

**SIMULASI KENDALI KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS
*MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC)***

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Oleh:

APANG KURNIA
157002111



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SILIWANGI
TASIKMALAYA
2020**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Apang Kurnia

NPM : 157002111

Fakultas : Teknik

Jurusan : Teknik Elektro

Bersama ini saya menyatakan dengan sebenar-benarnya, bahwa laporan tugas akhir ini merupakan hasil karya saya sendiri dan saya pribadi bertanggung jawab secara penuh terhadap hasil karya ini.

Tasikmalaya, 21 Januari 2020

Yang menyatakan,

Matri Rp.6000

Apang Kurnia

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Apang Kurnia
NPM : 157002111
Program Studi : S1 Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : **Simulasi Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis
Model Predictive Control (MPC)**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Edvin Priatna, S.T., M.T. (.....)
Pembimbing II : Asep Andang, S.T., M.T. (.....)
Penguji I : Nundang Busaeri, IR., M.T. (.....)
Penguji II : Firmansyah M.S.N, M.KOM. (.....)

Ditetapkan di : Tasikmalaya
Tanggal : 21 Januari 2020

Mengetahui,

Dekan
Fakultas Teknik

Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Prof. Dr. Eng. H Aripin
NIP. 196708161996031001

Nurul Hiron M.Eng
NIDN. 0419087504

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir dilakukan dalam rangka untuk memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Prodi Teknik Elektro Universitas Siliwangi.

Dalam penulisan tugas akhir ini, penulis dibantu oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT., yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, kelancaran, kemudahan, dan nikmat yang tidak terhingga.
2. Kedua Orang Tua dan semua keluarga tercinta yang telah memberikan doa restu, kasih sayang, pengertian, kesabaran, dorongan baik moril, serta materil yang tiada batasnya.
3. Bapak Edvin Priatna S.T., M.T., selaku Dosen Wali serta Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, motivasi, petunjuk, dan arahan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Asep Andang S.T., M.T., selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, motivasi, petunjuk, dan arahan kepada penulis dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Bapak Prof. Dr. Eng. H Aripin., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Siliwangi Tasikmalaya.
6. Bapak Nurul Hiron M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Siliwangi Tasikmalaya.
7. Seluruh Dosen di Prodi Teknik Elektro Universitas Siliwangi, yang telah memberikan ilmu dan arahan selama peneliti menjalani perkuliahan.
8. Rekan seangkatan elektro 2015, kakat tingkat serta adik tingkat yang telah membuat hidup ini makin berwarna selama kuliah di prodi Teknik Elektro Universitas Siliwangi.

9. Eka Priatna as a best friend, Dicky Noegroho, Asep Moh Yogi, Asep Tri Mulyana N, M Rizal Ghojali, M Abdul Farid, Nur Fadhilah M, Launing Pangesti as Keluarga Kita Beda Tapi Satu, Rangga A M as a device provider dan semua rekan-rekan kelas C 2015.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis mendapat pahala berlipat ganda dari Allah SWT. Aamiin.

Akhirnya penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya, dan bagi semua pembaca umumnya, serta dapat berguna bagi kemajuan ilmu pendidikan, khususnya pendidikan Teknik Elektro.

Tasikmalaya, 21 Januari 2020

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN MENYERAHKAN HAL MILIK ATAS TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademik Universitas Siliwangi, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Apang Kurnia
NIM : 157002111
Program Studi : S1 Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Siliwangi Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

SIMULASI KENDALI KECEPATAN MOTOR DC BERBASIS *MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC)*

beserta produk yang ada (jika Hasil TA berupa Produk/prototype). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Siliwangi berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengembangkan, mengubah, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Tasikmalaya

Pada tanggal : 21 Januari 2020

ABSTRAK

Nama : Apang Kurnia
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Simulasi Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis *Model Predictive Control* (MPC)

