

**RANCANG BANGUN SISTEM KENDALI DAYA MAKSIMUM
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN MENGGUNAKAN BOOST
CONVERTER DENGAN METODE OPTIMUM TORQUE CONTROL**

TUGAS AKHIR

*Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Sarjana Sains Terapan
pada Program Studi Teknik Elektro Industri Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*



Oleh:

**ARI DARUL HIKMAH
NIM. 14130024 / 2014**

**PROGRAM STUDI D4 TEKNIK ELEKTRO INDUSTRI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2018**

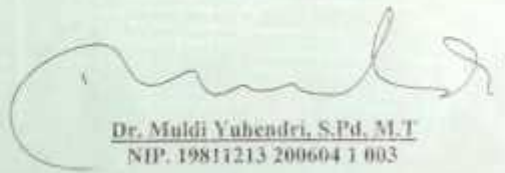
HALAMAN PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

"Perancangan Sistem Kendali Daya Maksimum Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Konverter Boost Berbasis Optimum Torque Control"

Nama : Ari Darul Hikmah
BP/NIM : 2014/14130024
Program Studi : Teknik Elektro Industri
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

Padang, November 2018

Disetujui Oleh
Pembimbing



Dr. Muldi Yuhendri, S.Pd, M.T
NIP. 19811213 200604 1 003

Mengetahui
Ketua Jurusan teknik Elektro



Drs. Hambali M.Kes
NIP. 19620508 1987 03 1004

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

"Perancangan Sistem Kendali Daya Maksimum Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Konverter Boost Berbasis Optimum Torque Control"

Nama : Ari Darul Hikmah
BP/NIM : 2014/14130024
Program Studi : Teknik Elektro Industri
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

Dinyatakan LULUS setelah dipertahankan didepan tim penguji tugas akhir
Program Studi Teknik Elektro Industri Jurusan Teknik Elektro
Fakultas teknik Universitas Negeri Padang

Padang, November 2018

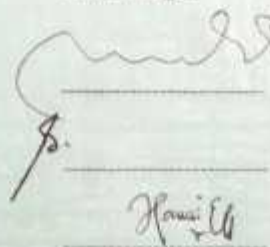
Tim Penguji :

Tanda Tangan

Ketua : Dr. Muldi Yahendri, S.Pd, M.T

Anggota : Ellizon, S.Pd, M.T

Anggota : Dr. Hansi Effendi, M.Kom



The image shows three handwritten signatures on horizontal lines. The first signature is for the Chairman, Dr. Muldi Yahendri. The second signature is for the member, Ellizon. The third signature is for the member, Dr. Hansi Effendi.



KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN DIKTI
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Jl. Prof. Dr. Hamka, Kampus UNP Air Tawar, Padang 25171
Telp. (0751) 445998, Fax (0751) 7055644 e-mail: elo_unp@yahoo.com



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ari Darul Hikmah
NIM/TM : 14130024/2014
Program Studi : Teknik Elektro Industri
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul "**Perancangan Sistem Kendali Daya Maksimum Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Konverter Boost Berbasis Optimum Torque Control**" adalah benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi Universitas Negeri Padang maupun di masyarakat dan Negara.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui Oleh,

Ketua Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang


Drs. Hambali, M.Kes
NIP. 19620508 1987 03 1004

Saya yang menyatakan,


Ari Darul Hikmah
NIM/BP. 14130024/2014

ABSTRAK

ARI DARUL HIKMAH : “Rancang Bangun Sistem Kendali Daya Maksimum Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Boost Converter Dengan Metode Optimum Torque Control”.

