



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 145561

## PENGATURAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DAN SURYA MENGGUNAKAN NI MY RIO

Angela Andriyanti Roberto  
NRP 2213030003  
Mustofa Amirullah  
NRP 2213030061

Dosen Pembimbing  
Slamet Budiprayitno, ST., MT.  
Ir. Joko Susila, MT.

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 145561

## WIND TURBINE AND SOLAR CELL ENERGY POWER GENERATOR CONTROL USING NI MYRIO

Angela Andriyanti Roberto  
NRP 2213030003  
Mustofa Amirullah  
NRP 2213030061

Advisors  
Slamet Budiprayitno, ST., MT.  
Ir. Joko Susila, MT.

ELECTRICAL ENGINEERING D3 STUDY PROGRAM  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Pengaturan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dan Surya Menggunakan NI myRIO**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 02 Juni 2016



Angela A. Roberto  
NRP 2213030003



Mustofa Amirullah  
NRP 2213030061



**LEMBAR PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Angela - A. Roberto  
Nrp. : 2213030003  
Jurusan / Fak. : D3 Teknik Elektro / FTI  
Alamat kontak : Kampung Mahang Tengah 1/36  
a. Email : Angelaaroberto@gmail.com  
b. Telp/HP : 081336045848

Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalti-Free Right*) kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGATURAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DAN  
SURYA MENGEUNAKAN NI MYRIO

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya Ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

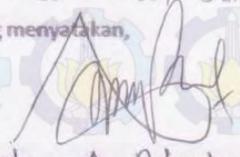
Dosen Pembimbing :  
  
Slamet Budiprayitno, ST, MT

NIP. 197811132010121002

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 27 Juni 2016

Yang menyatakan,

  
Angela - A. Roberto

Nrp. 2213030003

**KETERANGAN :**

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

**LEMBAR PERNYATAAN  
PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH  
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini saya :

Nama : Mustofa Amirullah  
Nip. : 2213030061  
Jurusan / Fak. : D3 Teknik Elektro / FTI  
Alamat kontak : Keputih Gg ID No 19  
a. Email : Mustofa.amirullah24@gmail.com  
b. Telp/HP : - / 085940305997

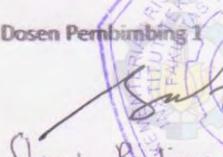
Menyatakan bahwa semua data yang saya *upload* di Digital Library ITS merupakan hasil final (revisi terakhir) dari karya ilmiah saya yang sudah disahkan oleh dosen penguji. Apabila dikemudian hari ditemukan ada ketidaksesuaian dengan kenyataan, maka saya bersedia menerima sanksi.

Demi perkembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-Exclusive Royalti-Free Right*) kepada Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGATURAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DAN SURYA MENGGUNAKAN NI-MYRO

Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan mempublikasikannya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta. Saya bersedia menanggung secara pribadi, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini tanpa melibatkan pihak Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

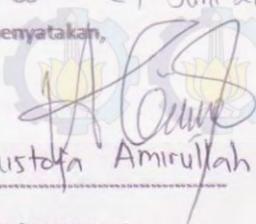
Dosen Pembimbing I  
  
Slamet Budiprayitno, ST., MT.  
TEKNIK ELEKTRO

NIP. 1978 1113 201012 1 002

Dibuat di : Surabaya

Pada tanggal : 27 Juni 2016

Yang menyatakan,

  
Mustofa Amirullah

Nrp. 2213030061

**KETERANGAN :**

Tanda tangan pembimbing wajib dibubuhi stempel jurusan.

Form dicetak dan diserahkan di bagian Pengadaan saat mengumpulkan hard copy TA/Tesis/Disertasi.

**PENGATURAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN  
DAN SURYA MENGGUNAKAN NI MYRIO**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik

Pada

*Bidang Studi Komputer Kontrol*  
Jurusan D3 Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Slamet Budiprayitno, ST., MT.  
NIP. 19781113 201012 1-002

Ir. Joko Susila, MT.  
NIP. 19660606 199102 1 001

**SURABAYA  
JUNI, 2016**



## PENGATURAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DAN SURYA MENGGUNAKAN NI MYRIO

**Nama** : Angela Andriyanti Roberto  
Mustofa Amirullah  
**Pembimbing** : Slamet Budiprayitno, ST., MT.  
Ir. Joko Susila, MT.

### ABSTRAK

Sumber energi listrik yang ada di Indonesia saat ini sebagian besar dihasilkan oleh bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui. Sedangkan hasil pembakaran bahan bakar fosil akan menghasilkan gas CO<sub>2</sub>. Potensi alam yang dimiliki Indonesia ini dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber energi untuk pembangkitan listrik. Baterai merupakan sumber energi listrik paling sering digunakan karena mudah dalam perawatan dan efisien. Akan tetapi, kapasitas baterai dapat habis seiring dengan waktu penggunaan. Proses pengisian ulang energi listrik ke dalam baterai memerlukan peralatan yang disebut *battery charger*.

Pada tugas akhir ini akan dibuat sistem *battery charger* menggunakan rangkaian *boost converter* untuk menaikkan tegangan DC sesuai dengan tegangan pengisian baterai sebesar 28,8 volt. Untuk menjaga agar tegangan output konstan maka diberikan kontrol melalui PWM (*Pulse Widht Modulation*) yang dihasilkan oleh NI myRIO 1900 dengan *feedback* sensor tegangan. Selain itu, digunakan juga sensor arus sebagai *feedback* untuk menon-aktifkan *relay* pada sistem pengisian baterai agar baterai tidak *overcharges*. Kemudian *relay* akan aktif kembali atau baterai akan kembali diisi apabila kapasitas baterai telah tersisa 60%, yang dibaca oleh sensor tegangan.

Sistem ini dapat digunakan untuk mengisi baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) berkapasitas 24 volt 7,2 Ah dengan tegangan dan arus pengisian sebesar 28,8 volt dan 1,44 ampere.

**Kata Kunci** : *solar cell*, turbin angin generator DC, *battery charger*, *boost converter*, PWM (*Pulse Widht Modulation*), NI myRIO 1900



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **WIND TURBINE AND SOLAR CELL ENERGY POWER GENERATOR CONTROL USING NI MYRIO**

**Name** : Angela Andriyanti Roberto  
Mustofa Amirullah  
**Advisor** : Slamet Budiprayitno, ST., MT.  
Ir. Joko Susila, MT.

### **ABSTRACT**

*The power energy used in Indonesia nowadays are mostly come from diesel, unrenewable sources of energy. Moreover, the burning process in order to produce power energy, can cause the air polution. Nature can be very potential to be used as alternative energy which also safe for the environment. Battery is one of common power energy storage because of its efficiency and easy maintenance. However, the capacity can easily run out periodically, so the recharge process will be needed to bring back the capacity to make it usable again.*

*In this final project, energy from solar cell and wind turbine used as battery charger. The battery charger uses boost converter to raise the DC voltage, based on battery charging voltage 28,8 volts. To keep the output voltage constantly produced, a control is given by PWM of NI myRIO 1900 and feedback system. Current sensor also will be put on the system to notify when the battery need to be charged. Then relay will automatically switch ON when the capacity of the battery has reached the value of 60%.*

*This system can produce power energy from renewable energy, solar and wind. The output voltage can be used to charge battery with the charging voltage 28,8 volts and the current 1,44 amps.*

**Keywords** : solar cell, wind turbine, battery charger, boost converter, PWM (Pulse Widht Modulation), NI myRIO 1900, renewable energy



# DAFTAR ISI

	HALAMAN
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	v
HALAMAN PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	iii
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.1 Latar Belakang.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.2 Permasalahan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.3 Batasan Masalah.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.4 Tujuan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.5 Metodologi Penelitian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.6 Sistematika Laporan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
1.7 Relevansi.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB II LANDASAN TEORI.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.1 Tinjauan Pustaka.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.2 Solar Cell.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.3 Turbin Angin.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.4 NI myRIO <i>Controller</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.5 Baterai.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.6 Sensor Tegangan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.7 Sensor Arus.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.8 Konverter Penaik Tegangan DC ( <i>Boost Converter</i> ).....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
2.8.1 Induktor.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.8.2 Kapasitor.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.8.3 Resistor.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.8.4 MOSFET ( <i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i> ).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

2.8.5 Diode.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.9 PWM ( <i>Pulse Width Modulation</i> )	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.10 <i>Optocoupler</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
2.11 Rangkaian Pemutus Arus .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
3.1 Diagram Blok Sistem.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2 Perancangan Mekanik.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2.1 Perancangan Tiang Penyangga .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2.2 Perancangan Roda Gigi....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2.3 Perancangan <i>Panel Box</i> Rangkaian Elektrik .....	<b>Error!</b>
<b>Bookmark not defined.</b>	
3.2.4 Perancangan Baling-Baling Turbin.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3 Perancangan Elektrik .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.1 Perencanaan Panel Surya .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.2 Perencanaan Generator DC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.3 Perencanaan Beban .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.4 Perancangan <i>Boost Converter</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.5 Perancangan Induktor .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.6 Perancangan <i>Driver</i> MOSFET.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.7 Perancangan Rangkaian Pemutus Arus..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.8 Perancangan Sensor Tegangan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.9 Perancangan Sensor Arus.	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3.10 Perancangan <i>Wiring</i> NI myRIO .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4 Perancangan Perangkat Lunak ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.1 Program Pembangkitan PWM .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.2 Program Pembacaan Sensor .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

3.4.3	Program Pengaktifan <i>Relay</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.4	Perancangan <i>Interface</i> Program Utama .	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4.5	Perancangan Program Utama .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1	Pengujian Panel Surya.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2	Pengujian Turbin Angin .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3	Pengujian Sensor Tegangan .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4	Pengujian PWM .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5	Pengujian <i>Boost Converter</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.6	Pengujian Keseluruhan Sistem....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
BAB V PENUTUP.....		87
DAFTAR PUSTAKA .....		89
LAMPIRAN.....		<b>Error! Bookmark not defined.</b>
A.	Skema <i>Wiring</i> NI myRIO dengan Rangkaian Elektrik .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
B.	Program Utama .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....		91



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## DAFTAR GAMBAR

HALAMAN

- Gambar 2.1 Prinsip Kerja Modul *Solar Cell***Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.2 Turbin Angin Vertikal ....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.3 Turbin Darrieus .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.4 Turbin Savonius .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.5 NI-myRIO 1900 .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.6 *Port A* dan *B* NI myRIO 1900**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.7 *Port C* NI myRIO 1900..**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.8 Pemrograman NI myRIO Menggunakan LabVIEW.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.9 Baterai Jenis VRLA .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.10 Rangkaian Pembagi Tegangan**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.11 Contoh Transformator Arus**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.12 Sensor *Hall Effect*.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.13 Rangkaian Boost Converter**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.14 Arah Arus *Boost Converter* Saat MOSFET *ON*... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.15 Arah Arus *Boost Converter* Saat MOSFET *OFF*. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.16 Ilustrasi Pengisian Arus Pada Induktor ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.17 Ilustrasi Pengosongan Arus Pada Induktor..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.18 Proses Pengisian Kapasitor**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.19 Proses Pengosongan Kapasitor**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.20 Kurva Karakteristik MOSFET**Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 2.21 Rangkaian MOSFET Saat Kondisi *Cut-Off* ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.22 Rangkaian MOSFET Saat Kondisi Saturasi..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.23 Ilustrasi Cara Kerja Diode**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.24 *Pulse Width Modulation***Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.25 Bentuk Fisik IC Optocoupler TLP 250 ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.26 Contoh Bentuk Fisik Relay**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.2 Perancangan Tiang Penyangga**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.3 Perancangan Roda Gigi Turbin dan Generator DC **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.4 *Panel Box* Rangkaian Elektrik**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.5 Bagian Baling – Baling Turbin**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.6 Desain Baling-baling Turbin**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.7 Panel Surya 50 Wp BELL SL50 CE-18M ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.8 Generator ENGEL GNM 3150**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.9 PANASONIC LC-V127R2NA1**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.10 Rangkaian *Boost Converter***Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.11 Bentuk Rangkaian *Boost Converter***Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.12 Desain Lilitan Induktor **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.13 Skematik Rangkaian TLP 250**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.14 Bentuk Rangkaian *Driver* MOSFET**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.15 Skematik Rangkaian Pemutus Arus**Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 3.16 Bentuk *Real* Rangkaian Pemutus Arus..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.17 Rangkaian Sensor Tegangan**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.18 Bentuk Sensor Tegangan**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.19 Rangkaian Sensor Arus ACS 712**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.20 Bentuk *Real* Rangkaian Sensor Arus Untuk Tugas Akhir .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.21 *Wiring Input* dan *Output* NI myRIO**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.22 *Flowchart* Program PWM**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.23 Program PWM.....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.24 *Flowchart* Program Pembacaan Sensor..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.25 Program Pembacaan Sensor**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.26 *Flowchart* Program Pengaktifan *Relay*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.27 Program Pengaktifan *Relay***Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.28 Tampilan *Interface* Program Utama Menggunakan LabVIEW .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.29 *Flowchart* Program Utama**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.30 Program Utama Sistem.**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.1 Pengujian Panel Surya di Lantai 3 Gedung D3 Teknik Elektro .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.2 Metode Pengujian Panel Surya**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.3 Grafik Hubungan Intensitas Cahaya dengan Tegangan Keluaran Panel Surya .....**Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.4 Grafik Hubungan Intensitas Cahaya dengan Arus.. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.5 Grafik Hubungan Intensitas Cahaya dengan Daya. **Error! Bookmark not defined.**

- Gambar 4.6 Pengujian Kecepatan Angin dengan Anemometer di Halaman Belakan Gedung AA 107 D3 Teknik Elektro..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.7 Grafik Hubungan Jumlah RPM dengan Tegangan Generator ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.8 Pengujian Sensor Tegangan Panel Surya ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan Panel Surya Menggunakan AVometer dan LabVIEW.... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.10 Pengujian Sensor Tegangan Turbin Angin ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan Turbin Angin Menggunakan AVometer dan NI myRIO ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.12 Skema Pengujian Sensor Tegangan *Input Boost Converter* ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan *Input Boost Converter* menggunakan AVometer dan NI myRIO ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.14 Skema Pengujian Sensor Tegangan *Output Boost Converter* ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan *Output Boost Converter* menggunakan AVometer dan NI myRIO ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.16 Skema Pengujian Sensor Tegangan Baterai ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan Baterai Menggunakan AVometer dan NI myRIO ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.18 Teknik Pengujian Pembangkitan PWM ..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.19 Respon PWM *Duty Cycle 30%*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.20 Respon PWM *Duty Cycle 40%*..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 4.21 Respon PWM *Duty Cycle 45%*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.22 Respon PWM *Duty Cycle* 50% **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.23 Respon PWM *Duty Cycle* 53% **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.24 Respon PWM *Duty Cycle* 60% **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.25 Respon PWM *Duty Cycle* 65% **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.26 Respon PWM *Duty Cycle* 70% **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.27 Skema Pengujian *Boost Converter Open Loop* .... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.28 Grafik Hubungan Tegangan *Input Boost* dengan Tegangan *Output Boost*..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.29 Skema Pengujian *Boost Converter Close Loop*.... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.30 Grafik Hubungan *Duty Cycle* dengan Tegangan *Output Boost* ..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.31 Pengujian Keseluruhan Sistem Tugas Akhir di Halaman Belakang Gedung AA 107 D3 Teknik Elektro ... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.32 Grafik Hubungan Tegangan Keluaran *Boost Converter* dengan Arus Pengisian **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.33 Tampilan *Interface* Kondisi *Standby Mode* Menggunakan LabVIEW ..... **Error! Bookmark not defined.**

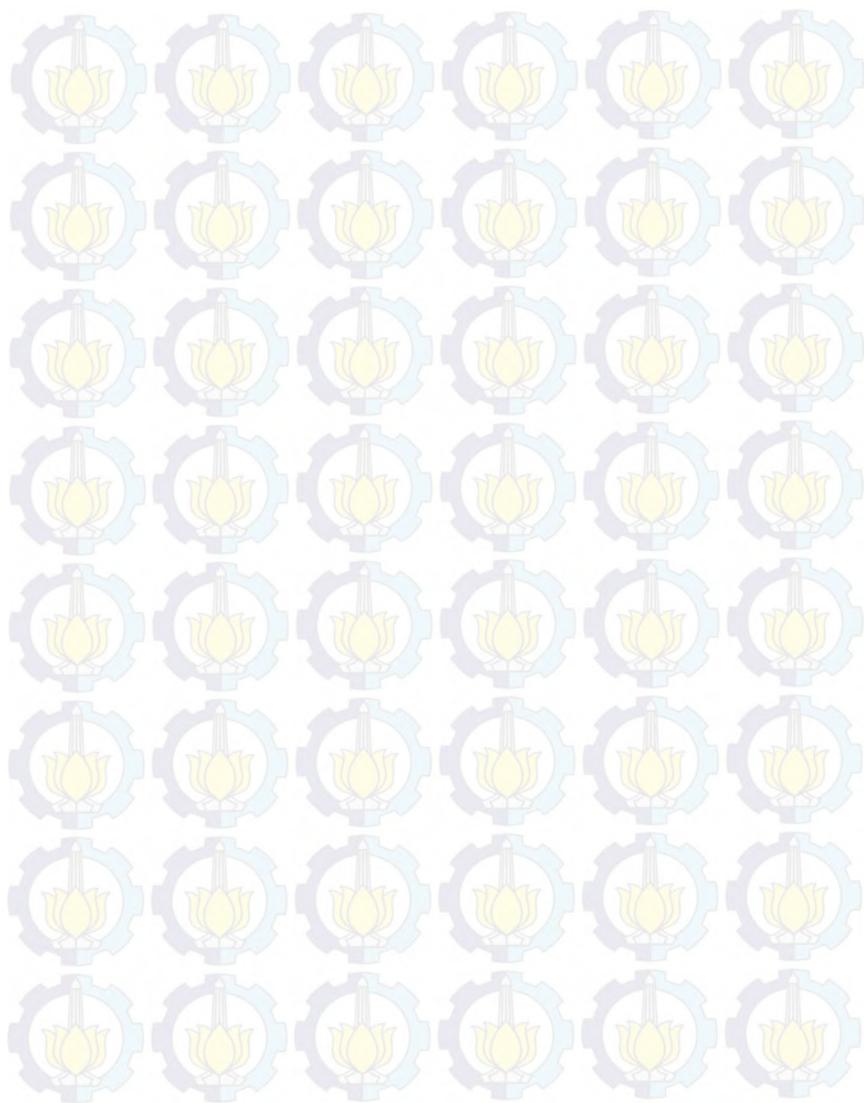
Gambar 4.34 Tampilan *Interface* Kondisi *Charging Mode* Menggunakan LabVIEW ..... **Error! Bookmark not defined.**