Persaingan global menjadi salah satu akibat dari majunya teknologi bidang industri. Salah satu fokus utama pelaku industri adalah kecepatan dalam menghasilkan suatu produk, yang tentunya hal ini didukung oleh pengaturan kecepatan yang mudah. Motor DC menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi akan cepatnya produk dihasilkan. Namun seringkali dalam penggunaan motor DC, kecepatan motornya sulit untuk dikendalikan akibat dari adanya torsi. Untuk mengatasi masalah tersebut, dibuatlah sistem kontrol torsi dengan cara melakukan pengendalian kecepatan motor dc dengan cara mengatur nilai tegangan jangkar yang disuplai ke motor tersebut. Pengaturan tegangan jangkar ini diatur oleh konverter *full-bridge* dalam menaikkan maupun menurunkan tegangan dibawah tegangan referensi motor dc. Pada jurnal ini, akan dibahas mengenai kontrol kecepatan motor dc dengan metode kontrol MPC untuk mengendalikan lebar pulsa PWM pada konverter *full-bridge*. Dari hasil simulasi didapatkan respon kecepatan yang konstan dengan *error* rata-rata yang relatif kecil baik pada arah *Forward Motoring* maupun *Reverse Motoring*.

Kata kunci: konverter *full-bridge*, motor dc, MPC.

ABSTRACT

Name : Apang Kurnia
Study Program : Electrical Engineering
Title : DC Motor Speed Control Simulation Based on Models *Predictive Control* (MPC)

Global competition is one of the advancements in the field of industrial technology. One of the main industries focuses is speed in producing a product, which is supported by easy speed regulation. DC motor is one of the factors that can influence the speed of the product produced. However, in the use of DC motors, the speed of the motor is difficult to drive due to torque. To overcome this problem, a torque control system is created by controlling the speed of the dc motor by the value of the armature voltage supplied to the motor. This armature voltage regulation is regulated by a full-bridge converter in raising or lowering the voltage below the dc motor reference voltage. In this journal, we will discuss the dc motor speed control with the MPC control method to connect the PWM pulse width to a full-bridge converter. From the simulation results obtained a constant speed response with relatively small average errors in both the Forward Motoring and Reverse Motoring directions.

Keywords: dc motor, full-bridge converter, MPC.

DAFTAR ISI

| | |
|---|--|
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| KATA PENGANTAR..... | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN MENYERAHKAN HAL MILIK ATAS TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS | vi |
| ABSTRAK | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xxiii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xxv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | I-Error! Bookmark not defined. |
| 1.1 Latar Belakang..... | I-Error! Bookmark not defined. |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | I-Error! Bookmark not defined. |
| 1.3 Tujuan Penelitian | I-Error! Bookmark not defined. |
| 1.4 Batasan Masalah | I-Error! Bookmark not defined. |
| 1.5 Sistematika Pembahasan | I-Error! Bookmark not defined. |
| BAB II LANDASAN TEORI | I-Error! Bookmark not defined. |
| 2.1 Perkembangan Kontrol Motor DC | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.2 Motor DC..... | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.2.1 Bagian-bagian Motor DC | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.2.2 Prinsip Kerja Motor DC | II-Error! Bookmark not defined. |

| | | |
|----------------|---|---|
| 2.2.3 | Motor DC Penguat Terpisah..... | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.2.4 | Rumus Matematis Motor DC Penguat Terpisah . | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.2.5 | Pengendalian Kecepatan Motor DC Penguat Terpisah Dengan Pengaturan Tegangan | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.3 | DC Chopper..... | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.3.1 | <i>Full-bridge Chopper.....</i> | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.3.2 | Keuntungan <i>Full-bridge Chopper</i> | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.4 | Model Predictive Control (MPC)..... | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.5 | MATLAB dan Simulink | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.5.1 | MATLAB..... | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.5.2 | Simulink..... | II-Error! Bookmark not defined. |
| 2.6 | Daya Listrik..... | II-Error! Bookmark not defined. |
| BAB III | METODE PENELITIAN | III-Error! Bookmark not defined. |
| 3.1 | Persiapan Penelitian..... | III-Error! Bookmark not defined. |
| 3.2 | Lokasi Penelitian | III-Error! Bookmark not defined. |
| 3.3 | Diagram Blok Pengendalian Kecepatan Motor DC.... | III-Error! Bookmark not defined. |
| 3.4 | Karakteristik Bahan Yang Digunakan | III-Error! Bookmark not defined. |
| 3.4.1 | Motor DC Penguat Terpisah..... | III-Error! Bookmark not defined. |
| 3.4.2 | DC Chopper | III-Error! Bookmark not defined. |
| 3.4.3 | Kontroler | III-Error! Bookmark not defined. |