Pembimbing : Dr. Muldi Yuhendri, S.Pd, M.T

Kebutuhan energi listrik saat ini tidak sebanding dengan ketersediaan sumber daya energi yang mulai menipis. Pemanfaatan sumber energi terbarukan adalah salah satu alternatif untuk menggantikan posisi sumber daya energi yang mulai menipis

Pembangkit listrik tenaga angin merupakan energi terbarukan yang dimanfaatkan sebagai sumber energi. Turbin angin yang digunakan yaitu turbin angin dengan jenis Horizontal dengan 6 sudu (*blade*). Pengembangan sistem kendali pembangkit listrik tenaga angin mencakup pengembangan sistem kendali pada sisi turbin angin dan sistem kendali pada sisi generator. Salah satu cara meningkatkan efisiensi pembangkit listrik tenaga angin pada sisi generator adalah dengan mengendalikan daya output generator ini agar tetap berada di titik maksimum pada setiap variasi kecepatan angin, yang disebut juga dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Daya output maksimum dapat diperoleh dengan mengendalikan kecepatan generator pada titik koefisien daya maksimum dan *Tip Speed Ratio* (TSR) optimum. Titik koefisien daya maksimum dan TSR optimum berada pada kecepatan generator yang berbeda pada setiap variasi kecepatan anginya. Pengaturan kecepatan putaran generator dapat dilakukan melalui pengaturan arus dan tegangan keluaran generator melalui konverter daya. Konverter daya yang digunakan yaitu DC-DC konverter dengan jenis Konverter Boost.

Metode perancangan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) pada tugas akhir ini akan menggunakan ATmega328 sebagai pengendalinya. ATmega328 berfungsi sebagai sistem minimum yang akan mengontrol PWM, fungsi PWM sendiri yaitu untuk mengatur tegangan pada Konverter Boost. MPPT yang dirancang dalam tugas akhir ini yaitu didesain dalam bentuk sistem kendali torka elektromagnetik atau disebut juga *Optimum Torque Control* (OTC).

Kata kunci : Turbin Angin, Konverter Boost, MPPT, *Optimum Torque Control* (OTC), ATmega328.

KATA PENGANTAR



Alhamdulillahirabbil 'alamin, puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Kendali Daya Maksimum Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Boost Converter Dengan Metode Optimum Torque Control”**. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi syarat untuk menyelesaikan Program Studi Diploma IV, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Muldi Yuhendri, S.Pd, M.T, selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam pengerjaan Tugas akhir ini.
2. Bapak Elfizon, S.Pd, M.T, selaku penguji pada tugas akhir.
3. Bapak Dr. Hansi Effendi, M.Kom, selaku penguji pada Tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahmi Rizal, M.Pd, selaku Dekan Fakultas Teknik.
5. Bapak Drs. Hambali, M.Kes, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
6. Bapak Dr. Hendri, M.T, selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Industri.

7. Bapak dan ibu dosen serta seluruh staf Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang yang telah membimbing dan membantu penulis selama menuntut ilmu.
8. Kedua Orang Tua dan semua keluarga yang telah banyak berjasa baik moral ataupun materil serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Elektro UNP, khususnya Program Studi Teknik Elektro Industri angkatan 2014.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis untuk mewujudkan Tugas Akhir ini dan menyelesaikan studi yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semoga bantuan dan bimbingan serta arahan yang diberikan menjadi amal shaleh dan mendapatkan pahala dari Allah SWT, amin. Tugas Akhir ini tidak terlepas dari kesalahan dan kekeliruan, oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amin...

Padang,6 November 2018

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi masalah	4
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah.....	5
E. Tujuan	5
F. Manfaat	6
BAB II LANDASAN TEORI	7
A. Pembangkit Listrik Tenaga Angin	7
1. Energi Kinetik Angin.....	7
2. Turbin Angin.....	9
3. Generator Sinkron Magnet Permanen.....	13
B. Kendali Daya Maksimum Turbin Angin	16

