck Boost Converter* FLC pada arduino

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Fuzzy.h>

#define pwm 9
#define PinSetVolt A0
#define pinBacaVolt A3
#define feedbackarus A2

Fuzzy *fuzzy = new Fuzzy();
int SetVolt;
float
Error_old,Error_new,dError,Vout1,Tegangan_asli,IsamplingOut,VsamplingOut,IavgO
ut,VavgOut,Voltage1,VoltageSet = 0;
int Tegangan_baca,pwmval,RawValueArus,RawValueTegangan;
int mVperAmp = 66; // use 100 for 20A Module and 66 for 30A Module
int ACSoffset = 2500;
double VoltageACS,CurrentOut = 0;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

void setup()
{
  Serial.begin (9600);
  lcd.init();           // initialize the lcd
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  TCCR1B = TCCR1B & B11111000 | B00000001;
  pinMode(pwm, OUTPUT);
  pinMode(PinSetVolt, INPUT);
  pinMode(pinBacaVolt, INPUT);
  pinMode(feedbackarus, INPUT);
  digitalWrite(pwm, LOW);
  pwmval = 0;
  randomSeed(analogRead(0));

  FuzzyInput *Error = new FuzzyInput(1);
  FuzzySet *NB = new FuzzySet(0.2124, -1);
  Error->addFuzzySet(NB);
  FuzzySet *NS = new FuzzySet(0.2124 , -0.5);
  Error->addFuzzySet(NS);
  FuzzySet *Z = new FuzzySet(0.2124 ,0);
  Error->addFuzzySet(Z);
  FuzzySet *PS = new FuzzySet(0.2124 ,0.5);
```

```
Error->addFuzzySet(PS);
FuzzySet *PB = new FuzzySet(0.2124 ,1);
Error->addFuzzySet(PB);
fuzzy->addFuzzyInput(Error);
```

```
FuzzyInput *dError = new FuzzyInput(2);
FuzzySet *dNB = new FuzzySet(0.2124, -1);
dError->addFuzzySet(dNB);
FuzzySet *dNS = new FuzzySet(0.2124 , -0.5);
dError->addFuzzySet(dNS);
FuzzySet *dZ = new FuzzySet(0.2124 ,0);
dError->addFuzzySet(dZ);
FuzzySet *dPS = new FuzzySet(0.2124 ,0.5);
dError->addFuzzySet(dPS);
FuzzySet *dPB = new FuzzySet(0.2124 ,1);
dError->addFuzzySet(dPB);
fuzzy->addFuzzyInput(dError);
```

```
FuzzyOutput *oDuty = new FuzzyOutput(1);
FuzzySet *oNB = new FuzzySet(0.1699, -1.05, 0.1699, -0.95);
dDuty->addFuzzySet(oNB);
FuzzySet *oNS = new FuzzySet(0.1699, -0.55, 0.1699, -0.45);
dDuty->addFuzzySet(oNS);
FuzzySet *oZ = new FuzzySet(0.1699, -0.05, 0.1699, 0.05);
dDuty->addFuzzySet(oZ);
FuzzySet *oPS = new FuzzySet(0.1699, 0.45, 0.1699, 0.55);
dDuty->addFuzzySet(oPS);
FuzzySet *oPB = new FuzzySet(0.1699, 0.95, 0.1699, 1.05);
dDuty->addFuzzySet(oPB);
fuzzy->addFuzzyOutput(dDuty);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF1 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF1->joinWithAND(NB,dNB);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut1 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut1->addOutput(oNB);
FuzzyRule *Rule1 = new FuzzyRule(1, IF1, ThenOut1);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule1);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF2 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF2->joinWithAND(NB,dNS);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut2 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut2->addOutput(oNB);
FuzzyRule *Rule2 = new FuzzyRule(2, IF2, ThenOut2);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule2);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF3 = new FuzzyRuleAntecedent();
```