| | | |
|---|--|----------------------------------|
| 3.5 | Daftar Komponen yang Digunakan | III-Error! Bookmark not defined. |
| BAB IV PERANCANGAN DAN SIMULASI..... IV-Error! Bookmark not defined. | | |
| 4.1 | Perancangan dan Pemodelan | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.1.1 | Perancangan dan Pemodelan Tanpa Sistem Kendali | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.1.2 | Perancangan dan Pemodelan Menggunakan Sistem Kendali..... | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.2 | Simulasi Sistem..... | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.2.1 | Simulasi Pengujian Sistem Tanpa Menggunakan Sistem Kendali | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.2.2 | Simulasi Pengujian Sistem Dengan Menggunakan Sistem Kendali..... | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.3 | Hasil dan Pembahasan..... | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.3.1 | Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC . | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.3.2 | Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.3.3 | Efisiensi Daya | IV-Error! Bookmark not defined. |
| 4.3.4 | Perbandingan Sistem | IV-Error! Bookmark not defined. |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... V-Error! Bookmark not defined. | | |
| 5.1 | Simpulan | V-Error! Bookmark not defined. |
| 5.2 | Saran | V-Error! Bookmark not defined. |
| DAFTAR REFERENSIS | | |

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penambahan Resistansi *Armature* Pada Kecepatan II-Error!

Bookmark not defined.

Gambar 2.2 Penambahan Tegangan Medan (Fluks Medan) Pada Kecepatan II-

Error! Bookmark not defined.

Gambar 2.3 Penambahan Tegangan Pada Kecepatan II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.4 Bagian-bagian Motor DC II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.5 Kaidah Tangan Kiri II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.6 Interaksi Penghantar Berarus Diantara Medan Magnet II-Error!

Bookmark not defined.

Gambar 2.7 Prinsip Kerja Motor DC II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.8 Rangkaian Ekuivalen Motor DC Penguat Terpisah II-Error!

Bookmark not defined.

Gambar 2.9 Rangkaian *Full-bridge Chopper* ... II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.10 Blok Diagram *Model Predictive Control* II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.11 ikon MATLAB II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.12 Tampilan layar utama MATLAB II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.13 Contoh Menggunakan Jendela Perintah *Command Window* II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.14 Contoh Menggunakan Skrip M-File II-Error! **Bookmark not defined.**

Gambar 2.15 Pemrograman dengan skrip M-File **II-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.16 Posisi dari ikon Simulink **II-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.17 Tampilan Simulink *Start Page* **II-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.18 Tampilan Kerja Simulink **II-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 2.19 Simulink *Library Browser* **II-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.1 Flowchart Tahapan Penelitian..... **III-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.2 Diagram Blok Pengendalian Motor DC **III-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.3 Rangkaian *Full-bridge Chopper* . **III-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem (a) Tanpa Sistem Kendali (b) Menggunakan Sistem Kendali..... **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.2 Pengujian Tegangan Jangkar Terhadap Kecepatan Motor DC **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.3 Blok Diagram Pengaturan Kecepatan **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.4 Blok Diagram *Full-bridge Chopper* **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.5 Blok Diagram Motor DC..... **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.6 Blok Diagram Pengaturan Arah Putaran **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.7 Blok Diagram Sistem Kendali Kecepatan Motor DC IV-**Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4.8 Blok Pengujian Simulasi Sistem . IV-**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.9 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC

Tanpa Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 100 RPM)..... IV-**Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4.10 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC

Tanpa Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 500 RPM)..... IV-**Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4.11 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC

Tanpa Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 750 RPM)..... IV-**Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4.12 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC

Tanpa Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 1000 RPM)..... IV-**Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4.13 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC

Tanpa Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 1250 RPM)..... IV-**Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4.14 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC

Tanpa Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 1500 RPM)..... IV-**Error!**

Bookmark not defined.