1. Optimum Torque Control	16
2. Boost Converter	19
3. MOSFET.....	28
4. <i>Hysterisis Current Control Pulse Width Modulation (HCC PWM)</i> ..	29
C. Catu Daya.....	31
1. Proses Penyearah Arus Listrik	32
2. Proses Penyearah Tegangan Listrik	33
3. Proses Penstabil Tegangan Listrik	34
D. Arduino	36
1. Sejarah Arduino	36
2. Board Arduino	38
3. Arduino Uno	39
4. Bahasa Pemrograman Arduino berbasis C	41
5. Software Integrated Development Environment (IDE) Arduino.....	50
E. Liquid Crystal Display (LCD)	55
F. Flowchart	56
BAB III PERANNGAN DAN PEMBUATAN ALAT	60
A. Blok Diagram.....	60
1. Turbin Angin.....	61
2. Generator sinkron magnet permanen	61
3. Boos Konverter	62
4. Sensor Tegangan.....	62
5. Sensor Arus.....	62

6. Catu daya	62
7. Penyearah dioda jembatan tiga fasa	62
8. Rotary Encoder	62
B. Prinsip Kerja	63
C. Perancangan Alat	64
1. Pengujian Turbin Angin.....	64
2. Perancangan Hardware	66
3. Perancangan Rangkaian Elektronik	67
D. Perancangan Perangkat Lunak	73
E. Diagram Alir (Flowchart)	74
F. Pembuatan Alat	75
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA	78
A. Instrumentasi Pengujian Alat	78
B. Pengujian dan Analisa Hardware	80
1. Rangkaian Catu Daya.....	80
2. Rangkaian Sistem Minimum ATmega328	83
3. Rangkaian Gate Drive	85
4. Rangkaian Sensor Tegangan	87
5. Rangkaian Sensor Arus	88
6. Rangkaian Konverter Boost	88
7. Pengujian turbin angin	89
C. Program	92
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	95

A. Kesimpulan.....	95
B. Saran.....	95
DAFTAR KEPUSTAKAAN	97
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem konversi energi angin menjadi energi listrik	7
Gambar 2.2 Jenis Turbin Angin	9
Gambar 2.3 Karakteristik daya mekanik turbin angin	11
Gambar 2.4 Karakteristik torsi mekanik turbin angin.....	13
Gambar 2.5 Struktur generator sinkron magnet permanen	14
Gambar 2.6 Generator magnet permanen 400 watt	15
Gambar 2.7 Skema sistem kendali daya maksimum berbasis OTC	17
Gambar 2.8 Switch Mode DC-DC Converter	20
Gambar 2.9 Pulse Widht Modulation	20
Gambar 2.10 Boost Converters	22
Gambar 2.11 Mode Konduksi Kontiniu.....	23
Gambar 2.12 Boost converter mode boundary of continuous-discountnuous	24
Gambar 2.13 Boost Converter Waveforms.....	26
Gambar 2.14 Karakteristik Bost Converter dengan V_o Konstan.....	27
Gambar 2.15 Bentuk Gelombang PWM	29
Gambar 2.16 HCC PWM	31
Gambar 2.17 Penyearah Gelombang Penuh dengan Diodan Bridge	33
Gambar 2.18 Bentuk Gelombang Output Rangkaian Penyearah.....	33
Gambar 2.19 Bentuk Gelombang Output Rangkaian Penyearah yang Menggunakan Filter	34
Gambar 2.20 IC Regulator 78xx	35