```
IF3->joinWithAND(NB,dZ);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut3 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut3->addOutput(oNB);
FuzzyRule *Rule3 = new FuzzyRule(3, IF3, ThenOut3);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule3);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF4 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF4->joinWithAND(NB,dPS);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut4 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut4->addOutput(oNS);
FuzzyRule *Rule4 = new FuzzyRule(4, IF4, ThenOut4);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule4);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF5 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF5->joinWithAND(NB,dPB);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut5 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut5->addOutput(oZ);
FuzzyRule *Rule5 = new FuzzyRule(5, IF5, ThenOut5);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule5);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF6 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF6->joinWithAND(NS,dNB);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut6 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut6->addOutput(oNB);
FuzzyRule *Rule6 = new FuzzyRule(6,IF6, ThenOut6);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule6);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF7 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF7->joinWithAND(NS,dNS);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut7 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut7->addOutput(oNB);
FuzzyRule *Rule7 = new FuzzyRule(7, IF7, ThenOut7);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule7);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF8 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF8->joinWithAND(NS,dZ);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut8 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut8->addOutput(oNS);
FuzzyRule *Rule8 = new FuzzyRule(8, IF8, ThenOut8);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule8);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF9 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF9->joinWithAND(NS,dPS);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut9 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut9->addOutput(oZ);
FuzzyRule *Rule9 = new FuzzyRule(9, IF9, ThenOut9);
```

```
fuzzy->addFuzzyRule(Rule9);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF10 = new FuzzyRuleAntecedent();  
IF10->joinWithAND(NS,dPB);  
FuzzyRuleConsequent *ThenOut10 = new FuzzyRuleConsequent();  
ThenOut10->addOutput(oPS);  
FuzzyRule *Rule10 = new FuzzyRule(10, IF10, ThenOut10);  
fuzzy->addFuzzyRule(Rule10);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF11 = new FuzzyRuleAntecedent();  
IF11->joinWithAND(Z,dNB);  
FuzzyRuleConsequent *ThenOut11 = new FuzzyRuleConsequent();  
ThenOut11->addOutput(oNB);  
FuzzyRule *Rule11 = new FuzzyRule(11, IF11, ThenOut11);  
fuzzy->addFuzzyRule(Rule10);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF12 = new FuzzyRuleAntecedent();  
IF12->joinWithAND(Z,dNS);  
FuzzyRuleConsequent *ThenOut12 = new FuzzyRuleConsequent();  
ThenOut12->addOutput(oNS);  
FuzzyRule *Rule12 = new FuzzyRule(12, IF12, ThenOut12);  
fuzzy->addFuzzyRule(Rule12);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF13 = new FuzzyRuleAntecedent();  
IF13->joinWithAND(Z,dZ);  
FuzzyRuleConsequent *ThenOut13 = new FuzzyRuleConsequent();  
ThenOut13->addOutput(oZ);  
FuzzyRule *Rule13 = new FuzzyRule(13, IF13, ThenOut13);  
fuzzy->addFuzzyRule(Rule13);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF14 = new FuzzyRuleAntecedent();  
IF14->joinWithAND(Z,dPS);  
FuzzyRuleConsequent *ThenOut14 = new FuzzyRuleConsequent();  
ThenOut14->addOutput(oPS);  
FuzzyRule *Rule14 = new FuzzyRule(14, IF14, ThenOut14);  
fuzzy->addFuzzyRule(Rule14);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF15 = new FuzzyRuleAntecedent();  
IF15->joinWithAND(Z,dPB);  
FuzzyRuleConsequent *ThenOut15 = new FuzzyRuleConsequent();  
ThenOut15->addOutput(oPB);  
FuzzyRule *Rule15 = new FuzzyRule(15, IF15, ThenOut15);  
fuzzy->addFuzzyRule(Rule15);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF16 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF16->joinWithAND(PS,dNB);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut16 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut16->addOutput(oNS);
FuzzyRule *Rule16 = new FuzzyRule(16, IF16, ThenOut16);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule16);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF17 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF17->joinWithAND(PS,dNS);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut17 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut17->addOutput(oZ);
FuzzyRule *Rule17 = new FuzzyRule(17,IF17, ThenOut17);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule17);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF18 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF18->joinWithAND(PS,dZ);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut18= new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut18>addOutput(oPS);
FuzzyRule *Rule18 = new FuzzyRule(18, IF18, ThenOut18);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule18);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF19 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF19->joinWithAND(PS,dPS);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut19 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut19->addOutput(oPB);
FuzzyRule *Rule19 = new FuzzyRule(19, IF19, ThenOut19);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule19);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF20 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF20->joinWithAND(PS,dPB);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut20 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut20->addOutput(oPB);
FuzzyRule *Rule20 = new FuzzyRule(20, IF20, ThenOut20);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule20);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF21 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF21->joinWithAND(PB,dNB);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut21 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut21->addOutput(oZ);
FuzzyRule *Rule21 = new FuzzyRule(21, IF21, ThenOut21);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule21);
```