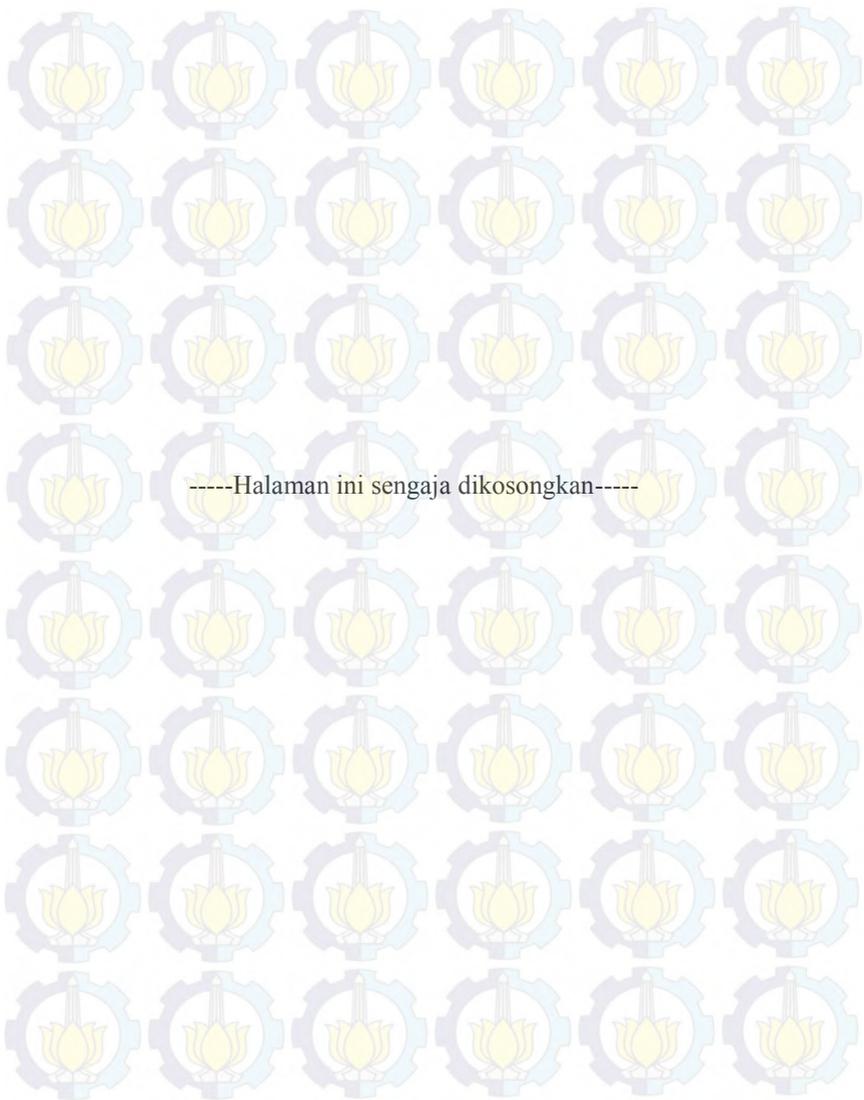
Gambar 4.35 Grafik Hubungan Waktu Pengujian dan Tegangan Baterai..... **Error! Bookmark not defined.**

## DAFTAR TABEL

HALAMAN

Tabel 2.1 <i>State of Charge</i> Baterai.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3.2 Spesifikasi ENGEL GNM 3150.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 3.3 Spesifikasi TLP250.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Pembebanan Panel Surya 50 Wp..	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Kecepatan Angin.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.3 Pengujian RPM dan Tegangan Keluaran Generator DC .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sensor Tegangan Panel Surya .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Sensor Tegangan Turbin Angin.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Sensor Tegangan <i>Input Boost Converter</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Sensor Tegangan <i>Output Boost Converter</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Sensor Tegangan Baterai .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pembangkitan PWM.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.10 Hasil Pengujian <i>Boost Converter Open Loop</i> Penambahan <i>Duty Cycle</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.11 Hasil Pengujian <i>Boost Converter Close Loop</i> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.12 Pengujian Sistem Pada Kondisi Pengisian.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Tabel 4.13 Pengujian Pembebanan Baterai Menggunakan Lampu.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>





# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sumber energi listrik yang ada di Indonesia saat ini sebagian besar dihasilkan oleh bahan bakar fosil seperti batu bara. Sebanyak 95% penduduk maupun sektor industri menggunakan fosil sebagai bahan bakar, dan tiap tahun jumlahnya meningkat sebesar 7%. Dari pembakaran fosil, dihasilkan emisi energi CO<sub>2</sub>, yang hingga 2008 tercatat mencapai 351 juta ton. Menurut data ESDM (2006), jumlah cadangan minyak bumi Indonesia hanya sekitar 9 miliar barel per tahun dan produksi Indonesia hanya sekitar 900 juta barel per tahun[3]. Fosil diketahui sebagai sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, yang berarti ketersediaannya terbatas. Dengan penggunaan fosil terus menerus akan dapat mengakibatkan kelangkaan bahan bakar.

Potensi alam yang dimiliki Indonesia ini dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber energi untuk pembangkitan listrik. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Pantai Selatan Jawa. Adapun kecepatan angin 4 m/detik hingga 5 m/detik tergolong berskala menengah dengan potensi kapasitas 10-100 kW[1].

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 10%; dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%. Dengan demikian, potensi surya rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 9%[2].

Baterai merupakan energi cadangan yang paling sering digunakan karena mudah dalam perawatan dan efisien. Akan tetapi, kapasitas baterai dapat habis seiring dengan waktu penggunaan. Dengan memanfaatkan tegangan yang berasal dari cahaya matahari yang ditangkap oleh panel surya dan angin yang dapat memutar turbin angin, kapasitas baterai dapat terisi kembali. Proses pengisian ulang energi listrik ke dalam baterai memerlukan peralatan yang disebut *battery charger*.

*Battery charger* merupakan rangkaian listrik yang berfungsi untuk mentransfer energi listrik dari sumber DC (*Direct Current*) kedalam baterai agar kapasitas baterai kembali penuh dan dapat digunakan [4]. Untuk Tugas Akhir ini pengisian baterai dilakukan secara otomatis menggunakan *panel surya* dan turbin angin sebagai *supply* sistem *battery charger*. Selain itu terdapat rangkaian *Boost Converter* yang digunakan sebagai regulator yang dapat menghasilkan tegangan pengisian sebesar 28.8 Volt untuk baterai 24V / 7.2Ah. Sistem kerja *battery charger* dilengkapi dengan rangkaian pemutus arus, dimana arus pengisian akan terputus ketika kapasitas baterai telah penuh agar terhindar dari kondisi *overcharging*. Seluruh kerja sistem diatur oleh sebuah alat pengendali yang diprogram menggunakan *software* LabVIEW.

## 1.2 Permasalahan

Adapun permasalahan yang mendasari pembuatan Tugas Akhir ini adalah sumber energi yang digunakan di Indonesia saat ini sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil yang ketersediaannya terbatas. Potensi energi surya dan angin di Indonesia dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi alternatif, yang kemudian energinya dapat ditampung pada baterai. Namun kapasitas baterai akan berkurang seiring penggunaan baterai. Maka diperlukan suatu alat yang dapat menghasilkan energi listrik dari sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk mengisi ulang kapasitas baterai.

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari Tugas Akhir ini adalah sumber tegangan sistem *battery charger* ini berasal dari panel surya dan turbin angin. Baterai yang digunakan adalah baterai jenis VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) 24 volt/7.2Ah yang terdiri dari 2 baterai 12V yang dipasang secara seri. Tegangan dan arus yang dibutuhkan untuk pengisian baterai oleh *boost converter* adalah sebesar 28.8 Volt dan 1.44 Ampere.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil seiring semakin tingginya kebutuhan pasokan listrik dan terbatasnya ketersediaan bahan bakar tersebut di Indonesia dengan menyediakan energi listrik alternatif yang berasal dari potensi alam berupa surya dan angin yang melimpah serta tidak mencemari lingkungan. Selain itu juga agar baterai yang dijadikan

sebagai penampung energi listrik dapat diisi ulang sesuai dengan kebutuhan pada tegangan dan arus yang tetap.

### **1.5 Metodologi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan metodologi, yaitu, studi literatur, perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak, integrasi dan pengujian sistem, analisis data, dan penyusunan laporan berupa buku Tugas Akhir.

Pada tahap studi literatur data – data dan dasar teori yang dikumpulkan berkaitan dengan cara kerja panel surya dan turbin angin, *battery charger*, sensor tegangan dan sensor arus ACS 712, rangkaian elektronika daya, dan pemrograman menggunakan LabVIEW. Pada tahap perancangan perangkat keras dilakukan perancangan rangkaian *boost converter*, sensor tegangan, sensor arus ACS 712, rangkaian pemutus arus, dan rangkaian *totempole* sebagai driver mosfet, sementara pada perancangan perangkat lunak dilakukan pemrograman pada NI MyRIO yaitu pembangkitan PWM (*Pulse With Modulation*) yang masuk ke kaki *Gate* Mosfet, menampilkan pembacaan sensor tegangan dan sensor arus ACS 712, serta untuk mengatur kerja dari rangkaian pemutus arus menggunakan LabVIEW. Kemudian sistem akan diuji secara keseluruhan, baik perangkat keras maupun perangkat lunak, serta dilakukan perbaikan apabila terjadi kesalahan pada sistem. Di tahap analisa data dilakukan analisa terhadap data – data yang diperoleh dari pengujian perangkat keras, perangkat lunak, dan sistem secara keseluruhan.

### **1.6 Sistematika Laporan**

Sistematika pembahasan tugas akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu pendahuluan, teori penunjang, perencanaan dan pembuatan alat, pengujian dan analisa alat, serta penutup.

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Membahas tentang latar belakang permasalahan, permasalahan, tujuan, sistematika laporan, serta relevansi.

#### **BAB II : TEORI PENUNJANG**

Menjelaskan tentang data – data dan dasar teori yang berisi tentang konsep yang dijadikan landasan dan mendukung dalam perencanaan serta pembuatan alat yang dibuat.

### **BAB III: PERENCANAAN DAN PEMBUATAN ALAT**

Membahas tentang perencanaan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*) yang meliputi perangkaian *panel surya*, pembuatan rangkaian *boost converter*, perancangan rangkaian pemutus arus, perancangan sensor - sensor. Serta perangkat lunak (*software*) berupa program untuk membangkitkan PWM (*Pulse Width Modulation*) dan pembacaan sensor menggunakan LabVIEW.

### **BAB IV: PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT**

Membahas tentang pengukuran, pengujian, dan analisa terhadap komponen - komponen fisik seperti pengukuran tegangan pada input maupun output. Serta pengukuran arus yang mengalir pada rangkaian

### **BAB V : PENUTUP**

Menjelaskan tentang kesimpulan dari tugas akhir ini dan saran-saran untuk pengembangan alat ini lebih lanjut

#### **1.7 Relevansi**

Adapun relevansi tugas akhir ini adalah sumber energi pembangkit bekerja tidak saling bergantung, yakni apabila salah satu sumber tidak maksimal tidak akan mempengaruhi kerja dari sumber energi listrik yang lain, sehingga keluaran tegangan akan tetap terjaga. Selain itu proses pembangkitan tidak akan mengeluarkan emisi yang dapat mencemari lingkungan serta ketersediaan sumber energi melimpah dan tidak terbatas. Kemudian baterai yang menampung hasil pembangkitan energi dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

Pada bab ini dijelaskan mengenai beberapa teori penunjang yang mendukung dalam penelitian dalam pelaksanaan Tugas Akhir, antara lain sebagai berikut.

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Terdapat dua penelitian yang pernah dilakukan mengenai *battery charger* yang memanfaatkan energi dari alam. Tetapi dalam penelitian tersebut hanya memanfaatkan satu sumber energi alam, yaitu dengan memanfaatkan cahaya matahari yang diubah menjadi sumber listrik DC menggunakan panel surya.

Penelitian yang dilakukan oleh Aulia Rizky Zulviana dari Politeknik Elektronika Negeri Surabaya mengenai *Battery Charger Dengan Konverter Boost*, dimana pada penelitian tersebut berhasil membuat suatu sistem pengisian ulang baterai 24 volt 17 AH dengan tegangan pengisian sebesar 25.4 volt dan arus pengisian 1.37 A[4]. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Rizky Wahyu Saputri dari Politeknik Elektronika Negeri Surabaya mengenai *Charger Baterai Dengan Konverter Buckboost Untuk Beban Lampu LED*, dimana pada penelitian tersebut berhasil membuat suatu sistem pengisian baterai dengan tegangan pengisian 14 volt dengan arus pengisian sebesar 2A[5].

Pada penelitian di atas hanya memanfaatkan satu sumber energi yang berasal dari cahaya matahari. Untuk pembangkitan PWM dilakukan dengan mikrokontroler menggunakan bahasa C. Selain itu informasi antarmuka mengenai besar tegangan dan arus pengisian ditampilkan menggunakan LCD 16x2.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan pengendalian sistem pengisian ulang baterai dengan sumber energi dari cahaya matahari dan energi angin menggunakan LabVIEW. Besar tegangan pengisian baterai dibuat tetap dengan metode pengendalian PWM (*Pulse Width Modulation*) menggunakan LabVIEW. Diharapkan dari pengendalian sistem menggunakan LabVIEW akan memberikan informasi antarmuka yang lebih interaktif mengenai besar tegangan dari panel surya, tegangan dari turbin angin, tegangan masukan *boost converter*, tegangan pengisian baterai, dan *monitoring* pengisian baterai.

## 2.2 Solar Cell

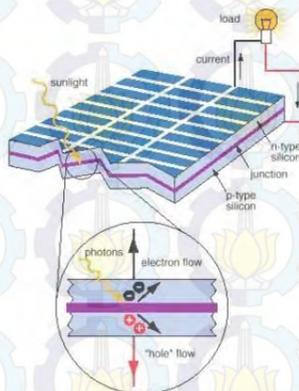
Merupakan suatu jenis sensor *photoelectric* yang dapat mengubah intensitas cahaya menjadi perubahan tegangan pada keluarannya. Apabila *solar cell* menerima pancaran cahaya, maka pada terminal keluarannya akan menghasilkan tegangan DC sebesar 0,5 volt. *Solar cell* sering digunakan sebagai pembangkit listrik DC tenaga surya yang tersusun dari beberapa *solar cell* menjadi sebuah modul *solar cell* (panel surya).

*Solar cell* dapat dianalogikan sebagai suatu perangkat dengan dua terminal, dimana saat kondisi gelap atau tidak cukup cahaya berfungsi seperti diode. Saat disinari cahaya matahari dapat menghasilkan tegangan DC. Efek sel *photovoltaic* terjadi akibat lepasnya elektron yang disebabkan adanya cahaya yang mengenai bahan semikonduktor. Bila *solar cell* diberi beban, maka arus listrik yang dihasilkan tergantung dari intensitas cahaya yang mengenai permukaan semikonduktor. Cara kerja modul *solar cell* ditunjukkan seperti pada Gambar 2.1.

## 2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin dapat menghasilkan energi listrik dengan menggunakan prinsip konversi energi menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin.

Turbin angin dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu: turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal. Sesuai namanya,



Gambar 2.1 Prinsip Kerja Modul Solar Cell [13]

turbin horisontal memiliki konstruksi kincir yang berputar secara horisontal, sementara turbin vertikal memiliki kincir atau baling-baling yang berputar secara vertikal. Contoh turbin angin vertikal ditunjukkan pada Gambar 2.2.

Turbin sumbu vertikal dibagi menjadi dua jenis yaitu: Savonius dan Darrieus.