Gambar 2.21 Board Arduino.....	39
Gambar 2.22 Liquid Crystal Display (LCD)	56
Gambar 3.1 Diagram blok sistem pengendalian pembangkit listrik tenaga angin berbasis OTC	61
Gambar 3.2 Skema Pengujian Turbin Angin	64
Gambar 3.3 Rancangan Alat Tampak Depan.....	66
Gambar 3.4 Rancangan Alat Tampak Belakang.....	66
Gambar 3.5 Rancangan Alat Tampak Samping	67
Gambar 3.6 Rancangan Alat Tampak Atas.....	67
Gambar 3.7 Skematik Arduino Uno.....	68
Gambar 3.8 Desain Boost Converter	68
Gambar 3.9 Rangkaian Driver Gate Mosfet	69
Gambar 3.10 Rangkaian LCD.....	70
Gambar 3.11 Rangkaian Power Supply	71
Gambar 3.12 rangkaian Sensor Rotary Encoder	72
Gambar 3.13 Rangkaian Sensor Tegangan	72
Gambar 3.14 Rangkaian Sensor Arus	73
Gambar 3.15 Diagram Alir (Flow Chart) Sistem Kendali Daya Maksimum Berbasis OTC	74
Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Terminal Catu Daya 5VDC	81
Gambar 4.2 Hasil Pengukuran Terminal Catu Daya 12VDC	82
Gambar 4.3 Pengujian Arduino Uno.....	84
Gambar 4.4 Keluaran <i>PWM</i> pada pin 3 arduino	84

Gambar 4.5 Bentuk Gelombang Keluaran Setelah diberi Duty Cycle sebesar 32%	85
Gambar 4.6 Pengujian Gate drive	86
Gambar 4.7 Bentuk gelombang masukan dan keluaran gate drive	86
Gambar 4.8 Pengujian sensor tegangan	87
Gambar 4.9 Pengujian sensor arus	88
Gambar 4.10 Tegangan Input <i>Konverter Boost</i>	88
Gambar 4.11 Tegangan ouput <i>Konverter Boost</i> dengan Duty Cycle 4%	89
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Daya Turbin	91

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Bagian Bagian Menu File Pada IDE Arduino.....	51
Table 2.2 Bagian Bagian Menu Edit Pada IDE Arduino	52
Table 2.3 Bagian Bagian Menu Sketch Pada IDE Arduino.....	53
Table 2.4 Bagian Bagian Menu Tools Pada IDE Arduino.....	53
Table 2.5 Bagian Bagian Tool Bar Pada IDE Arduino.....	54
Tabel 2.6 Simbol – Simbol untuk Membuat Flowchart.....	57
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Turbin tanpa MPPT	89
Table 4.2 Hasil Pengujian Turbin dengan MPPT	90

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG MASALAH

Energi fosil, seperti batu bara, bahan bakar minyak dan gas adalah sumber energi utama yang banyak digunakan untuk pembangkit tenaga listrik. Persediaan energi fosil ini semakin lama berkurang, sedangkan kebutuhan energi listrik semakin meningkat. Pemanfaatan sumber energi terbarukan adalah salah satu alternatif untuk menggantikan posisi energi fosil untuk pembangkit tenaga listrik. Beberapa sumber energi terbarukan, seperti energi surya, air, panas bumi, dan angin telah mulai digunakan untuk pembangkit tenaga listrik, walaupun belum berkembang secara maksimal.

Pembangkit listrik tenaga angin merupakan pembangkit listrik energi terbarukan yang paling sedikit dikembangkan di Indonesia (PUSDATIN ESDM, 2016). Sampai tahun 2016, kapasitas terpasang pembangkit listrik tenaga angin baru mencapai 1,1 MW, sedangkan potensi energi angin di Indonesia mencapai 60.6 GW. Salah satu kendala pemanfaatan energi angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia adalah rendahnya kecepatan angin rata-rata yang hanya berkisar antara 2,5 – 6 m/s. Untuk meningkatkan peran pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia perlu dilakukan pengembangan yang dapat meningkatkan performansi pembangkit. Telah banyak riset yang telah dilakukan untuk meningkatkan

performansi pembangkit listrik tenaga angin, yang mencakup pengembangan mekanik turbin, generator, konverter daya dan sistem kendali pembangkit.