```
FuzzyRuleAntecedent *IF22 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF22->joinWithAND(PB,dNS);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut22 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut22->addOutput(oPS);
```

```

FuzzyRule *Rule22 = new FuzzyRule(22, IF22, ThenOut22);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule22);

FuzzyRuleAntecedent *IF23 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF23->joinWithAND(PB,dZ);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut23 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut23->addOutput(oPB);
FuzzyRule *Rule23 = new FuzzyRule(23, IF23, ThenOut23);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule23);

FuzzyRuleAntecedent *IF24 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF24->joinWithAND(PB,dPS);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut24 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut24->addOutput(oPB);
FuzzyRule *Rule24 = new FuzzyRule(24, IF24, ThenOut24);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule24);

FuzzyRuleAntecedent *IF25 = new FuzzyRuleAntecedent();
IF25->joinWithAND(PB,dPB);
FuzzyRuleConsequent *ThenOut25 = new FuzzyRuleConsequent();
ThenOut25->addOutput(oPB);
FuzzyRule *Rule25 = new FuzzyRule(25, IF25, ThenOut25);
fuzzy->addFuzzyRule(Rule25);
}

void loop()
{
  Error_old = Error_new;
  Error_new = VoltageSet - Tegangan_asli;
  dError = Error_new - Error_old;

  fuzzy->setInput(1,Error_new );
  fuzzy->setInput(2,dError);
  fuzzy->fuzzify();

  float out_fuzzy = fuzzy->defuzzify(1);
  Serial.println((String) "Hasil Fuzzy : " + out_fuzzy);
  IsamplingOut = 0;
  VsamplingOut = 0;

  SetVolt = analogRead(PinSetVolt);
  SetVolt = map(SetVolt, 1023, 0, 255, 0);
  Tegangan_baca = analogRead(pinBacaVolt);
  Tegangan_baca = map(Tegangan_baca, 1023, 0, 255, 0);

  for(int x = 0; x < 1000; x++)

```

```

{
  RawValueArus = analogRead(feedbackarus)-71;
  Tegangan_baca = analogRead(pinBacaVolt);

  IsamplingOut = IsamplingOut + RawValueArus;
  VsamplingOut = VsamplingOut + Tegangan_baca;
}

IavgOut = IsamplingOut/1000;
VavgOut = VsamplingOut/1000;

VoltageSet = (SetVolt*46.5/255.0);
Tegangan_asli = (VavgOut*46.5/255.0);

VoltageACS = (IavgOut / 1023.0) * 5000; // Gets you mV
CurrentOut = ((VoltageACS - ACSoffset) / mVperAmp);

Serial.print ( "Tegangan Setpoin = ");
Serial.println (VoltageSet);
Serial.print ( "Arus Output = ");
Serial.println (CurrentOut);
Serial.print ( "Tegangan Output = ");
Serial.println (Tegangan_asli);

lcd.clear();
lcd.print("Voltage = ");
lcd.print(Tegangan_asli);
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print("Current = ");
lcd.print(CurrentOut);

while (SetVolt > Tegangan_baca)
{
  if (pwmval == 190)
  {
    SetVolt = analogRead(PinSetVolt);
    SetVolt = map(SetVolt, 1023, 0, 255, 0);
    Tegangan_baca = analogRead(pinBacaVolt);
    Tegangan_baca = map(Tegangan_baca, 1023, 0, 255, 0);
  }
  else
  {
    pwmval = pwmval + 1;
    analogWrite(pwm, pwmval);
    SetVolt = analogRead(PinSetVolt);
  }
}

```