#### 1. Turbin Darrieus

Turbin angin sumbu vertikal ini mempunyai bilah-bilah tegak yang berputar ke dalam dan keluar dari arah angin, yang efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Turbin ini bergerak memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup. Turbin Darrieus ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.2** Turbin Angin Vertikal [14]



**Gambar 2.3** Turbin Darrieus [14]

## 2. Turbin Savonius

Turbin ini merupakan jenis turbin yang lebih sederhana dibanding jenis Darrieus. Turbin bergerak karena adanya gaya dorong dari angin, sehingga putaran rotor tidak akan melebihi kecepatan angin. Turbin jenis ini umumnya bergerak lebih perlahan dibandingkan jenis turbin angin sumbu horizontal, tetapi menghasilkan torsi yang besar. Gambar 2.4 menunjukkan ilustrasi bentuk turbin angin jenis Savonius.

Kelebihan turbin angin vertikal dibanding turbin horisontal antara lain: Turbin vertikal dapat menghasilkan energi listrik pada semua arah angin, tidak diperlukan menara yang kuat karena generator, *gearbox*, dan komponen lain dapat ditempatkan di bawah, biaya produksi yang lebih rendah bila dibandingkan dengan turbin jenis horisontal, instalasi lebih mudah bila dibandingkan dengan turbin horisontal, mudah dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain, biaya pemeliharaan yang lebih rendah, dapat dipasang di area pemukiman, dan lain sebagainya.

### 2.4 NI myRIO Controller

NI myRIO (*Reconfigurable Input Output*) adalah sebuah perangkat *embedded* yang dapat digunakan untuk melakukan berbagai hal seperti mikrokontroler. Alat ini dapat diaplikasikan pada bidang pengaturan, mekatronik, robotik, dan bidang-bidang lain. NI myRIO-1900 ini menyediakan *analog input (AI)*, *analog output (AO)*, *digital input dan output (DIO)*, *audio*, dan *power output* dalam sebuah perangkat. NI myRIO 1900 ini dapat terhubung pada komputer melalui serial USB maupun *wireless 802.11b,g,n*. Bentuk fisik dari NI myRIO 1900 dapat kita lihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.4** Turbin Savonius [14]

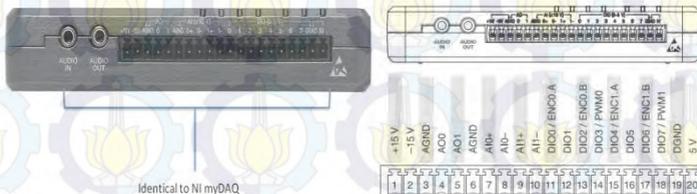
Pada NI myRIO, terdapat 3 port yang masing-masing dilengkapi dengan *input/output* digital dan analog, dan juga DC *supply*. Gambar 2.6 menunjukkan *Port A* dan *Port B* yang ada pada NI myRIO-1900. *Port A* dan *B* masing-masing memiliki 4 *channel analog input* (0-5 volt), 2 *analog output* (0-5), 16 *channel digital input/output* (3,3 volt) yang juga dapat difungsikan sebagai PWM, SPI, CLK, MISO dan MOSI tergantung pada keinginan kita. Pada bagian ini dilengkapi juga dengan DC *supply* sebesar 3,3 dan 5 volt. Selanjutnya Gambar 2.7 menunjukkan bagian *Port C* dari NI myRIO 1900.



Gambar 2.5 NI-myRIO 1900[10]



Gambar 2.6 Port A dan B NI myRIO 1900[10]



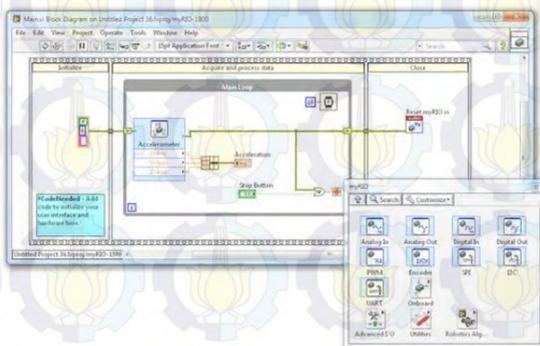
Gambar 2.7 Port C NI myRIO 1900[10]

*Port C* memiliki perbedaan pada besarnya tegangan yang dapat diukur maupun dikeluarkan melalui *channel analog input/output* yakni sebesar  $\pm 10$  volt. DC *supply* yang tersedia pada bagian ini adalah +15 volt, -15 volt, dan +5 volt. Selain itu disebelah kiri terdapat *analog audio input/output* yang memungkinkan pengolahan sinyal suara.

Pemrograman pada NI myRIO dilakukan dengan menggunakan *software* NI LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Electronic Workbench*). NI LabVIEW adalah bahasa pemrograman yang berbasis grafis dan mengeksekusi suatu perintah program dengan konsep *dataflow*, yaitu mengikuti arah peredaran data dan bukan sekuensial seperti bahasa pemrograman lainnya. Pada LabVIEW sudah terdapat *add-on/library* yang khusus digunakan untuk pemrograman perangkat NI myRIO. Gambar 2.8 menunjukkan contoh program menggunakan *software* NI LabVIEW.

## 2.5 Baterai

Baterai adalah sebuah komponen yang dapat menyimpan muatan listrik searah berupa tegangan. Baterai memiliki terminal positif atau katoda, dan terminal negatif atau anoda. Terminal positif adalah kutub yang memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub yang lain. Terminal negatif adalah sumber elektroda yang bila dihubungkan dengan rangkaian lain akan mengalirkan energi ke rangkaian tersebut. Ketika baterai dihubungkan pada sebuah rangkaian, elektron dapat berpindah mengikuti reaksi kimia dan akhirnya mengalirkan energi pada rangkaian. Inilah perpindahan dimana ion-ion dalam baterai dapat mengalirkan arus pada rangkaian.

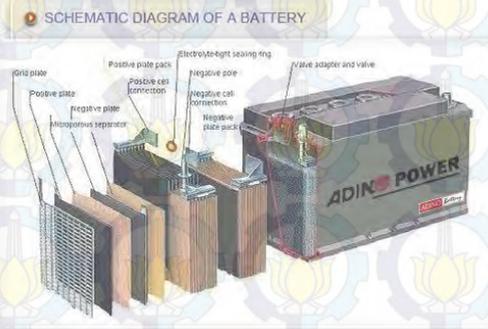


**Gambar 2.8** Pemrograman NI myRIO Menggunakan LabVIEW

Baterai primer hanya dapat dipakai sekali, kemudian bila habis akan dibuang; bahan elektrodanya tidak dapat kembali ketika telah kosong. Contoh baterai jenis ini adalah baterai *alkaline* yang dipakai untuk menyalakan senter dan alat elektronik portabel. Baterai sekunder dapat dipakai berulang-kali karena dapat diisi kembali. Contoh dari baterai jenis ini adalah baterai *lead-acid* yang dipakai pada kendaraan dan baterai *lithium-ion* yang dipakai untuk alat elektronik *portable*.

VRLA kepanjangan dari *Valve Regulated Lead Acid* yang memiliki sebutan lain SLA (*Sealed Lead Acid*), di Indonesia lebih dikenal dengan sebutan aki kering. Baterai jenis ini bersifat tertutup, sehingga penguapan/evaporasi yang dikeluarkan sangat kecil, maka tidak memerlukan penambahan cairan elektrolit selama masa pemakaian baterai tersebut. Proses penguapan/evaporasi pada baterai diatur oleh bagian yang disebut *valve* (katup) [6]. Bagian-bagian dari baterai ini ditunjukkan pada Gambar 2.9.

Baterai VRLA dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan teknologinya, yaitu: Teknologi AGM (*Absorbent Glass Mate*), yaitu jenis baterai yang cairan elektrolitnya terserap oleh lembaran separator *fiber glass* (serat kaca). Baterai VRLA memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan aki/baterai asam timbal (Aki basah & MF), yaitu baterai dapat dipasang dalam posisi apapun, bebas perawatan mengurangi inspeksi dan pemeliharaan. Selain itu penggunaan baterai jenis ini lebih aman, karena sistem baterai ini dirancang untuk menghilangkan emisi gas/uap pada saat keadaan *overcharge*, maka tidak ada uap yang dipancarkan selama operasi normal. (uap dapat mengakibatkan korosi dan karat pada logam bila terjadi kebocoran/retak)[6].



**Gambar 2.9** Baterai Jenis VRLA [6]

Baterai VRLA juga dapat dibedakan berdasarkan penggunaannya, yaitu *Standby Use*, jenis baterai yang bekerja mengeluarkan arus pada waktu sumber listrik utama tidak bekerja. Contoh pengaplikasian dapat ditemukan pada sistem UPS (*Uninterruptible Power Supply*), lampu *emergency*, dan sebagainya; dan *Cycle Use* atau merupakan baterai yang bekerja mengeluarkan arus (*discharging*) kemudian dilanjutkan proses *charging*, dilanjutkan proses *discharging* dan *charging* kembali, dan seterusnya. Proses satu kali *charging* – satu kali *discharging* disebut satu siklus. Contoh pengaplikasian dapat ditemukan pada baterai-baterai kendaraan bertenaga listrik seperti *forklift*, mobil golf, dan sebagainya. [6]

Dalam Standar Internasional setiap satu sel aki memiliki tegangan sebesar 2 volt. Untuk aki 12 volt memiliki 6 sel, sedangkan untuk aki 24 volt memiliki 12 sel. Kapasitas aki pada saat digunakan per jamnya disebut *Ampere-Hour* (AH). Mengetahui kondisi pengisian baterai penting dilakukan agar baterai tahan lebih lama, karena itu pengawasan terhadap pengisian aki sangat diperlukan.

Tabel 2.1 menunjukkan *state of charge* aki, dikatakan penuh saat pengisian mencapai 80%. Jika pengisian lebih dari 80% akan mengalami *overcharge* yang menyebabkan aki rusak. Aki dikatakan kosong atau tidak dapat digunakan ketika pengisian telah mencapai 20%. Pada level tersebut aki harus segera diisi. Arus ideal untuk pengisian aki adalah 10% sampai 30% dari kapasitas aki. Sedangkan untuk tegangan pengisian aki bisa diatur sebesar 110% sampai 120% dari nominal tegangan aki. [5]

**Tabel 2.1** *State of Charge* Baterai [5]

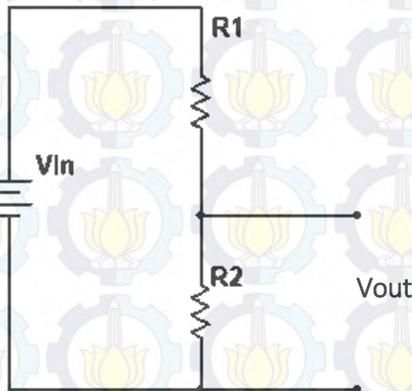
Charge	V open circuit 6v-batt	V open circuit 12v-batt	V open circuit 24v-batt	V open circuit 48v-batt
100%	6,37	12,73	25,46	50,92
90%	6,31	12,62	25,24	50,48
80%	6,25	12,50	25,00	50,00
70%	6,19	12,37	24,74	49,48
60%	6,12	12,24	24,48	48,96
50%	6,05	12,10	24,20	48,40
40%	5,98	11,96	23,92	47,84
30%	5,91	11,81	23,62	47,24
20%	5,83	11,66	23,32	46,64
10%	5,75	11,51	23,02	46,04

## 2.6 Sensor Tegangan

Sensor tegangan adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur tegangan pada sebuah rangkaian. Berdasarkan jenisnya, sensor tegangan dibedakan menjadi sensor tegangan AC dan sensor tegangan DC. Tegangan DC relatif bernilai konstan sehingga mudah untuk diukur, berbeda halnya dengan tegangan AC yang terus berubah sesuai bentuk gelombang sinus dan memiliki magnitudo tegangan dalam wilayah positif dan negatif. Besaran tegangan efektif AC dapat diketahui apabila tegangan maksimum/puncak diketahui.

Sensor tegangan bisa didapatkan melalui perancangan rangkaian pembagi tegangan dan juga dapat didesain menggunakan transformator. Sensor tegangan dengan menggunakan pembagi tegangan dapat digunakan pada tegangan AC maupun DC, sedangkan sensor yang menggunakan transformator hanya dapat digunakan untuk mengukur tegangan AC. Prinsip kerja dari rangkaian pembagi tegangan adalah dengan menghubungkan secara paralel tegangan yang akan diukur dengan dua buah resistor yang disusun seri. Setelah itu, keluaran tegangan didapatkan dengan menghitung pembagian tegangan pada tiap resistor sesuai dengan persamaan 1. Keluaran sensor akan disesuaikan dengan tegangan kerja ADC sebesar 0 sampai 5 volt. Gambar 2.10 menunjukkan rangkaian pembagian tegangan.

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_{in} \dots \dots \dots (1)$$



**Gambar 2.10** Rangkaian Pembagi Tegangan

## 2.7 Sensor Arus

Sensor arus adalah perangkat yang mendeteksi arus listrik (AC atau DC) di kawat, dan menghasilkan tegangan yang sebanding dengan itu. Ada cukup banyak metode yang dapat digunakan untuk mengukur kuat arus listrik, beberapa diantaranya adalah metode shunt resistif, transformator arus, dan sensor magnetik.

Metode shunt resistif bekerja berdasarkan hukum Ohm yang menghasilkan suatu tegangan yang sebanding dengan arus yang melalui resistor shunt, yaitu resistor yang dihubungkan secara seri dengan beban yang hendak diukur arusnya. Cara ini menawarkan ketelitian yang bagus dan *offset* yang rendah, tetapi tanpa isolasi elektrik. Selain itu *drift* termalnya tinggi. Hal ini memungkinkan terjadinya transient spikes yang dapat merusak sensor dan berpotensi menyebabkan peralatan elektronik mengalami kelebihan beban.

Transformator arus terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang dililitkan pada suatu inti magnetik. Arus yang hendak dideteksi dialirkan ke kumparan primer. Arus ini menghasilkan suatu medan magnet yang mengimbas ke kumparan sekunder. Inti magnetik pada transformator berfungsi untuk membuat agar fluks magnetik yang dihasilkan kumparan primer sebanyak mungkin menembus kumparan sekunder. Perubahan fluks yang dihasilkan arus primer menyebabkan timbulnya tegangan listrik induksi pada kumparan sekunder. Arus yang dibangkitkan pada kumparan sekunder sebanding dengan arus primer, dan nisbah kedua arus ini ditentukan oleh nisbah jumlah lilitan masing-masing kumparan. Transformator arus memang menawarkan isolasi elektrik, tetapi alat ini hanya bekerja untuk aplikasi arus bolak-balik (AC). Selain itu, transformator umumnya berukuran relatif besar sehingga memerlukan tempat yang besar pula. Contoh dari trafo arus ditampilkan pada Gambar 2.11.

Sensor magnetik dapat digunakan untuk mengatasi keterbatasan pada kedua metode pengukuran sebelumnya. Sensor ini dapat digunakan untuk penginderaan arus tanpa kontak. Jadi dengan menggunakan sensor ini pengukuran dapat dilakukan tanpa harus merusak rangkaian elektrisnya. Metode ini memungkinkan untuk pengisolasian sistem elektrik serta memproteksi sensor dan rangkaian elektronik pendukungnya. Dengan menggunakan sensor magnetik, arus dapat diukur tanpa harus mengganggu aliran arus, karena yang diukur hanya kuat medan magnet yang dihasilkan oleh arus yang akan diukur. Contoh dari sensor ini adalah *hall effect*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Contoh Transformator Arus [19]



Tested on +5V Vcc

(C)www.onlineTPS.com

Gambar 2.12 Sensor Hall Effect [20]

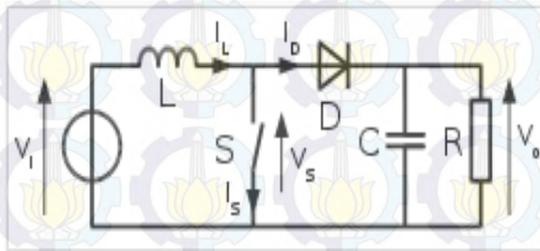
## 2.8 Konverter Penaik Tegangan DC (*Boost Converter*)

*Boost converter* adalah konverter daya DC – DC dimana tegangan keluaran yang dihasilkan lebih besar daripada tegangan masukan. Konverter ini setidaknya mengandung dua komponen semikonduktor (diode dan transistor) serta kombinasi kapasitor dan induktor. Berikut ini merupakan rangkaian *boost converter* yang ditunjukkan pada Gambar 2.13.

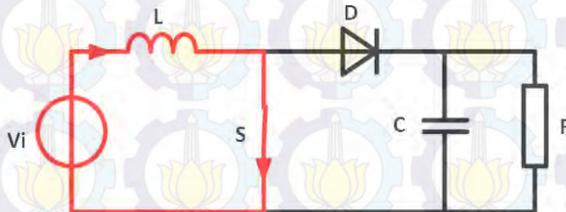
Rangkaian *boost converter* memanfaatkan mode pensaklaran yang dilakukan oleh MOSFET. Ketika MOSFET *on* (tertutup) dan dioda *off*, arah arus searah jarum jam dari sumber menuju induktor yang menyebabkan pengisian arus menuju induktor. Pada saat yang sama

kapasitor menyalurkan energi menuju beban. Keadaan MOSFET *on* ditunjukkan pada Gambar 2.14.