Pembangkit listrik tenaga angin umumnya menggunakan konverter daya untuk menyalurkan daya listrik ke jaringan atau pemakai. Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, maka dalam penelitian ini digunakan konverter daya *Dioda Rectifier – Inverter* (DRI) karena lebih sederhana, murah dan teknik modulasinya lebih mudah dibandingkan konverter lain (Haque, 2010). Penyaluran daya listrik dari generator pembangkit listrik tenaga angin menggunakan DRI dilakukan dengan menggunakan tiga konverter daya, yaitu dioda bridge sebagai penyearah tegangan output generator menjadi tegangan dc, dc-dc konverter sebagai media kendali daya output generator dan inverter sebagai media untuk mendapatkan tegangan ac sesuai dengan kebutuhan konsumen. Dalam Tugas Akhir ini, konverter daya yang digunakan hanya dioda bridge sebagai penyearah dan dc-dc konverter tipe boost konverter sebagai media pengendali daya output generator. Boost konverter ini dipilih sebagai pengendali daya output generator karena rating tegangan generator yang rendah di bawah tegangan dc yang dibutuhkan untuk inverter. Dengan menggunakan boost konverter, maka tegangan keluarannya untuk inverter dapat dinaikan.

Pengendalian daya output generator menggunakan boost konverter bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik tenaga angin. Sistem kendali daya dirancang agar daya output generator dapat maksimum

pada setiap variasi kecepatan angin, yang disebut juga dengan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT).

Daya output maksimum dapat diperoleh dengan mengendalikan kecepatan generator pada titik koefisien daya maksimum dan *Tip Speed Ratio* (TSR) optimum. Titik koefisien daya maksimum dan TSR optimum berada pada kecepatan generator yang berbeda pada setiap variasi kecepatan angin. Untuk mendapatkan daya output maksimum, maka kecepatan generator harus dioperasikan pada titik koefisien daya maksimum dan TSR optimum. Secara garis besar, sistem kendali MPPT dapat didesain dalam dua bentuk, yaitu sistem kendali TSR optimum atau disebut juga *Optimum TSR Control* (OTSRC) dan sistem kendali torka elektromagnetik optimum atau disebut juga *Optimum Torque Control* (OTC) (Nasiri, 2014). OTSRC menggunakan kecepatan optimum sebagai referensi controller, sedangkan OTC menggunakan torka elektromagnetik optimum sebagai referensi controller (Abdullah, 2014). OTC lebih akurat dibandingkan kendali OTSRC karena sistem kendali memperhitungkan parameter turbin (Nasiri, 2014), sehingga digunakan dalam penelitian ini.

Dari latar belakang tersebut penulis mencoba merancang sebuah tugas akhir dengan judul **“Rancang Bangun Sistem Kendali Daya Maksimum Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Boost Converter Dengan Metode Optimum Torque Control”**. Pengaturan daya output generator menggunakan boost konverter berbasis OTC dilakukan dengan mengatur arus dc melalui switch boost konverter, sehingga generator

beroperasi pada titik torsi elektromagnetik optimum, yang merupakan titik daya maksimum dari turbin angin. Rancangan sistem kendali daya maksimum ini diimplementasikan menggunakan Arduino uno.

Sistem kendali daya maksimum berbasis OTC ini diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga angin yang menggunakan turbin angin horizontal dengan generator tipe magnet permanen yang memiliki rating daya output 400 watt, rating tegangan 48 Volt dan rating kecepatan putaran 600 rpm.

B. IDENTIFIKASI MASALAH

- a. Pembangkit listrik tenaga angin sebagai sumber energi terbarukan masih sedikit dikembangkan di Indonesia, karena kondisi kecepatan angin yang rendah
- b. Untuk meningkatkan peran pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia perlu dilakukan pengembangan yang dapat meningkatkan performansi pembangkit listrik tenaga angin.
- c. Untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik tenaga angin, perlu dilakukan pengendalian daya output generator agar maksimum pada setiap variasi kecepatan angin.