Gambar 4.15 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC Tanpa Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 1750 RPM)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.16 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 100 RPM).. **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.17 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 500 RPM).. **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 18 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 750 RPM).. **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.19 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1000 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.20 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1250 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.21 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1500 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.22 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1750 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.23 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 100 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.24 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 500 RPM).. **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.25 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 750 RPM).. **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.26 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1000 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.27 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1250 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.28 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1500 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.29 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1750 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.30 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 100 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.31 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 500 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.32 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 750 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.33 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1000 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.34 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1250 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.35 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1500 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.36 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Forward Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1750 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.37 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 100 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.38 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 500 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.39 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 750 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.40 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1000 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.41 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1250 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.42 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1500 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.43 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Kecepatan Motor DC (*Reverse Motoring*) Dengan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1750 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.44 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 100 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 45 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 500 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.46 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 750 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.47 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1000 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.48 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1250 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.49 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1500 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.50 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali (Kecepatan Referensi 1750 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.51 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 100 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.52 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 500 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.53 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 750 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.54 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1000 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.55 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1250 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.56 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1500 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 4.57 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1750 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.58 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 100 RPM, *Reverse Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.59 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 500 RPM, *Reverse Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.60 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 750 RPM, *Reverse Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.61 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1000 RPM, *Reverse Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.62 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1250 RPM, *Reverse Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.63 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1500 RPM, *Reverse Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.64 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar Menggunakan Konverter Full Bridge Tanpa MPC (Kecepatan Referensi 1750 RPM, *Reverse Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.65 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar (Kecepatan Referensi 100 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.66 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar (Kecepatan Referensi 500 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.67 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar (Kecepatan Referensi 750 RPM, *Forward Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.68 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar (Kecepatan Referensi 1000 RPM, *Forward Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.69 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar (Kecepatan Referensi 1250 RPM, *Forward Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.70 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar (Kecepatan Referensi 1500 RPM, *Forward Motoring*)..... **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.71 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar
(Kecepatan Referensi 1750 RPM, *Forward Motoring*)..... IV-Error!

Bookmark not defined.

Gambar 4.72 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar
(Kecepatan Referensi 100 RPM, *Reverse Motoring*) IV-Error! **Bookmark**

not defined.

Gambar 4.73 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar
(Kecepatan Referensi 500 RPM, *Reverse Motoring*) IV-Error! **Bookmark**

not defined.

Gambar 4.74 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar
(Kecepatan Referensi 750 RPM, *Reverse Motoring*) IV-Error! **Bookmark**

not defined.

Gambar 4.75 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar
(Kecepatan Referensi 1000 RPM, *Reverse Motoring*) IV-Error! **Bookmark**

not defined.

Gambar 4.76 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar
(Kecepatan Referensi 1250 RPM, *Reverse Motoring*) IV-Error! **Bookmark**

not defined.

Gambar 4.77 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar
(Kecepatan Referensi 1500 RPM, *Reverse Motoring*) IV-Error! **Bookmark**

not defined.

Gambar 4.78 Hasil Pengujian Penambahan Beban Terhadap Arus Jangkar (Kecepatan Referensi 1750 RPM, *Reverse Motoring*) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.79 Perbandingan Sistem Kecepatan Motor DC Tanpa dan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 100 RPM).. **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.80 Perbandingan Sistem Kecepatan Motor DC Tanpa dan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 500 RPM).. **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.81 Perbandingan Sistem Kecepatan Motor DC Tanpa dan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 750 RPM).. **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.82 Perbandingan Sistem Kecepatan Motor DC Tanpa dan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 1000 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.83 Perbandingan Sistem Kecepatan Motor DC Tanpa dan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 1250 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.84 Perbandingan Sistem Kecepatan Motor DC Tanpa dan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 1500 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.85 Perbandingan Sistem Kecepatan Motor DC Tanpa dan Menggunakan Sistem Kendali (Kecepatan 1750 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.86 Perbandingan Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali dan Menggunakan Sistem Kendali (*Forward Motoring* dan *Reverse Motoring*) Terhadap Penambahan Beban (Kecepatan Referensi 100 RPM) **IV-Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.87 Perbandingan Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali dan Menggunakan Sistem Kendali (*Forward Motoring* dan *Reverse Motoring*) Terhadap