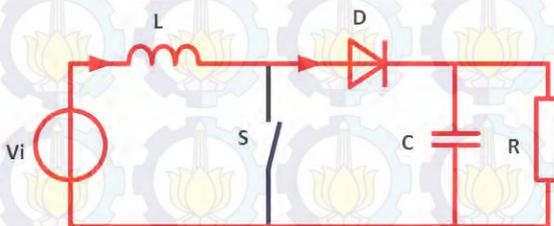
Ketika MOSFET *off* (terbuka) dan diode *on*, arus yang tersimpan pada induktor akan berkurang karena impedansi yang lebih tinggi. Berkurangnya arus pada induktor menyebabkan induktor membalik polaritasnya (negatif pada sisi kiri), sehingga arus yang mengalir pada diode dan pada beban mendapat tambahan arus dari induktor. Pada saat yang sama kapasitor menyimpan energi berupa tegangan. Hal ini yang menyebabkan tegangan keluaran rangkaian *boost converter* selalu lebih tinggi dibandingkan tegangan masukannya. Keadaan MOSFET *off* ditunjukkan pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.13** Rangkaian Boost Converter [12]



**Gambar 2.14** Arah Arus Boost Converter Saat MOSFET ON [4]



**Gambar 2.15** Arah Arus Boost Converter Saat MOSFET OFF [4]

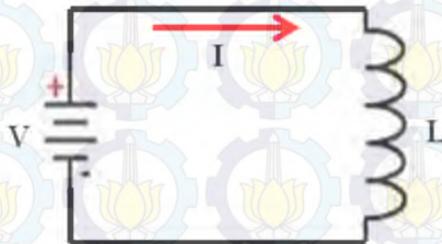
Kondisi tersebut tidak lepas dari karakteristik komponen pasif, yaitu induktor, kapasitor, dan resistor. Karakteristik komponen tersebut adalah sebagai berikut.

### 2.8.1 Induktor

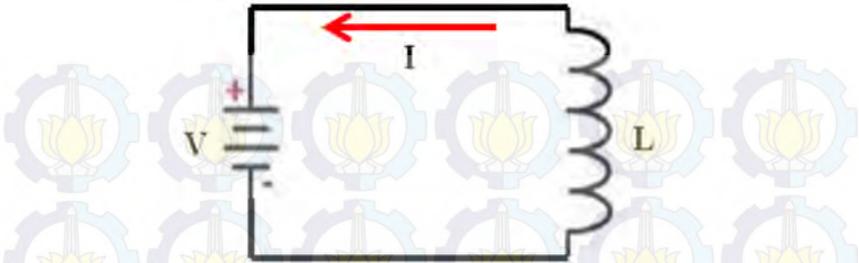
Sebuah induktor adalah komponen elektronika pasif yang dapat menyimpan energi pada medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik. Kemampuan induktor untuk menyimpan energi magnet ditentukan oleh induktansinya, dalam satuan *Henry*. Induktor terdiri dari lilitan kawat tembaga pada sebuah inti, dimana sebuah inti dapat berupa udara atau bahan feromagnetik.

Bila suatu induktor dialiri arus DC, akan timbul garis – garis gaya magnet. Kekuatan medan magnet sama dengan jumlah garis – garis gaya magnet, dan berbanding lurus dengan hasil kali dari jumlah gulungan dalam kumparan dan arus listrik yang melalui kumparan tersebut. Jika sebuah induktor dialiri arus AC, maka akan timbul induksi timbal balik (*mutual induction*) seperti yang terjadi pada transformator [18].

Bila arus telah memenuhi lilitan, maka arus akan bergerak berlawanan dengan arah yang berlawanan dengan proses pengisian, sehingga pembangkitan medan magnet dengan garis gaya magnet yang sama akan menjalankan fungsi dari lilitan tersebut. Semakin tinggi nilai induktansi yang dihasilkan, maka semakin lama proses pengosongan. [18] Ilustrasi pengisian dan pengosongan arus pada induktor dapat dilihat pada Gambar 2.16 dan gambar 2.17.



Gambar 2.16 Ilustrasi Pengisian Arus Pada Induktor



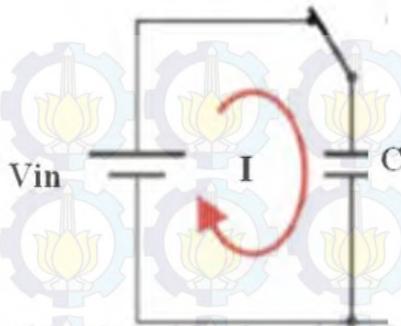
**Gambar 2.17** Ilustrasi Pengosongan Arus Pada Induktor

### 2.8.2 Kapasitor

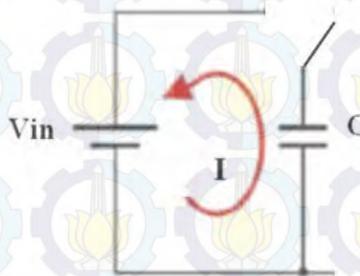
Struktur dari sebuah kapasitor adalah terbuat dari dua buah plat metal (elektroda) yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan dielektrik adalah bahan isolator yang diselipkan diantara keping isolator, umumnya dapat dibuat dari bahan kertas, udara vakum, keramik, mika *polyester*, tantalum, dan lain – lain.

Jika kedua elektroda diberi tegangan, maka muatan – muatan positif akan berkumpul pada salah satu kaki elektroda dan pada saat yang sama muatan – muatan negatif terkumpul pada elektroda yang lain. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung – ujung kakinya.

Salah satu fungsi dari kapasitor adalah untuk menyimpan muatan listrik. Cara kerja pengisian dan pengosongan muatan listrik dapat dilihat pada Gambar 2.18. Apabila saklar dihubungkan, akan mengalir arus dari sumber menuju kapasitor. Tegangan pada kapasitor akan naik secara eksponensial. Arus akan berhenti mengalir apabila tegangan pada kapasitor sama dengan tegangan sumber. Apabila saklar dilepas, arus akan mengalir berlawanan dengan arah arus pengisian kapasitor. Proses pengosongan kapasitor dapat dilihat pada Gambar 2.19.



**Gambar 2.18** Proses Pengisian Kapasitor



**Gambar 2.19** Proses Pengosongan Kapasitor

### 2.8.3 Resistor

Merupakan salah satu komponen pasif yang memiliki karakter sebagai penghambat. Resistor digunakan untuk membatasi nilai arus yang lewat pada rangkaian listrik. Prinsip kerja resistor adalah dengan mengatur arus listrik (elektron) yang mengalir melewatinya menggunakan jenis material konduktif tertentu yang dicampur dengan material lain sehingga menimbulkan hambatan pada aliran arus elektron.

Resistor dapat dirangkai secara seri, parallel ataupun gabungan sehingga dapat digunakan untuk membagi arus listrik, tegangan listrik, penurunan tegangan, filter, dan sebagainya. Pada saat resistor dilewatkan arus listrik maka terdapat sejumlah energi yang hilang dalam bentuk

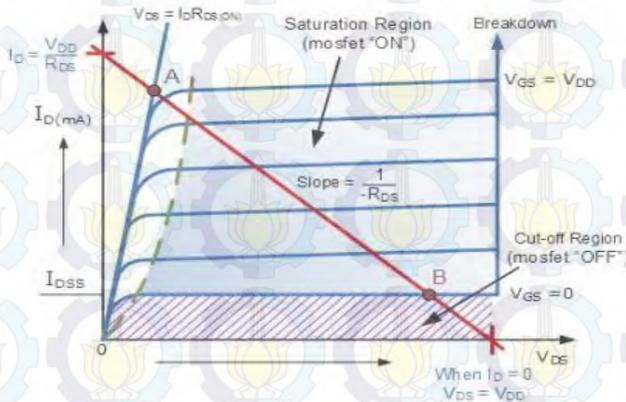
panas. Untuk dapat dilewatkan arus listrik, makapada kedua kaki resistor harus ada beda potensial listrik.

Selain menggunakan komponen pasif, boost converter juga memiliki komponen aktif yaitu MOSFET dan diode. Karakteristik komponen aktif tersebut adalah sebagai berikut.

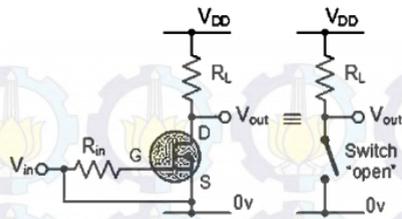
#### 2.8.4 MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) [5]

Merupakan salah satu jenis transistor yang memiliki impedansi masukan (*gate*) yang sangat tinggi (hampir tak hingga), sehingga dapat dipergunakan sebagai saklar elektronik yang dapat terhubung dengan semua jenis gerbang logika. Selain itu dapat digunakan untuk mengendalikan beban dengan arus yang tinggi. Untuk membuat MOSFET sebagai saklar, maka hanya menggunakan MOSFET pada kondisi saturasi (ON) dan kondisi *cut-off* (OFF).

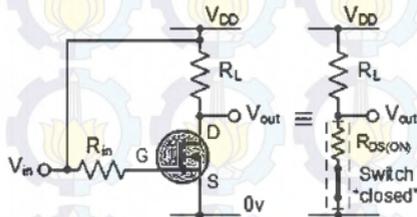
Gambar 2.20 adalah kurva karakteristik MOSFET, dimana pada saat kondisi *cut-off*, MOSFET tidak mendapat tegangan masukan ( $V_{in} = 0$  volt) sehingga tidak ada tidak ada arus *drain* ( $I_d$ ) yang mengalir. Pada kondisi ini  $V_{ds} = V_{dd}$  dan MOSFET dalam keadaan *off*. Kondisi *cut-off* dapat diperoleh dengan menghubungkan *gate* MOSFET ke *ground*, sehingga tidak ada tegangan input yang masuk ke rangkaian saklar MOSFET. Rangkaian *cut-off* MOSFET ditunjukkan pada Gambar 2.21 berikut:



Gambar 2.20 Kurva Karakteristik MOSFET [5]



**Gambar 2.21** Rangkaian MOSFET Saat Kondisi *Cut-Off* [5]



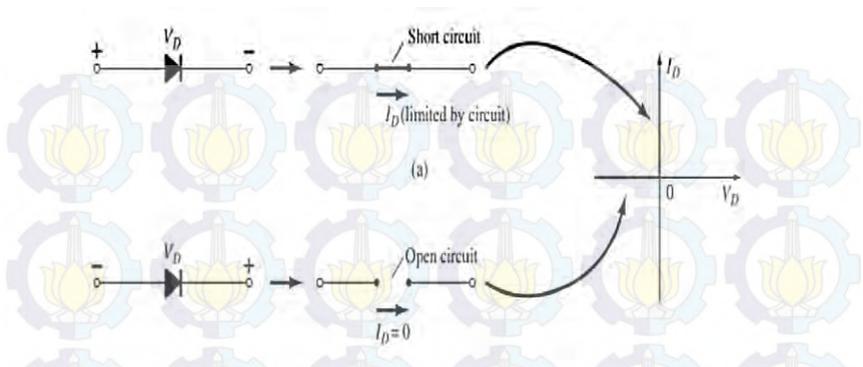
**Gambar 2.22** Rangkaian MOSFET Saat Kondisi Saturasi [5]

Pada daerah saturasi, MOSFET mendapat *bias input* ( $V_{gs}$ ) secara maksimum sehingga arus *drain* pada MOSFET akan maksimum dan membuat tegangan  $V_{ds} = 0$  volt. Pada kondisi saturasi ini, MOSFET dikatakan dalam kondisi *ON*. Kondisi saturasi dapat diperoleh dengan menghubungkan *gate* MOSFET ke  $V_{dd}$ . Rangkaian saturasi MOSFET ditunjukkan pada Gambar 2.22.

### 2.8.5 Diode

Diode Merupakan salah satu komponen aktif yang berfungsi sebagai komponen penyearah. Dioda disusun menggunakan semikonduktor jenis P atau kutub positif dan semikonduktor jenis N atau kutub negatif. Sedangkan jenis bahan pembuatannya, sebuah diode dapat dibuat dari bahan *silicon* dan *germanium*. Arus listrik yang mengalir dari sambungan P ke sambungan N akan dilewatkan jika tegangan listrik yang dilewatkan pada diode *silicon* minimal 0,7 Volt, sedangkan pada diode berbahan *germanium* minimal 0,3 Volt.

Jika arus listrik sama dengan arah diode, yaitu dari potensial tinggi ke potensial rendah dan nilai tegangan lebih besar daripada tegangan minimum diode, arus akan dilewatkan. Jika dipasang berkebalikan dengan arah arus listrik, diode berfungsi untuk menghambat arus listrik yang lewat. Cara kerja diode dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Ilustrasi Cara Kerja Diode

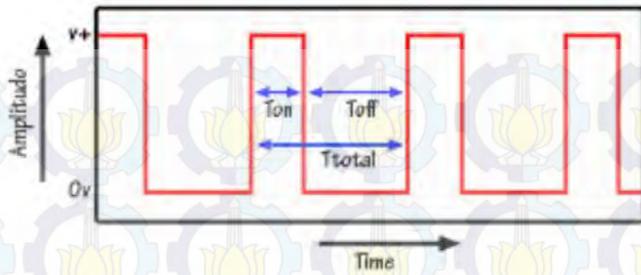
**2.9 PWM (Pulse Width Modulation)**

*Pulse Width Modulation* adalah sebuah teknik modulasi dengan cara merubah lebar pulsa. Teknik PWM umumnya digunakan pada *driver motor*, pemanas, LED sebagai pengatur instensitas maupun kecepatan. PWM juga digunakan pada rangkaian *DC to DC converter*, yakni untuk mengatur seberapa besar kenaikan maupun penurunan tegangan dengan memakai transistor jenis MOSFET. PWM juga dapat digunakan pada pengaturan digital, dimana dapat mengatur *duty cycle* dengan mudah. *Duty cycle* adalah waktu yang dibutuhkan pada saat gelombang pulsa ada pada kondisi *high* atau aktif (dinyatakan dengan logika “1”). Gambaran mengenai PWM ini dapat kita amati pada Gambar 2.24.

*Duty Cycle* dinyatakan dalam bentuk presentase, cara untuk menentukan besar *duty cycle* adalah seperti pada persamaan 1.

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{ON}+T_{OFF}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Dimana D adalah *duty cycle*,  $t_{pulse}$  adalah waktu dimana pulsa ada pada kondisi aktif, dan  $t_{cycle}$  adalah waktu untuk satu gelombang pulsa (satu puncak dan satu lembah).



**Gambar 2.24** Pulse Width Modulation [15]



**Gambar 2.25** Bentuk Fisik IC Optocoupler TLP 250 [16]

### 2.10 Optocoupler

Merupakan suatu komponen yang bekerja berdasarkan pemicu cahaya optik [4]. *Optocoupler* digunakan untuk memisahkan dua tegangan kerja yang berbeda, yaitu antara *controller* dengan rangkaian *boost converter*. Jika terdapat masalah dengan rangkaian *boost converter* dan menyebabkan arus balik ke *controller*, bagian *controller* akan tetap aman karena terpisah dengan *ground*. *Optocoupler* yang digunakan adalah IC TLP 250, dimana pada IC ini telah dilengkapi dengan rangkaian *driver MOSFET* yang disebut rangkaian *totem pole*. Rangkaian *totem pole* digunakan untuk mengurangi *power losses* pada mode *electric switching* pada rangkaian *boost converter*. Rangkaian *totem pole* dapat dengan cepat memberikan arus dan membuang arus pada saat pensaklaran frekuensi tinggi. Rangkaian *totem pole* menggunakan IC TLP 250 ditunjukkan sesuai dengan Gambar 2.25.

### 2.11 Rangkaian Pemutus Arus

*Relay* adalah saklar elektromagnetik yang dapat digunakan untuk menghubungkan ataupun memutus rangkaian dengan sumber tegangan.

*Relay* menggunakan prinsip induksi kumparan yang menyebabkan timbulnya medan magnet, maka medan magnet tersebut dapat menarik benda feromagnetik.

Arus yang dibutuhkan untuk membuat *relay* bekerja lebih besar, maka diperlukan paling tidak sebuah transistor untuk bisa mengaktifkan *relay*. Oleh karena itulah diperlukan sebuah rangkaian yang dinamakan rangkaian pemutus arus, atau lebih dikenal dengan sebutan *driver relay*.

*Relay* terdiri dari *coil* merupakan gulungan kawat pada *relay* yang mendapatkan arus listrik. *Contact* merupakan sejenis saklar yang gerakannya tergantung dari adanya arus listrik pada *Coil Contact* terdiri dari 2 jenis yaitu NC (*Normally Closed*) merupakan kondisi dimana saat *coil* tidak diberikan tegangan maka tidak ada gaya magnet yang menarik *armature* (lengan) pada *relay* sehingga saklar tetap terhubung ke terminal NC. NO (*Normally Open*) merupakan kondisi dimana *coil* diberikan tegangan maka akan ada medan magnet yang menarik *armature* dan saklar akan terhubung ke terminal NO. Gambar 2.26 merupakan contoh bentuk fisik *relay*[17].