C. BATASAN MASALAH

- a. Sistem kendali daya maksimum dirancang menggunakan boost konverter berbasis OTC

- b. Sistem kendali daya maksimum berbasis OTC diimplementasikan menggunakan arduino uno.
- c. Sistem kendali daya maksimum diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga angin yang menggunakan turbin angin horizontal dengan generator magnet permanen yang memiliki rating daya 400 watt, tegangan 48 volt dan rating kecepatan 600 rpm.

D. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang dijabarkan diatas, maka dapat dirumuskan masalah yang ada dalam penelitian Tugas Akhir ini, yaitu bagaimana merancang bangun sistem kendali daya maksimum pembangkit listrik tenaga angin menggunakan boost converter dengan metode OTC.

E. TUJUAN

Tujuan penulis dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah:

- a. Merancang sistem kendali daya maksimum pembangkit listrik tenaga angin menggunakan boost konverter berbasis *optimum torque control*.
- b. Mengimplementasikan sistem kendali daya maksimum berbasis OTC menggunakan arduino uno.

F. MANFAAT

Adapun manfaat yang ingin diperoleh dari pembuatan Tugas Akhir berupa perancangan system kendali daya maksimum pembangkit listrik tenaga angin menggunakan boost converter dengan metoda optimum torque control adalah meningkatkan performansi pembangkit listrik tenaga angin yang berorientasi pada peningkatan efisiensi pembangkit.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Sebelumnya telah dilakukan perancangan dan pembuatan alat serta telah dilakukan pengujian alat MPPT pada turbin angin. Maka pada bab ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pembangkit listrik tenaga angin pada penelitian ini telah berhasil dilakukan.
2. MPPT pada turbin angin ini mampu memaksimalkan daya keluaran dari turbin angin.
3. MPPT controller pada tugas akhir ini dirancang menggunakan bantuan *Konverter Boost* serta menggunakan algoritma OTC dalam pembuatan alat ini.

B. SARAN

Dalam pengerjaan dan penyelesaian Tugas Akhir ini tentu tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kesalahan, baik itu pada perancangan sistim maupun pada proses pembuatan Tugas Akhir yang telah dibuat. Untuk memperbaiki kekurangan dalam menyempurnakan sistim ini, penulis menyarankan dalam pengembangan pembuatan alat ini kedepannya yaitu alat MPPT yang digunakan mampu menahan arus lebih besar dari yang telah

dibuat dalam tugas akhir ini. Serta keakuratan alat ukur dan pengaturan programnya lebih ditingkatkan lagi.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Abdullah, M.A., Yatim, A.H.M., Tan, CW dan Saidur, R. (2014), “A Review of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Wind Energy Systems”, *Renewable Energy*. 16 (5): 3220–3227.
- Andriyanto, Heri dan Aan Darmawan. (2016). “*Arduino Belajar Cepat dan Pemrograman*”. Bandung: Informatika Bandung.
- Asyik, Nur, Hidayatullah. (2016). “Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maksimum Power Point Tracking”. *JEECAE*. 1(1): 7.
- Cahyadi, dkk. (2016). “Rancang Bangun Catu Daya DC Menggunakan Kendali P-I Berbasis Mikrokontroler”. *ELECTRICIAN*
- Hamdi. (2016). “*Energi Terbarukan*”. Jakarta: Kencana.
- Haque, M.E., Negnevitsky, M. dan Muttaqi, K.M. (2010), “A Novel Control Strategy for a Variable Speed Wind Turbine With a PMSG”, *IEEE Trans. On Industry Applications*, 46 (1): 331-339.
- Kira, Grogg. (2005). “*Harvesting The Wind: The Physics Of Wind Turbines*”. Amerika Serikat: Carleton Colage.
- Mohan, Ned, dkk. (1995). “*Power Electronics Converter, Application and Design*”. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Muis, Saludin. (2013). “*Prinsip Kerja LCD dan Pembuatannya (Liquid Crystal Display)*”. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Nasiri, M., Milimonfared, J dan Fathi, S.H. (2014), “Modeling, Analysis and Comparison of TSR and OTC Methods for MPPT and Power