Penambahan Beban (Kecepatan Referensi 500 RPM) IV-**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.88 Perbandingan Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali dan Menggunakan Sistem Kendali (*Forward Motoring* dan *Reverse Motoring*) Terhadap Penambahan Beban (Kecepatan Referensi 750 RPM) IV-**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.89 Perbandingan Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali dan Menggunakan Sistem Kendali (*Forward Motoring* dan *Reverse Motoring*) Terhadap Penambahan Beban (Kecepatan Referensi 1000 RPM) IV-**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4. 90 Perbandingan Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali dan Menggunakan Sistem Kendali (*Forward Motoring* dan *Reverse Motoring*) Terhadap Penambahan Beban (Kecepatan Referensi 1250 RPM) IV-**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.91 Perbandingan Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali dan Menggunakan Sistem Kendali (*Forward Motoring* dan *Reverse Motoring*) Terhadap Penambahan Beban (Kecepatan Referensi 1500 RPM) IV-**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.92 Perbandingan Arus Jangkar Tanpa Sistem Kendali dan Menggunakan Sistem Kendali (*Forward Motoring* dan *Reverse Motoring*) Terhadap Penambahan Beban (Kecepatan Referensi 1750 RPM) IV-**Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

| | |
|--|--------|
| Tabel 2.1 Operasi Motor untuk Kondisi <i>Switch</i> yang Berbeda | II-16 |
| Tabel 3.1 Daftar Komponen yang Digunakan | III-5 |
| Tabel 4.1 Tegangan Jangkar | IV-3 |
| Tabel 4.2 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 100 RPM, <i>Forward Motoring</i>) | IV-94 |
| Tabel 4.3 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 500 RPM, <i>Forward Motoring</i>) | IV-96 |
| Tabel 4.4 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 750 RPM, <i>Forward Motoring</i>) | IV-97 |
| Tabel 4.5 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 1000 RPM, <i>Forward Motoring</i>) | IV-99 |
| Tabel 4.6 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 1250 RPM, <i>Forward Motoring</i>) | IV-100 |
| Tabel 4.7 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 1500 RPM, <i>Forward Motoring</i>) | IV-102 |
| Tabel 4.8 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 1750 RPM, <i>Forward Motoring</i>) | IV-103 |
| Tabel 4.9 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 100 RPM, <i>Reverse Motoring</i>) | IV-105 |
| Tabel 4.10 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 500 RPM, <i>Reverse Motoring</i>) | IV-106 |

| | |
|---|--------|
| Tabel 4.11 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 750 RPM, <i>Reverse Motoring</i>) | IV-108 |
| Tabel 4.12 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 1000 RPM, <i>Reverse Motoring</i>) | IV-109 |
| Tabel 4.13 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 1250 RPM, <i>Reverse Motoring</i>) | IV-111 |
| Tabel 4.14 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 1500 RPM, <i>Reverse Motoring</i>) | IV-112 |
| Tabel 4.15 Efisiensi Daya (Kecepatan Referensi 1750 RPM, <i>Reverse Motoring</i>) | IV-114 |
| Tabel 4.16 Rata-rata Error Sistem | IV-122 |

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 SK Tugas Akhir
- Lampiran 2 Lembar Konsultasi Tugas Akhir
- Lampiran 3 Daftar Hadir Seminar
- Lampiran 4 Revisi Laporan Usulan Penelitian
- Lampiran 5 Revisi Laporan Seminar
- Lampiran 6 Revisi Laporan Tugas Akhir
- Lampiran 7 Jurnal
- Lampiran 8 Poster
- Lampiran 9 Dokumentasi