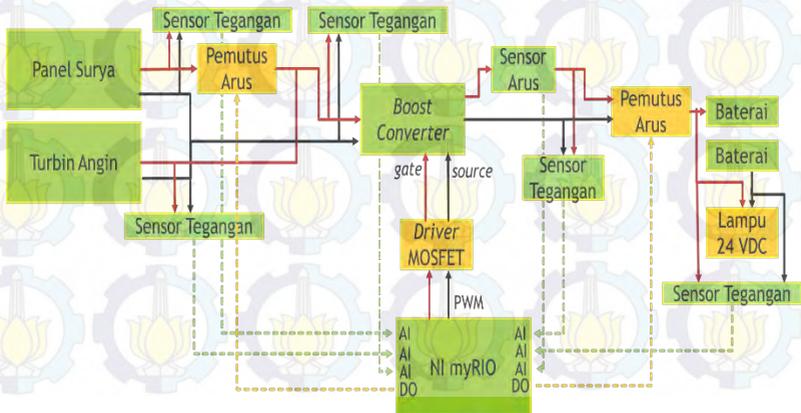
**Gambar 2.26** Contoh Bentuk Fisik *Relay*

## BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Pada bab ini berisi tahapan mengenai tahapan yang dilakukan dalam perencanaan dan pembuatan tugas akhir. Penjelasan diawali dengan blok fungsional sistem secara keseluruhan yang meliputi proses kerja alat dalam bentuk alur diagram. Perancangan mekanik yang membahas tentang desain dan pembuatan mekanik yang mendukung cara kerja alat. Perancangan elektrik yang membahas perancangan rangkaian elektrik sebagai rangkaian kontrol dan rangkaian pendukung alat. Serta perancangan perangkat lunak yang meliputi perancangan diagram alur program dan desain *front panel* menggunakan LabVIEW.

### 3.1 Diagram Blok Sistem

Sebelum melakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, diperlukan sebuah perancangan blok fungsional sistem berupa blok diagram yang menjelaskan sistem kerja secara keseluruhan tugas akhir ini. Secara keseluruhan blok fungsional sistem dapat dilihat pada Gambar 3.1. Untuk skematik rangkaian secara keseluruhan dapat dilihat pada bagian lampiran. Tugas akhir ini menggunakan sumber dari sinar matahari dan angin yang digabungkan secara paralel. Sinar matahari akan diubah menjadi tegangan DC dengan menggunakan modul panel surya, sedangkan tenaga angin diubah menjadi tegangan DC menggunakan turbin angin generator DC.



**Gambar 3.1** Diagram Blok Sistem

Tegangan yang dihasilkan adalah tegangan DC yang besarnya berubah – ubah berkisar 15-20 volt. Tegangan yang dihasilkan dari penggabungan secara paralel akan digunakan untuk pengisian ulang aki 24 volt. Suatu konverter DC dibutuhkan untuk merubah level tegangan keluaran yang dibutuhkan untuk pengisian aki. Jenis konverter yang digunakan adalah *boost converter*, dimana cara kerjanya adalah merubah tegangan masukan yang berasal dari penggabungan tegangan menjadi tegangan keluaran yang lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukan. Tegangan keluaran *boost converter* akan diproses oleh kontroler agar selalu menghasilkan tegangan keluaran yang bernilai tetap sebesar 28,8 volt. Sensor tegangan digunakan untuk membaca tegangan keluaran boost converter dimana keluaran sensor akan masuk ke pin ADC kontroler. Kemudian kontroler akan mengatur besar PWM (*Pulse Width Modulation*) ke kaki *gate* MOSFET pada rangkaian *boost converter*.

Selain terdapat pada keluaran *boost converter*, sensor tegangan diletakkan pada keluaran panel surya, turbin angin generator DC, dan keluaran aki. Hal itu bertujuan untuk memantau besar tegangan pada bagian tersebut untuk ditampilkan pada front panel LabVIEW. Pada sistem ini terdapat rangkaian pemutus arus yang berfungsi untuk memutus arus saat kapasitas aki telah terisi penuh agar terhindar dari kondisi overcharge yang dapat merusak aki. Rangkaian pemutus arus akan bekerja berdasarkan hasil pembacaan tegangan dan arus oleh sensor tegangan yang berada pada keluaran aki dan sensor arus yang berada pada keluaran *boost converter*.

Aki yang digunakan adalah dua buah aki VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) sebesar 12 volt 7,2 Ah untuk menghasilkan tegangan 24 volt. Aki akan tersambung dengan beban berupa LED 24 volt 5 watt.

### **3.2 Perancangan Mekanik**

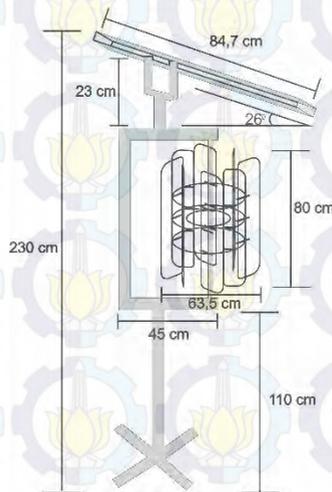
Pada sub bab ini akan dibahas mengenai perancangan mekanik untuk tugas ini. Perancangan mekanik berupa perancangan perangkat keras yang mendukung seluruh perancangan dan pembuatan alat. Perancangan mekanik yang akan dibahas meliputi perancangan tiang penyangga panel surya dan turbin angin generator DC, baling – baling turbin angin, roda gigi untuk kopel dengan generator, jenis generator yang digunakan dan *panel box* yang digunakan sebagai tempat rangkaian elektrik tugas akhir ini.

### 3.2.1 Perancangan Tiang Penyangga

Tiang penyangga digunakan untuk penyangga modul panel surya dan baling – baling turbin. Tinggi tiang penyangga berukuran 2 meter, dimana pada bagian atas tiang digunakan sebagai tempat penempatan modul panel surya. Sudut penyangga panel surya diatur kemiringannya sebesar  $26^{\circ}$  agar modul panel surya dapat menerima intensitas cahaya matahari lebih banyak. Sedangkan dibawah modul panel surya terdapat baling – baling turbin yang dikopel dengan sebuah motor DC dengan menggunakan roda gigi. Gambar 3.2 menunjukkan desain tiang penyangga yang terbuat dari bahan *stainless steel*.

### 3.2.2 Perancangan Roda Gigi

Roda gigi digunakan untuk memindahkan energi berupa gerakan dari sebuah bagian yang bergerak menuju bagian yang lain. Roda gigi memiliki banyak kegunaan pada peralatan yang bergerak, salah satunya untuk menambah atau mengurangi kecepatan putar [7]. Pada alat ini, roda gigi digunakan untuk menghubungkan turbin angin dengan generator DC. Roda gigi pada turbin memiliki diameter yang lebih besar daripada roda gigi generator DC, hal ini dimaksudkan untuk menaikkan kecepatan sehingga dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar. Roda gigi yang dipakai pada alat ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.2** Perancangan Tiang Penyangga

Perbandingan jumlah gigi dapat menentukan seberapa besar kecepatan akan meningkat. Pada Gambar 3.3, roda sebelah kanan adalah roda yang dipasang pada generator DC, dengan jumlah gigi sebanyak 76. Roda sebelah kiri adalah roda yang dipasang pada turbin angin, roda ini memiliki 48 buah gigi. Ini berarti 1 putaran penuh turbin angin akan setara dengan 1,58 putaran generator. Maka bila dimisalkan dalam satu menit turbin berputar sebanyak 100 kali, maka putaran yang dihasilkan oleh generator adalah sebanyak 158 kali.

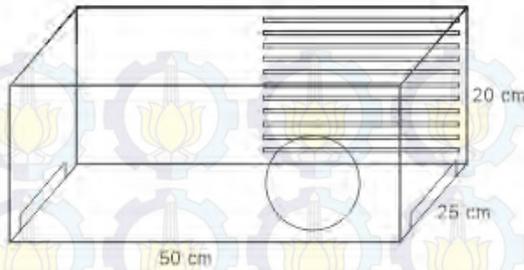
### 3.2.3 Perancangan *Panel Box* Rangkaian Elektrik

*Panel box* berisi rangkaian elektrik yang meliputi rangkaian *boost converter*, rangkaian *driver* MOSFET, rangkaian sensor tegangan, rangkaian sensor arus, rangkaian pemutus arus menggunakan relay, dan controller NI myRIO-1900. Rancangan *panel box* dilengkapi dengan saklar *on/off* serta blower yang berfungsi untuk mengurangi udara panas yang dihasilkan oleh disipasi daya dari rangkaian *boost converter*.

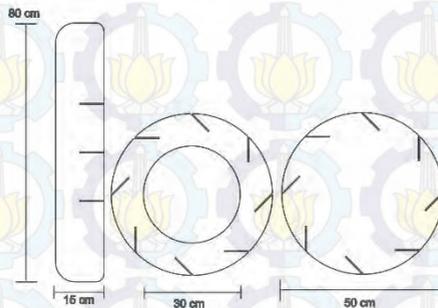
*Panel box* terbuat dari bahan *acrylic* dengan ketebalan 3 mm dipotong dan didesain berbentuk balok. *Panel box* ini memiliki dimensi panjang 50 cm, lebar 25 cm, dan tinggi 20 cm. Pada *panel box* akan dipasang kipas untuk membantu pendinginan rangkaian yang sensitif terhadap panas seperti MOSFET. Desain *panel box* rangkaian elektrik ditampilkan pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.3** Perancangan Roda Gigi Turbin dan Generator DC



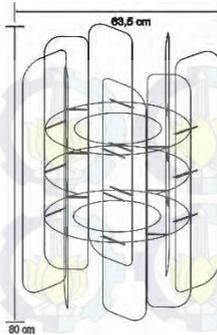
**Gambar 3.4** Panel Box Rangkaian Elektrik



**Gambar 3.5** Bagian Baling – Baling Turbin

### 3.2.4 Perancangan Baling-Baling Turbin

Tipe baling – baling yang digunakan adalah tipe VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*) atau turbin dengan baling – baling dengan sumbu vertikal. Salah satu kelebihan dari turbin angin sumbu vertikal adalah baling – baling dapat diputar dengan arah angin yang berasal dari semua sisi. Seluruh bagian dari baling – baling terbuat dari bahan *imprboard*. Bahan ini sangat ringan, sehingga lebih mudah berputar jika terkena angin dengan kecepatan rendah. Bagian baling – baling dibedakan menjadi dua, yaitu bagian *propeller* dan poros lingkaran penyangga *propeller*, yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.6** Desain Baling-baling Turbin

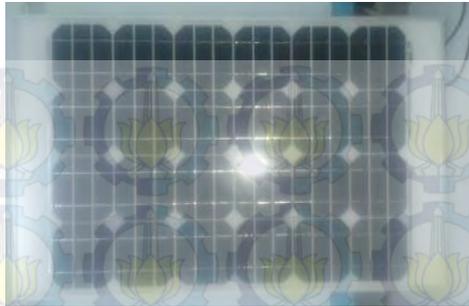
Pada perancangan baling – baling turbin untuk tugas akhir ini membutuhkan delapan *propeller* dan tiga lingkaran poros penyangga. Desain pemasangan propeller terhadap lingkaran penyangga dibuat miring dengan sudut kemiringan tertentu. Hal ini bertujuan untuk menjaga putaran baling – baling tetap searah jika terkena angin dari segala arah. Tinggi baling – baling dibuat sebesar 80 cm dengan diameter lingkaran luar sebesar 50 cm. Poros dibuat menggunakan bahan besi *stainless* dengan ukuran diameter 1,5 cm. Dimensi rancangan baling – baling dapat dilihat pada Gambar 3.6.

### 3.3 Perancangan Elektrik

Pada sub bab perancangan elektrik dibahas tentang rangkaian elektrik beserta komponen – komponen yang digunakan dalam Tugas Akhir ini. Pembahasan pada sub bab ini meliputi panel surya, baterai atau *accumulator*, *boost converter*, desain induktor, *driver* MOSFET, sensor tegangan, sensor arus, dan *wiring* komponen rangkaian dengan NI myRIO.

#### 3.3.1 Perencanaan Panel Surya

Pada tugas akhir ini, panel surya digunakan untuk merubah sinar matahari yang diterima oleh panel surya menjadi sumber tegangan DC. Tegangan yang dihasilkan panel surya selanjutnya akan digabung dengan tegangan dari turbin angin secara paralel, kemudian akan masuk sebagai tegangan masukan ke rangkaian *boost converter*. Panel surya juga digunakan sebagai sumber tegangan untuk rangkaian driver MOSFET dan kontroler NI myRIO 1900.



**Gambar 3.7** Panel Surya 50 Wp BELL SL50 CE-18M

**Tabel 3.1** Spesifikasi Panel Surya

Maximum Power (Pm)	50 W
Open Circuit Voltage (Voc)	21.6 V
Short Circuit Current (Isc)	3.04 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	17.6 V
Maximum Power Current (Imp)	2.84 A
Working Temperature	-45°C to +85°C
Tolerance	± 5%

Untuk tugas akhir ini, jenis panel surya yang digunakan adalah panel surya *monocrystalline*, yaitu jenis panel surya yang terbuat dari *single silicon* kristal murni. Panel surya yang digunakan adalah tipe BELL SL50 CE-18M sesuai dengan Gambar 3.7. dengan spesifikasi pada Tabel 3.1.

### 3.3.2 Perencanaan Generator DC

Generator merupakan suatu alat yang memiliki cara kerja yang berkebalikan dengan motor. Prinsip kerja generator adalah merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Pada tugas akhir ini generator digunakan untuk menghasilkan energi listrik DC dengan memanfaatkan putaran mekanik dari baling – baling turbin yang dihasilkan oleh angin. Posisi rotor dikopel dengan poros baling – baling turbin menggunakan



**Gambar 3.8** Generator ENGEL GNM 3150[9]

**Tabel 3.2** Spesifikasi ENGEL GNM 3150

Nominal Voltage (V)	24
Nominal Current (A)	3,1
Nominal Speed (Rpm)	4000
Peak Current (A)	17
Nominal Power (W)	57
Total Weight (Kg)	1,6

roda gigi. Sehingga pada saat baling – baling berputar, rotor generator akan ikut berputar dan menghasilkan energi listrik DC. Gambar 3.8 merupakan motor DC 24 volt yang digunakan sebagai generator. Tipe motor yang digunakan adalah ENGEL GNM 3150. Spesifikasi generator sesuai dengan Tabel 3.2.

### 3.3.3 Perencanaan Beban

Pada tugas akhir ini, digunakan beban berupa lampu 24VDC 5 Watt dengan lama penggunaan 5 jam dalam satu hari. Lampu sendiri akan menerima sumber tegangan dari baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) 24 volt. Untuk menentukan kapasitas baterai atau accumulator dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Energi} &= P \text{ beban} \times \text{lama penggunaan} \\
 &= 5 \text{ Watt} \times 5 \text{ jam} \\
 &= 25 \text{ Wh} \\
 25 \text{ Wh} + (25 \times 25\%) &= 31,25 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

25% merupakan asumsi kebutuhan daya untuk peralatan lain.

$$31.25 \text{ Wh} / 24 \text{ volt} = 1,302 \text{ Ampere}$$

Kapasitas Aki :

$$1,302 \text{ Ampere} \times 5 \text{ jam} = 6,5 \text{ Ah} \approx 7,2 \text{ Ah}$$

Baterai yang digunakan adalah tipe PANASONIC LC-V127R2NA1 sebesar 12 volt 7,2 Ah sesuai dengan Gambar 3.9. Karena beban lampu memerlukan tegangan 24 volt, maka dibutuhkan 2 buah baterai, yang kemudian dihubungkan secara seri sehingga tegangan bertambah.

### 3.3.4 Perancangan *Boost Converter*

Rangkaian *boost converter* digunakan untuk menaikkan tegangan sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan untuk pengisian aki. Dalam rangkaian *boost converter* ini terdapat beberapa komponen yaitu induktor, kapasitor, diode, resistor, dan MOSFET. Skema dari rangkaian *boost converter* ini ditunjukkan oleh Gambar 3.10.

Dalam perancangan rangkaian *boost converter* diperlukan perhitungan yang digunakan untuk memilih komponen – komponen yang akan digunakan. Perhitungan tersebut adalah sebagai berikut:

$$V_{in \text{ min}} = 15 \text{ volt}$$

$$V_{in \text{ maks}} = 20 \text{ volt}$$

$$\text{Frekuensi} = 30.000 \text{ Hz}$$

Keluaran arus *boost converter* yang digunakan untuk pengisian aki yang direkomendasikan adalah sebesar 10% sampai 30% kapasitas maksimum dari aki.[4].

$$I_{out \text{ boost converter}} = 10\% \times 7,2 \text{ Ah} = 0,72 \text{ A}$$

$$I_{out \text{ boost converter}} = 20\% \times 7,2 \text{ Ah} = 1,44 \text{ A}$$

$$I_{out \text{ boost converter}} = 30\% \times 7,2 \text{ Ah} = 2,16 \text{ A}$$

Nilai *I<sub>out</sub>* yang digunakan untuk rangkaian *boost converter* sebesar 20% dari kapasitas aki, yaitu 1,44 A.