```

    SetVolt = map(SetVolt, 1023, 0, 255, 0);
    Tegangan_baca = analogRead(pinBacaVolt);
    Tegangan_baca = map(Tegangan_baca, 1023, 0, 255, 0);
  }
}

while (SetVolt < Tegangan_baca)
{
  if (pwmval == 190)
  {
    SetVolt = analogRead(PinSetVolt);
    SetVolt = map(SetVolt, 1023, 0, 255, 0);
    Tegangan_baca = analogRead(pinBacaVolt);
    Tegangan_baca = map(Tegangan_baca, 1023, 0, 255, 0);
  }
  else
  {
    pwmval = pwmval - 1;
    analogWrite(pwm, pwmval);
    SetVolt = analogRead(PinSetVolt);
    SetVolt = map(SetVolt, 1023, 0, 255, 0);
    Tegangan_baca = analogRead(pinBacaVolt);
    Tegangan_baca = map(Tegangan_baca, 1023, 0, 255, 0);
  }
}

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Voltage = ");
lcd.print(Tegangan_asli);
lcd.setCursor (0,1);
lcd.print("Current = ");
lcd.print(CurrentOut);
delay (100);
}

```

3. Program Fuzzy Logic Controller pada Matlab

```

[System]
Name='coba1'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=25
AndMethod='min'

```

```
OrMethod='max'  
ImpMethod='min'  
AggMethod='max'  
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]  
Name='Error'  
Range=[-1 1]  
NumMFs=5  
MF1='NB':'gaussmf',[0.2124 -1]  
MF2='NS':'gaussmf',[0.2124 -0.5]  
MF3='Z':'gaussmf',[0.2124 0]  
MF4='PS':'gaussmf',[0.2124 0.5]  
MF5='PB':'gaussmf',[0.2124 1]
```

```
[Input2]  
Name='dError'  
Range=[-1 1]  
NumMFs=5  
MF1='NB':'gaussmf',[0.2124 -1]  
MF2='NS':'gaussmf',[0.2124 -0.5]  
MF3='Z':'gaussmf',[0.2124 0]  
MF4='PS':'gaussmf',[0.2124 0.5]  
MF5='PB':'gaussmf',[0.2124 1]
```

```
[Output1]  
Name='dDuty'  
Range=[-1 1]  
NumMFs=5  
MF1='NB':'gauss2mf',[0.1699 -1.05 0.1699 -0.95]  
MF2='NS':'gauss2mf',[0.1699 -0.55 0.1699 -0.45]  
MF3='Z':'gauss2mf',[0.1699 -0.05 0.1699 0.05]  
MF4='PS':'gauss2mf',[0.1699 0.45 0.1699 0.55]  
MF5='PB':'gauss2mf',[0.1699 0.95 0.1699 1.05]
```

```
[Rules]  
1 1, 1 (1) : 1  
1 2, 1 (1) : 1  
1 3, 1 (1) : 1  
1 4, 2 (1) : 1  
1 5, 3 (1) : 1  
2 1, 1 (1) : 1  
2 2, 1 (1) : 1  
2 3, 2 (1) : 1  
2 4, 3 (1) : 1  
2 5, 4 (1) : 1  
3 1, 1 (1) : 1  
3 2, 2 (1) : 1  
3 3, 3 (1) : 1
```

3 4, 4 (1) : 1
3 5, 5 (1) : 1
4 1, 2 (1) : 1
4 2, 3 (1) : 1
4 3, 4 (1) : 1
4 4, 5 (1) : 1
4 5, 5 (1) : 1
5 1, 3 (1) : 1
5 2, 4 (1) : 1
5 3, 5 (1) : 1
5 4, 5 (1) : 1
5 5, 5 (1) : 1

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bojonegro, 26 Januari 2000, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK TUNAS RIMBA Dander, SDN 1 Dande, SMPN 1 Bojonegro dan SMAN 1 Bojonegoro . Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Elektro FTEIC - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 07111840000051.

Di Departemen Teknik Elektro Penulis aktif mengikuti kegiatan antara lain di team robot Bayucaraka ITS, selain itu juga menjadi asisten laboratorium Konversi Energi Listrik ITS, serta mengikuti perlombaan keilmiahan di tingkat nasional. Penulis juga aktif dalam kegiatan *start up*, yang membawakan inovasi tentang aerator ramah lingkungan.