**Gambar 3.9** PANASONIC LC-V127R2NA1[11]



2. Nilai Induktor didapatkan menggunakan metode perhitungan menggunakan persamaan 6. Namun sebelumnya diperlukan perhitungan hambatan menggunakan persamaan 4 dan perhitungan ripple arus menggunakan persamaan 5.

$$R = \frac{V_{out}}{I_{out}} \dots\dots\dots (4)$$

$$R = \frac{28,8}{1,44}$$

$$R = 20 \text{ Ohm}$$

$$\Delta iL = 10\% - 40\% iL \text{ (avg)}$$

$$\Delta iL = 10\% \times \left( \frac{V_{in}}{R(1-D)^2} \right) \dots\dots\dots (5)$$

$$\Delta iL = 0,1 \times \left( \frac{15}{20(1 - 0,52083)^2} \right)$$

$$\Delta iL = 0,32665 \text{ A}$$

$$L = \frac{1}{f} (V_{out} + V_f - V_{in}) \left( \frac{V_{in}}{V_{out} + V_f} \right) \frac{1}{\Delta iL} \dots\dots\dots (6)$$

$$L = \frac{1}{30000} (28,8 + 0,7 - 15) \left( \frac{15}{28,8 + 0,7} \right) \frac{1}{0,32665}$$

$$L = \frac{(14,5)(1,55663)}{30000}$$

$$L = 888,898 \mu H$$

$$L \approx 933 \mu H$$

3. Arus Induktor Maksimum didapatkan menggunakan metode perhitungan menggunakan persamaan 7.

$$I_{max} = I_s + \frac{\Delta iL}{2} \dots\dots\dots (7)$$

$$I_{max} = \left( \frac{V_{in \text{ min}}}{R(1-D)^2} \right) + \frac{\Delta iL}{2}$$

$$I_{max} = \left( \frac{15}{20(0,2296)^2} \right) + \frac{0,32665}{2}$$

$$I_{max} = 3,429825 \text{ A}$$

4. Besar kapasitas dari kapasitor didapatkan menggunakan perhitungan pada persamaan 12 Sebelumnya diperlukan perhitungan  $I_{dpeak}$  menggunakan persamaan 9, perhitungan  $I_{drms}$  menggunakan persamaan 10, dan  $I_{c rms}$  menggunakan persamaan 11.

$$\Delta V_{out} = r \times V_{out} \dots \dots \dots (7)$$

$$\Delta V_{out} = 0,1\% \times 28,8$$

$$\Delta V_{out} = 0,0288$$

$$I_{d peak} = \frac{I_{out}}{D} \dots \dots \dots (8)$$

$$= \frac{1,44}{0,52083} = 2,764 A$$

$$I_{d rms} = I_{d peak} \times \sqrt{D} \dots \dots \dots (9)$$

$$= 2,764 \times \sqrt{0,52083} = 1,994 A$$

$$I_{c rms} = \sqrt{I_{d rms}^2 - I_{out}^2} \dots \dots \dots (10)$$

$$= \sqrt{1,994^2 - 1,44^2} = 1,379 A$$

$$C = \frac{I_{c rms} \times D \times T}{\Delta V_{out}} \dots \dots \dots (11)$$

$$= \frac{1,379 \times 0,52083}{0,0288 \times 30.000} = 831 \mu F \approx 2200 \mu F$$

Perancangan rangkaian *boost converter* dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



**Gambar 3.11** Bentuk Rangkaian *Boost Converter*

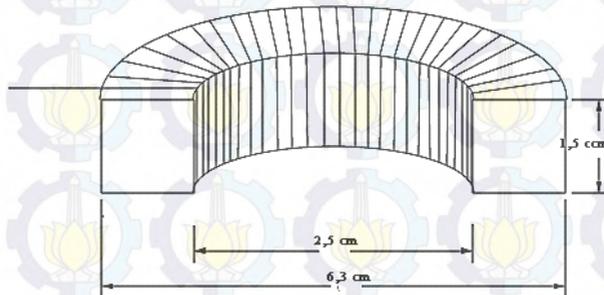
### 3.3.5 Perancangan Induktor

Pada perancangan *boost converter*, induktor berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang nantinya akan disalurkan ke beban. Tegangan pada beban adalah hasil dari tegangan masukan ditambah dengan energi yang tersimpan pada induktor, sehingga tegangan keluaran *boost converter* menjadi lebih besar dari pada tegangan masukannya.

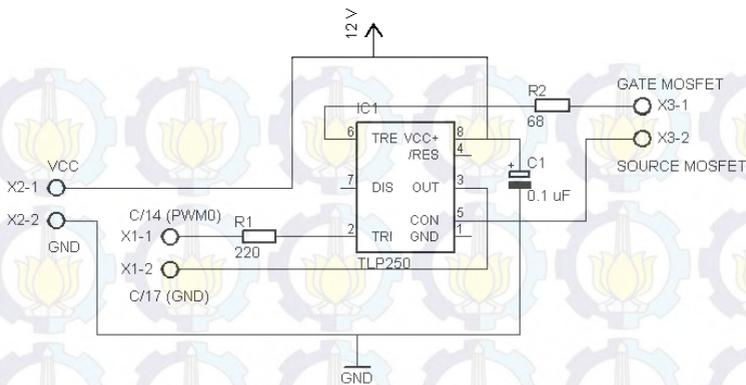
Induktor dibuat dengan cara melilitkan kawat pada inti toroid. Untuk tugas akhir ini diameter kawat yang digunakan sebesar 1,7 mm. Sedangkan toroid yang digunakan adalah toroid berbentuk bundar, dengan diameter dalam sebesar 2,2 cm dan diameter luar sebesar 6,4 cm. Kawat dililitkan pada toroid secara manual dan diukur dengan RCL meter sampai mencapai nilai yang sesuai dengan perhitungan yang didapatkan pada *boost converter*. Desain induktor dapat dilihat pada Gambar 3.12.

### 3.3.6 Perancangan Driver MOSFET

*Driver* MOSFET digunakan untuk mengurangi atau meminimalkan *power losses* pada *switching* elektronik pada saat mendesain suatu rangkaian elektronika daya. *Power losses* terjadi karena terdapat perubahan kondisi *high* dan *low* secara cepat. *Driver* MOSFET harus dapat dengan cepat memberikan arus dan membuang arus pada saat berada pada *switching* frekuensi tinggi [4]. Rangkaian *driver* MOSFET ini disebut rangkaian *totempole*, dimana pada rangkaian ini terdapat komponen *IC optocoupler*, resistor, dan kapasitor *elco*. Optocoupler merupakan salah satu jenis komponen yang memanfaatkan cahaya sebagai pemicu on-off. Skematik dari perancangan rangkaian driver MOSFET dapat dilihat pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.12** Desain Lilitan Induktor



**Gambar 3.13** Skematik Rangkaian TLP 250[5]



**Gambar 3.14** Bentuk Rangkaian *Driver* MOSFET

MOSFET yang digunakan pada proyek akhir ini menggunakan komponen MOSFET IRFP460 sebagai *switching* yang memiliki banyak kelebihan dan kehandalan dari segi karakteristik serta parameter yang dimilikinya. *Tegangan drain-source* yang dimiliki MOSFET ini bisa dikategorikan cukup besar dan kemampuan arus *drain* yang cukup tinggi, maka dari itu diperlukan sebuah pemisah utama untuk mengamankan mikrokontroler dari tegangan lebih maupun arus lebih yang bisa masuk ke dalam kontroler NI myRIO 1900 [4]. Rangkaian *driver* MOSFET dapat diamati pada Gambar 3.14.

Driver MOSFET juga memiliki fungsi sebagai pembatas antara kontroler NI myRIO 1900 dengan kaki *gate* MOSFET pada rangkaian *boost converter* agar tidak berhubungan langsung. *IC optocoupler* yang digunakan adalah tipe TLP 250, dimana dalam *IC* ini telah dilengkapi dengan rangkaian *totem pole*. Spesifikasi TLP 250 adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

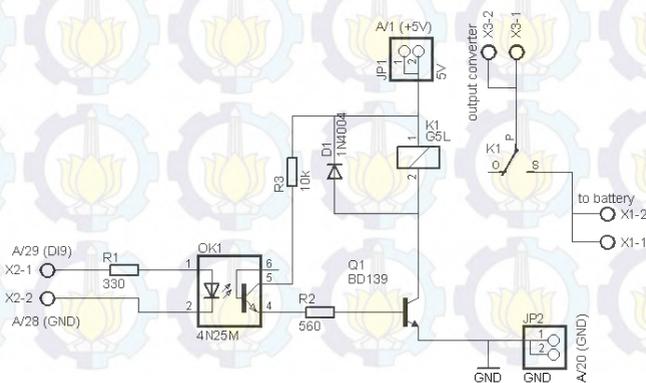
### 3.3.7 Perancangan Rangkaian Pemutus Arus

Rangkaian pemutus arus digunakan untuk memutus proses pengisian ulang baterai secara otomatis agar baterai terhindar dari kondisi *overcharge*. Rangkaian pemutus arus ini menggunakan *relay* yang kerjanya diatur oleh kontroler NI myRIO 1900. Untuk skematik rangkaian pemutus arus dapat dilihat pada Gambar 3.15.

Terdapat tiga komponen yakni resistor, dioda, serta transistor. Resistor digunakan sebagai penghambat arus agar *relay* dapat bekerja dengan aman. Dioda berperan untuk menghubungkan-singkatkan tegangan balik emf, ketika *relay* dalam keadaan *OFF* agar tidak menimbulkan efek transien. Sementara transistor berfungsi untuk mengatur arus yang masuk ke kaki *relay*. Sedangkan spesifikasi *relay* yang digunakan adalah *relay* SPDT dengan tegangan *coil* 5 volt dan kemampuan arus sebesar 10 ampere. Kemudian terdapat IC *optocoupler* LTV 4N25 yang digunakan sebagai pemisah antara kontroler NI myRIO 1900 dan rangkaian *driver relay*. Bentuk dari rangkaian pemutus arus ini ditunjukkan pada Gambar 3.16.

Tabel 3.3 Spesifikasi TLP250

<i>Input threshold current</i>	<i>5mA(max.)</i>
<i>Supply current (ICC)</i>	<i>11mA(max.)</i>
<i>Supply voltage (VCC)</i>	<i>10–35V</i>
<i>Output current (IO)</i>	<i>±1.5A (max.)</i>
<i>Switching time (tpLH/tpHL)</i>	<i>1.5µs(max.)</i>
<i>Isolation voltage</i>	<i>2500Vrms(min.)</i>



Gambar 3.15 Skematik Rangkaian Pemutus Arus



**Gambar 3.16** Bentuk *Real* Rangkaian Pemutus Arus

### 3.3.8 Perancangan Sensor Tegangan

Pada tugas akhir ini, sensor tegangan digunakan untuk pemantauan besar tegangan keluaran panel surya, tegangan keluaran turbin angin, tegangan masukan *boost converter*, tegangan keluaran *boost converter*, dan tegangan pada baterai. Rangkaian sensor tegangan menggunakan rangkaian *voltage divider* yang ditunjukkan pada Gambar 3.17.

Sensor tegangan digunakan sebagai konversi tegangan masukan agar sesuai dengan tegangan masukan pin *analog input* NI myRIO, yaitu sebesar 0 sampai 5 volt. Tegangan masukan sensor berasal dari tegangan yang dihasilkan oleh panel surya yang berkisar 18 volt. R1 bernilai tetap, yaitu sebesar 4k7 ohm. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan 12.

$$5 = \frac{R2}{4700 + R2} \times 18$$

$$23500 + 5R2 = 18R2$$

$$23500 = 13R2$$

$$R2 = 1807,69 \text{ ohm}$$

Untuk R2 menggunakan multiturn 10K ohm untuk mendapatkan nilai tegangan yang telah ditentukan, sehingga lebih presisi. Perhitungan daya dari tahanan adalah sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{10K}{4700 + 10K} \times 18$$

$$V_{out} = 12,24 \text{ volt}$$

Arus yang mengalir yaitu:

$$I_{in} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \dots \dots \dots (12)$$

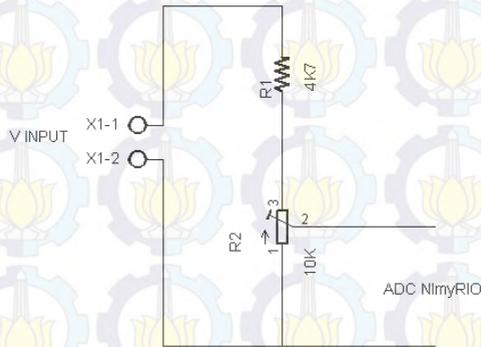
$$I_{in} = \frac{18}{14700} = 0,0012 \text{ A}$$

Daya yang digunakan pada tahanan adalah:

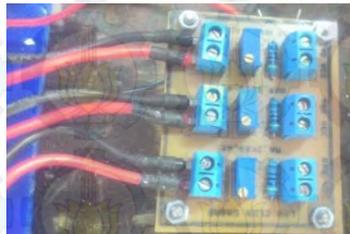
$$P = V_{in} \times I_{in} \dots \dots \dots (13)$$

$$= 12,24 \times 0,0012 = 0,0146 \text{ Watt}$$

Untuk tugas akhir ini daya tahanan yang digunakan sebesar 0,5 Watt. Analisa di atas juga berlaku pada sensor tegangan yang lain dan didapatkan spesifikasi komponen yang sama untuk semua sensor tegangan. NI myRIO akan memproses keluaran dari sensor tegangan yang masuk ke pin *analog input* yang kemudian akan diolah agar dapat menampilkan nilai tegangan sebenarnya.



**Gambar 3.17** Rangkaian Sensor Tegangan

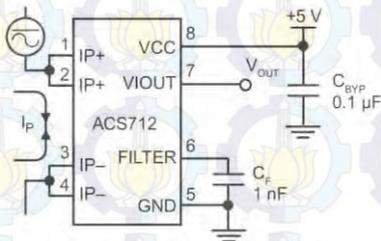


**Gambar 3.18** Bentuk Sensor Tegangan

### 3.3.9 Perancangan Sensor Arus

Pada proyek akhir ini menggunakan sensor arus ACS712-5A. Dimana ACS712-5A dapat mengukur arus AC maupun DC dan mempunyai *rating* 5A, dengan respon tegangan. Sensitivitas dari sensor arus ACS adalah 0,1 V untuk setiap kenaikan arus 1 A. Dalam keadaan tanpa ada arus yang mengalir, sensor arus ACS mengeluarkan tegangan 2.5 V. Sensor arus ini berfungsi untuk mendeteksi arus pengisian baterai, dimana saat kondisi arus pengisian telah mencapai  $\pm 1$  A, maka proses pengisian pada baterai akan berhenti secara otomatis. Gambar 3.19 menunjukkan skematik rangkaian sensor arus.

Pada proyek akhir ini menggunakan sensor arus ACS712-20 A. Dimana ACS712-5A dapat mengukur arus AC maupun DC dan mempunyai *rating* 5A, dengan respon keluaran berupa tegangan. Sensitivitas dari sensor arus ACS adalah 100 mV. Dalam keadaan tanpa ada arus yang mengalir, sensor arus ACS mengeluarkan tegangan 2.5 V. Sensor arus ditunjukkan pada Gambar 3.20.



Gambar 3.19 Rangkaian Sensor Arus ACS 712[4]



Gambar 3.20 Bentuk *Real* Rangkaian Sensor Arus Untuk Tugas Akhir

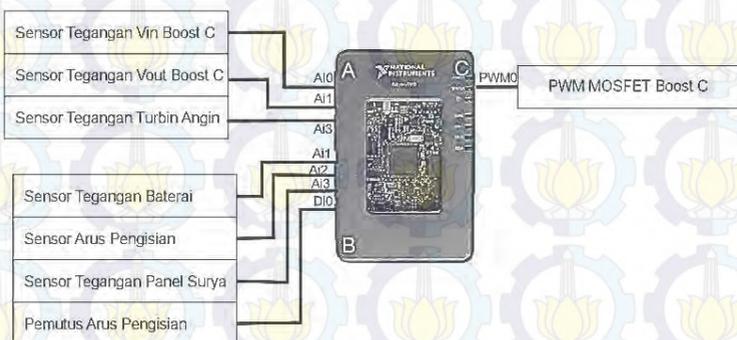
### 3.3.10 Perancangan *Wiring* NI myRIO

Dalam tugas akhir ini NI myRIO difungsikan sebagai pembangkit PWM, membaca sensor dan mengaktifkan *relay*. Untuk itu NI myRIO perlu dihubungkan dengan rangkaian elektrik yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Skema *wiring* NI myRIO dengan rangkaian elektrik yang ditunjukkan pada Gambar 3.21.

Pada NI myRIO terdapat 3 *port* yang masing-masing terdiri dari *digital input/output*, *analog input*, *analog output*, dan PWM. *Port C* akan terhubung dengan kaki MOSFET pada rangkaian *boost converter*. Kemudian Pada *port A*, *channel analog input 0* dihubungkan dengan sensor tegangan pada masukan *boost converter*, *channel analog input 1* dihubungkan dengan sensor tegangan keluaran *boost converter*, *channel analog input 3* dihubungkan dengan sensor tegangan keluaran turbin angin. Pada *port B*, sensor tegangan aki, sensor arus pengisian, sensor tegangan keluaran panel surya berturut-turut dihubungkan dengan *channel analog input 1*, 2, dan 3. Untuk rangkaian pemutus arus dihubungkan dengan *channel digital output 0* yang ada pada *port B*. Gambar 3.19 menunjukkan *wiring* rangkaian elektrik dengan NI myRIO.

### 3.4 Perancangan Perangkat Lunak

Pada bagian ini dilakukan perancangan program pada NI myRIO menggunakan *software* LabVIEW. Program terdiri dari pembangkitan PWM yang akan menaikkan tegangan *boost converter*, pembacaan sensor tegangan dan arus, pengaktifan *relay*, dan *logging* data sensor.

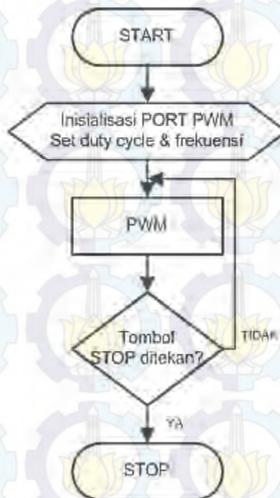


**Gambar 3.21** *Wiring* Input dan Output NI myRIO

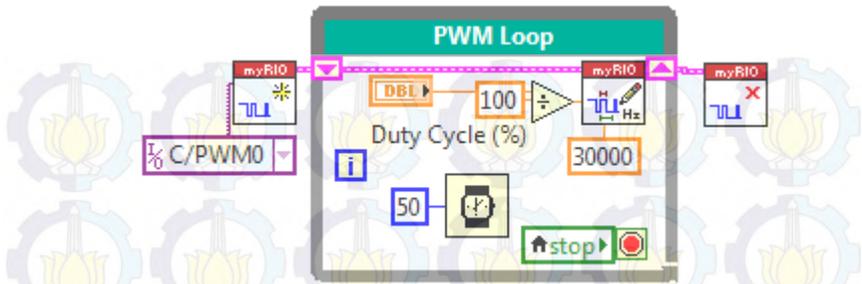
### 3.4.1 Program Pembangkitan PWM

Pembangkitan PWM oleh NI myRIO digunakan sebagai pensaklaran pada MOSFET dalam *boost converter*. Terdapat dua buah parameter yang harus ditentukan yaitu besarnya frekuensi dan *duty cycle*, yang pada rangkaian *boost converter* berfungsi untuk menaikkan tegangan. Semakin tinggi nilai *duty cycle*, maka akan semakin tinggi tegangan yang dihasilkan oleh *boost converter*. Untuk memahami cara kerja program PWM, *flowchart* ditunjukkan pada Gambar 3.22.

Program diawali dengan menentukan *port* mana yang akan dipakai sebagai keluaran PWM, kemudian dilanjutkan dengan memberi masukan nilai *duty cycle* dan frekuensi. Rentang nilai *duty cycle* adalah 0% - 100% dan untuk rentang frekuensi adalah 0 – 2MHz. Maka kemudian NI myRIO akan menghasilkan PWM secara terus menerus sampai program dihentikan. Berikut ini Gambar 3.23 yang menunjukkan program PWM menggunakan LabVIEW.



Gambar 3.22 Flowchart Program PWM



Gambar 3.23 Program PWM

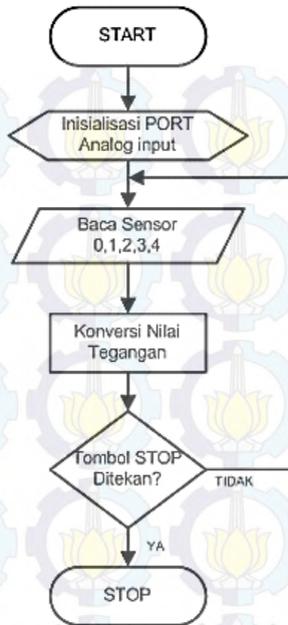
### 3.4.2 Program Pembacaan Sensor

Pada program ini, sensor tegangan maupun sensor arus yang dipasang pada bagian tertentu dari sistem akan dibaca, kemudian dilinierisasi agar mendapatkan hasil yang baik. Setiap sensor tegangan memiliki rentang yang berbeda, berdasarkan nilai maksimum tegangan pada bagian tersebut. Persamaan linierisasi untuk setiap sensor adalah:

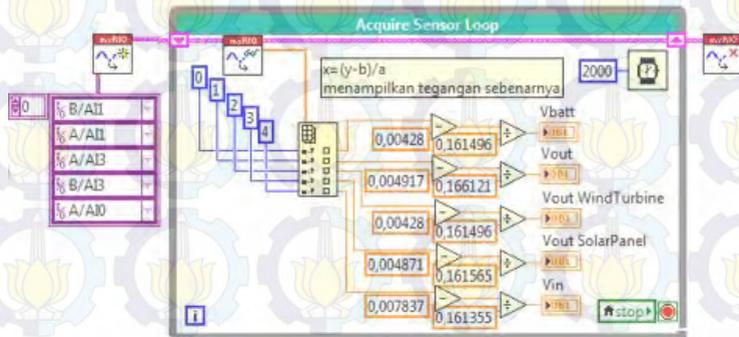
$$y = ax + b \dots\dots\dots(14)$$

Dimana y adalah hasil pembacaan sensor yang berupa tegangan 0-5 volt, a merupakan *slope* dan b merupakan *intercept*. Sementara x merupakan tegangan masukan yang diberikan pada sensor. Hasil dari pembacaan sensor berkisar antara 0 sampai dengan 5 volt, setelah itu akan diolah kembali menurut persamaan linierisasi sehingga mendapatkan hasil tegangan sesungguhnya. *Flowchart* dari program pembacaan sensor tegangan dan arus ditunjukkan pada Gambar 3.24.

Pada awal program diperlukan inialisasi yaitu memilih *port* mana yang akan dihubungkan dengan sensor untuk dibaca nilainya, kemudian masuk ke pembacaan sensor dan linierisasi. Pembacaan akan berjalan terus menerus hingga program dihentikan. Oleh karena adanya pembacaan sensor, maka kontrol pada beberapa hal dapat dilakukan secara otomatis dengan menggunakan umpan balik sensor, misalkan untuk melakukan pengisian baterai akan berjalan secara otomatis apabila tegangan yang terukur pada baterai menunjukkan nilai tertentu. Gambar 3.25 merupakan program pembacaan sensor tegangan dengan LabVIEW.



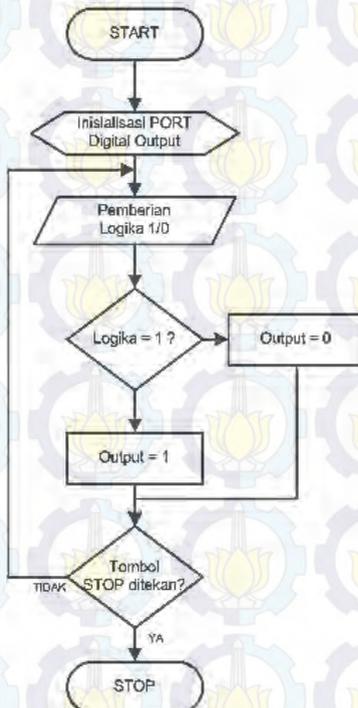
Gambar 3.24 Flowchart Program Pembacaan Sensor



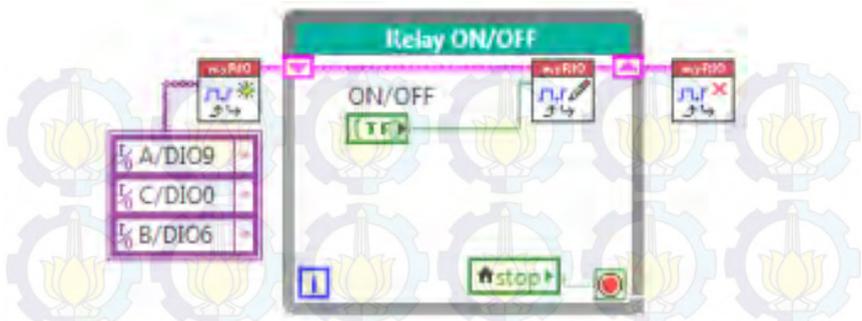
Gambar 3.25 Program Pembacaan Sensor

### 3.4.3 Program Pengaktifan *Relay*

Pada program ini, NI myRIO akan memberikan keluaran data berupa digital (logika 0 atau 1) yang kemudian akan mengaktifkan ataupun menon-aktifkan *relay* yang menghubungkan kedua sumber, dan rangkaian *boost converter* dengan baterai pada saat pengisian. Logika 0 setara dengan tegangan 0 volt, sementara logika 1 setara dengan tegangan sebesar 5 volt. Pada tugas akhir yang kami buat, pengaktifan *relay* ini akan berjalan otomatis, yakni apabila tegangan pada baterai sudah mencapai kapasitas 60% maka *relay* akan aktif, dan apabila pada saat melakukan pengisian arus yang terukur semakin berkurang dan mencapai batas minimum, maka *relay* akan non-aktif. *Flowchart* dari program pengaktifan *relay* ini dapat diamati pada Gambar 3.26.



Gambar 3.26 *Flowchart* Program Pengaktifan *Relay*



**Gambar 3.27** Program Pengaktifan *Relay*

Alur kerja dari program tersebut adalah sebagai berikut: Ketika program diawali, hal pertama yang dilakukan adalah menentukan *port* mana yang akan dipakai sebagai keluaran digital. Setelah itu program akan menunggu masukan dari pengguna, secara *default* nilai yang diberikan adalah *false* atau logika 0. Biasanya logika dapat diberikan dengan menekan tombol yang ada pada *front panel*, maka logika akan berubah dari 0 menjadi 1, maka secara otomatis *relay* akan mendapat logika 1 dan menjadi aktif. Kondisi ini akan terus berlangsung sampai logika berubah ataupun program dihentikan. Program pengaktifan *relay* menggunakan LabVIEW dapat diamati pada Gambar 3.27.

#### 3.4.4 Perancangan *Interface* Program Utama

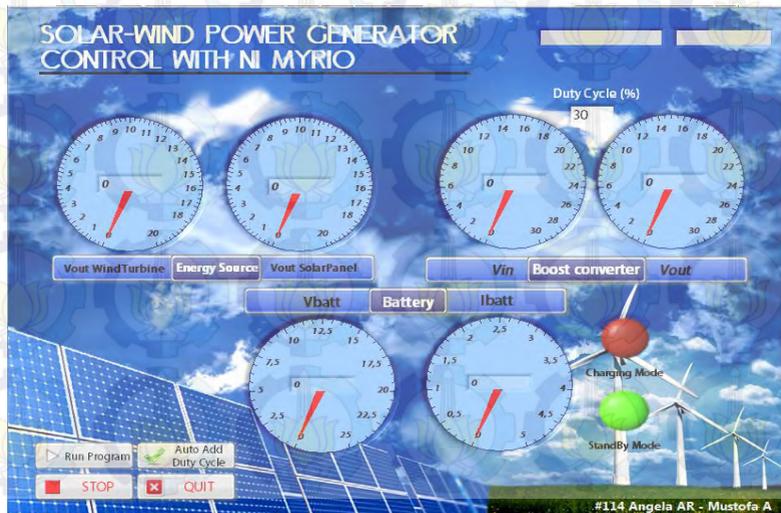
Setelah program dibuat, dilakukan perancangan *interface* program utama, agar memudahkan pengguna untuk memantau kerja dari alat ini. LabVIEW dapat digunakan untuk melakukan pemrograman sekaligus membuat *interfacing* agar mudah dimengerti oleh pengguna. Pada *interface* yang kami buat, data-data yang dapat dipantau oleh pengguna meliputi tegangan keluaran dari panel surya, tegangan keluaran dari turbin angin, tegangan masukan pada *boost converter*, nilai *duty cycle*, tegangan keluaran dari *boost converter*, tegangan terukur pada baterai, arus pengisian baterai, dan indikator pengisian baterai.

Pada tampilan *interface* terdapat empat buah tombol yakni *Run Program*, *Auto Add Duty Cycle*, *STOP*, dan *QUIT*. Tombol *Run Program* berguna untuk memulai program utama, sementara tombol *Auto Add Duty Cycle* digunakan untuk melakukan penambahan *duty cycle* saat pengisian baterai secara otomatis.

Kemudian tombol *STOP* berfungsi untuk menghentikan program, dan tombol *QUIT* berfungsi untuk keluar dari program. Tampilan *interface* dari program utama adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.28.

### 3.4.5 Perancangan Program Utama

Program ini memuat keseluruhan program yang telah dibuat pada bagian sebelumnya. Program pembangkitan PWM, pembacaan sensor, pengaktifan relay serta *logging* data berjalan secara paralel terhadap program utama. Program utama mengatur urutan kerja dari sistem. Untuk memahami alur kerja dari program utama dapat diamati pada Gambar 3.29. Program dimulai dengan memberi nilai 30 pada *duty cycle*, yang berarti PWM akan dibangkitkan dengan *duty cycle* sebesar 30% secara terus menerus. Sementara itu pada program utama dilanjutkan dengan membaca sensor tegangan dan sensor arus yang ada pada alat. Kemudian masuk pada tahap pengondisian, apakah tegangan yang terukur pada baterai telah mencapai 24,48 volt atau 60% dari kapasitas baterai, bila ya maka program akan memberi logika 1 pada keluaran digital yang terhubung pada *relay* sehingga *relay* aktif dan pengisian baterai mulai dilakukan. Bila tidak maka program akan memberi logika 0 sehingga *relay* tidak aktif.

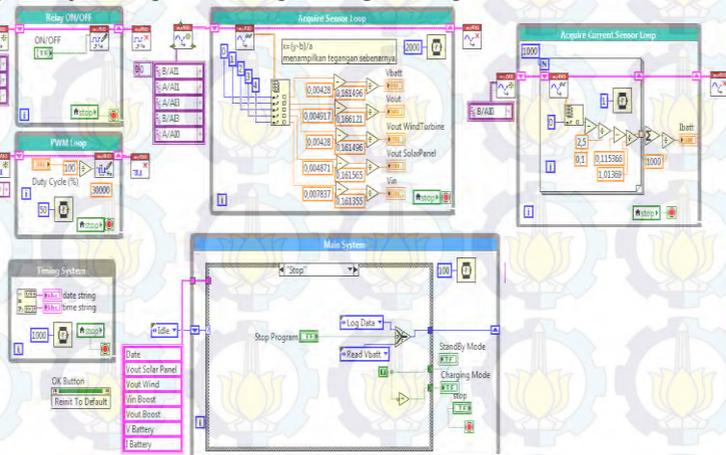


Gambar 3.28 Tampilan *Interface* Program Utama Menggunakan LabVIEW

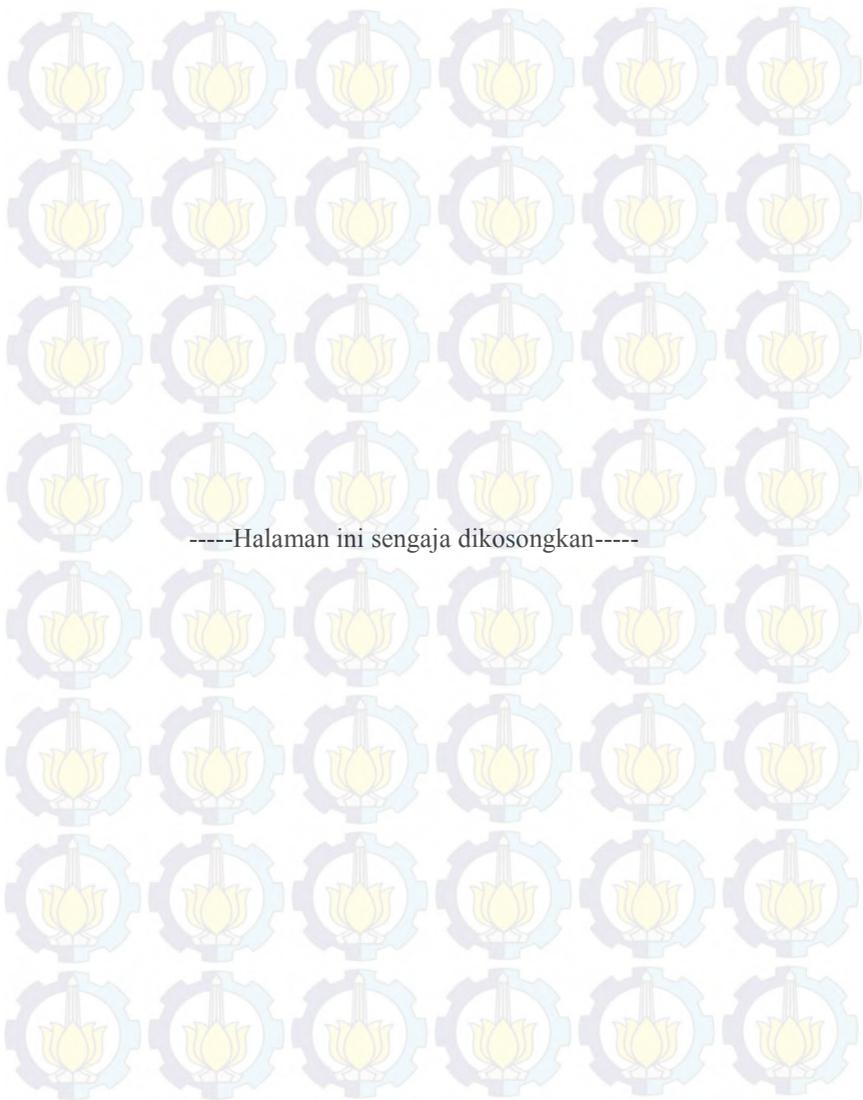


Gambar 3.29 Flowchart Program Utama

Kemudian dilakukan pengondisian pada tegangan keluaran *boost converter*, apabila nilainya kurang dari 28,8 volt (tegangan pengisian pada baterai 24 volt) maka akan dilakukan penambahan *duty cycle* sebesar 0,1% sampai tegangan telah sesuai dengan tegangan pengisian baterai. Setelah itu masuk pada pengondisian ketiga, yaitu apakah arus yang terukur pada saat pengisian baterai semakin berkurang dan sama dengan 0,14 ampere, apabila arus masih lebih besar maka *relay* akan diberi logika 1 dan tetap aktif, namun bila arus telah kurang dari nilai tersebut, maka dapat dikatakan bahwa pengisian telah selesai dilakukan, sehingga program akan memberikan logika 0 yang akan menon-aktifkan *relay*. Pada saat program dihentikan, maka data-data pembacaan sensor akan dikumpulkan dan disimpan menjadi sebuah file yang dapat diakses. Gambar 3.30 menunjukkan program utama dari sistem. Untuk gambar yang lebih jelas dapat diamati pada bagian lampiran.



Gambar 3.30 Program Utama Sistem



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **BAB IV**

### **PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT**

Pada bab ini akan dibahas mengenai pengujian dan analisa hasil perancangan yang telah dibuat. Pengujian alat ini ditujukan untuk memastikan agar peralatan yang dibuat dapat berfungsi dengan baik. Pengujian terdiri dari pengujian panel surya, pengujian turbin angin, pengujian penggabungan tegangan dua sumber, pengujian pembangkitan PWM, pengujian sensor tegangan, pengujian *boost converter* baik secara *open loop* maupun *close loop*, dan terakhir pengujian keseluruhan sistem. Setelah menyajikan hasil pengujian, dilakukan analisa terhadap kinerja dari masing-masing bagian.

#### **4.1 Pengujian Panel Surya**

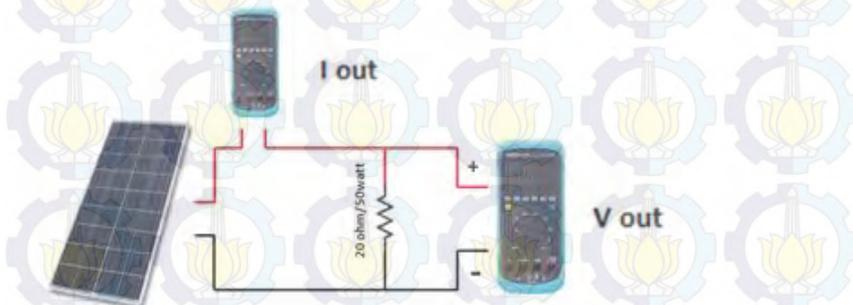
Panel surya digunakan sebagai sumber tegangan yang memanfaatkan sinar matahari yang mengenai *solar cell*. Besar tegangan yang dihasilkan bergantung pada intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan *solar cell*. Tujuan pengambilan data ini adalah untuk mengetahui pengaruh intensitas cahaya matahari yang mengenai permukaan *solar cell* terhadap tegangan yang dihasilkan. Selain itu pengujian panel surya bertujuan untuk mengetahui besar arus dan daya yang dihasilkan panel surya.



**Gambar 4.1** Pengujian Panel Surya di Lantai 3 Gedung D3 Teknik Elektro

Gambar 4.1 menunjukkan kondisi pengujian panel surya yang bertempat di lantai 3 gedung D3 Teknik Elektro. Untuk mengetahui besar tegangan dan arus yang dihasilkan oleh panel surya dapat dilakukan dengan cara memberikan beban yang sesuai dengan perhitungan *boost converter*. Beban yang digunakan adalah resistor 20 ohm 50 watt. Rangkaian pengujian beban panel surya ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Untuk melakukan pengambilan data tegangan dan arus, dibutuhkan dua AVOMeter digital. Sedangkan pengukuran intensitas cahaya dilakukan menggunakan **aplikasi lux meter smartphone android**. Pengambilan data dilakukan secara berulang – ulang setiap satu jam sekali. Pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 17 Mei 2016 pukul 10.00 WIB sampai pukul 17.00 WIB, bertempat di lantai tiga gedung D3 Teknik Elektro ITS. Hasil pengambilan data dapat dilihat pada Tabel 4.1.

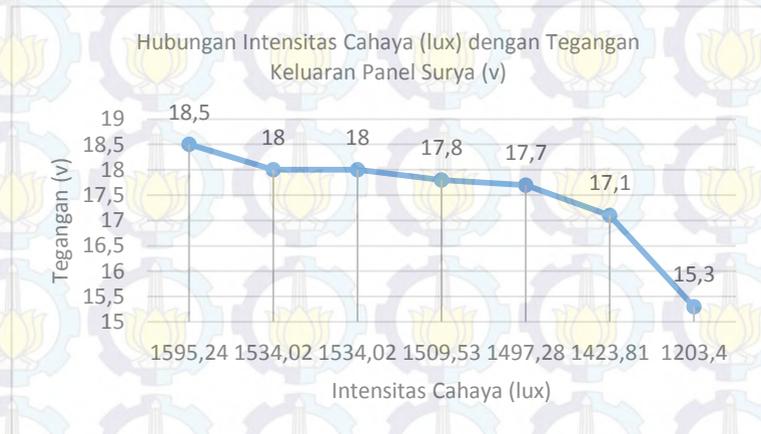


**Gambar 4.2** Metode Pengujian Panel Surya

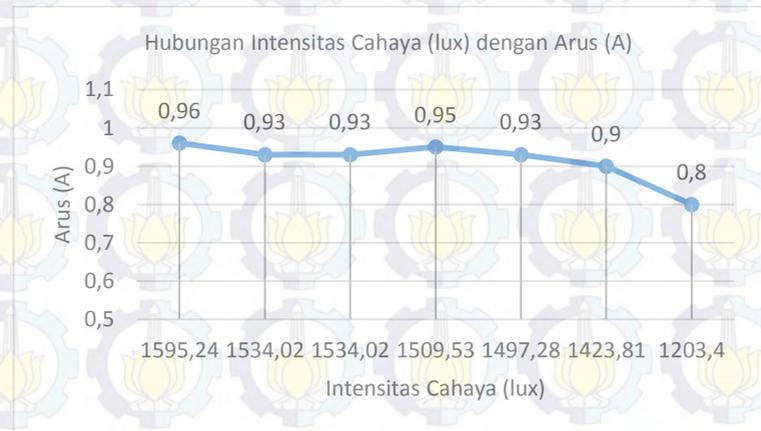
**Tabel 4.1** Hasil Pengukuran Pembebanan Panel Surya 50 Wp

V out (V)	I out (A)	Daya (Watt)	Intensitas Cahaya (Lux)	Cuaca	Jam
18.5	0.96	17.76	1595.24	Cerah	10:00
18	0.93	16.74	1534.02	Cerah	11:00
18	0.93	16.74	1534.02	Cerah	12:00
17.8	0.95	16.91	1509.53	Cerah	13:00
17.7	0.93	16.46	1497.28	Cerah	14:00
17.1	0.9	15.39	1423.81	Cerah	15:00
15.3	0.8	12.24	1203.40	Berawan	16:00

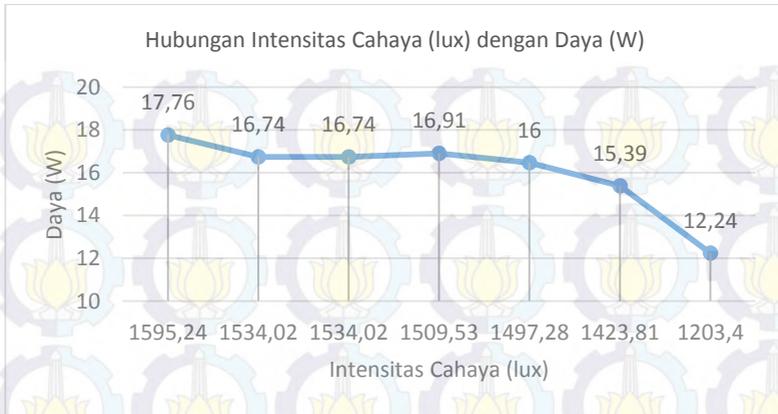
Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dibuat grafik hubungan antara intensitas cahaya dengan beberapa parameter seperti tegangan keluaran, arus, dan daya yang dihasilkan oleh panel surya. Grafik hubungan intensitas cahaya dengan tegangan keluaran ditunjukkan pada Gambar 4.3. Didapatkan pula bahwa intensitas cahaya berpengaruh terhadap besarnya arus yang mengalir pada beban, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.3** Grafik Hubungan Intensitas Cahaya dengan Tegangan Keluaran Panel Surya



**Gambar 4.4** Grafik Hubungan Intensitas Cahaya dengan Arus



**Gambar 4.5** Grafik Hubungan Intensitas Cahaya dengan Daya

Gambar 4.5 menunjukkan pengaruh intensitas cahaya terhadap daya yang dihasilkan oleh panel surya. Daya ini didapat dari perkalian tegangan keluaran panel dengan arus yang mengalir. Berdasarkan hasil pengujian, besarnya intensitas cahaya sebanding dengan tegangan, arus, dan juga daya yang dihasilkan oleh panel surya. Semakin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan panel, maka tegangan dan arus yang dihasilkan juga akan bertambah besar.

#### 4.2 Pengujian Turbin Angin

Turbin angin menjadi sumber energi yang akan menghasilkan energi listrik. Angin bergerak dan mendorong baling-baling untuk bergerak sesuai dengan kecepatan angin. Baling-baling turbin dikopel dengan generator DC dengan memakai roda gigi. Turbin yang berputar karena angin ini kemudian menggerakkan generator untuk berputar, sehingga generator menghasilkan tegangan keluaran. Pada tahap ini turbin angin diuji untuk mengetahui hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan keluaran generator DC. Pengujian dilakukan dengan mengukur kecepatan angin menggunakan anemometer, dan tegangan diukur menggunakan sensor tegangan pada turbin yang terpantau pada komputer. Pengujian dilakukan pada tanggal 1 Juni 2016 pukul 11:00 WIB di halaman belakang ruang AA107 D3 Teknik Elektro ITS. Gambar 4.6 menunjukkan cara pengujian kecepatan angin yang bertempat di halaman belakang gedung AA 107 D3 Teknik Elektro.



**Gambar 4.6** Pengujian Kecepatan Angin dengan Anemometer di Halaman Belakang Gedung AA 107 D3 Teknik Elektro

**Tabel 4.2** Hasil Pengujian Kecepatan Angin

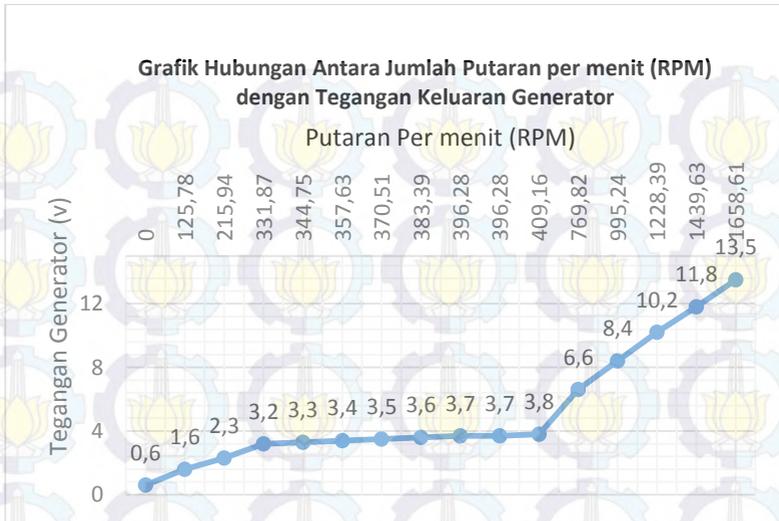
Kecepatan Angin (Km/jam)	Vout Generator (V)	RPM	Waktu
0,8	0	0	11:00
2	0	0	11:10
2	0	0	11:20
2,4	0	0	11:30

Setelah dilakukan pengujian dengan mengambil sampel tiap 10 menit, maka didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.2. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa dengan kecepatan angin maksimal di daerah pengujian yakni sebesar 2,4 km/jam belum mampu membuat turbin berputar dan menghasilkan tegangan. Hal ini dapat disebabkan karena tempat pengujian dikelilingi dengan bangunan yang dapat menghalangi gerakan angin. Selain itu juga dapat disebabkan karena kecepatan angin di daerah pengujian sendiri memang tergolong rendah. Untuk itu, selanjutnya dilakukan pengujian generator DC untuk mengetahui hubungan antara jumlah putaran per menit dengan tegangan keluaran yang dihasilkan oleh generator. Pengujian dilakukan dengan cara mengkoppel generator DC dengan motor lain, kemudian mengukur tegangan yang dihasilkan menggunakan AVO dan mengukur RPM menggunakan tachometer. Maka didapatkan hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Pengujian RPM dan Tegangan Keluaran Generator DC

V Prime Mover (V)	V Generator (V)	RPM
1,9	0,6	0
3,1	1,6	125,78
4,0	2,3	215,94
5,0	3,2	331,87
5,1	3,3	344,75
5,2	3,4	357,63
5,3	3,5	370,51
5,4	3,6	383,39
5,5	3,7	396,28
5,6	3,7	396,28
5,7	3,8	409,16
9,1	6,6	769,82
11,0	8,4	995,24
13,0	10,2	1228,39
15,1	11,8	1439,63
17,1	13,5	1658,61

Berdasarkan Tabel 4.3, tegangan yang diberikan pada *prime mover* atau motor penggerak berbeda dengan tegangan yang dihasilkan oleh generator DC. Bila dimisalkan untuk menghasilkan tegangan sebesar 13,5 volt, dibutuhkan putaran sebanyak 1658,61 kali per menit. Sementara putaran bergantung pada kecepatan angin yang ada di daerah pengujian. Bila disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara tegangan keluaran generator dengan jumlah putaran per menit, hasil pengujian akan tampak seperti pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Grafik Hubungan Jumlah RPM dengan Tegangan Generator

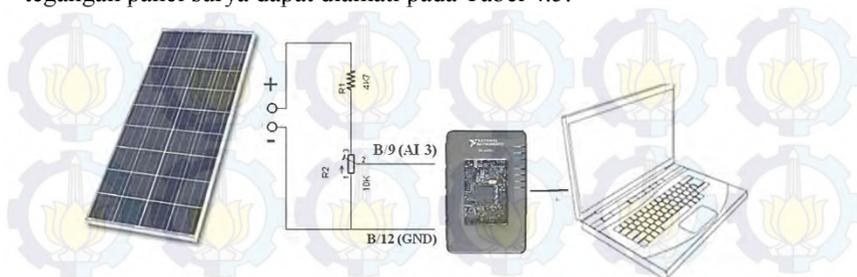
Berdasarkan dua pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin berpengaruh terhadap jumlah putaran baling-baling turbin tiap menit, dan juga secara langsung menentukan pula seberapa besar tegangan yang dihasilkan oleh generator. Semakin besar kecepatan angin, semakin tinggi besar jumlah putaran per menit. Maka tegangan yang dihasilkan oleh generator juga dapat semakin besar.

### 4.3 Pengujian Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan pada bagian-bagian penting dalam tugas akhir ini. Sensor tegangan dibuat menggunakan prinsip pembagi tegangan pada resistor. Pengujian sensor tegangan dilakukan untuk mengetahui perbandingan pembacaan tegangan menggunakan AVometer dan menggunakan LabVIEW. Gambar 4.18 menunjukkan cara pengujian sensor tegangan panel surya. Sensor tegangan akan membaca tegangan keluaran dari panel surya, dimana sensor tegangan terhubung dengan port B/9 (AI 3) NI myRIO.

Ketika tidak berada dalam kondisi pengisian, tegangan dari panel surya dibaca oleh sensor, kemudian diteruskan menuju NI myRIO. NI myRIO yang terhubung dengan *laptop* dengan program pembacaan yang berjalan akan dapat menampilkan tegangan tersebut. Hasil pembacaan ini

dilinerisasi menggunakan persamaan (13). Hasil pengujian sensor tegangan panel surya dapat diamati pada Tabel 4.5.



**Gambar 4.8** Pengujian Sensor Tegangan Panel Surya

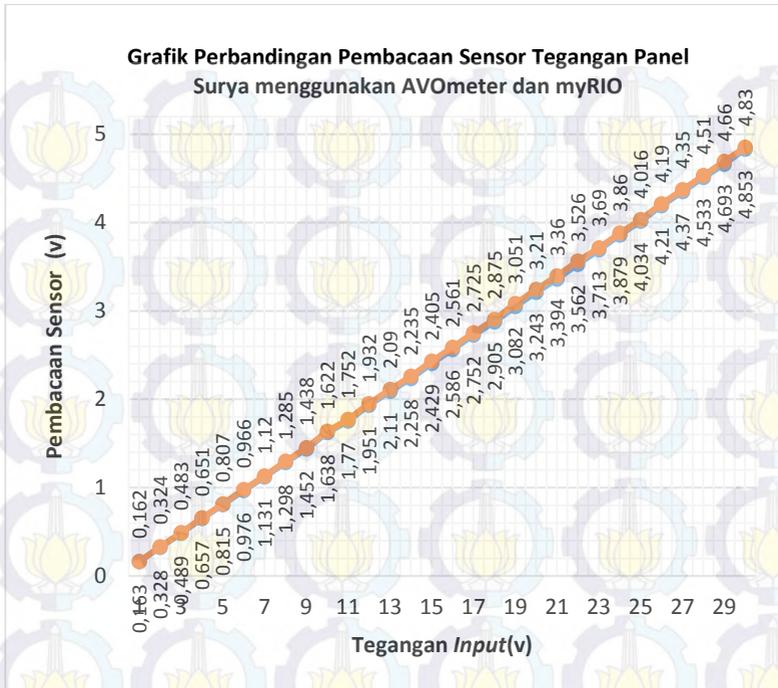
**Tabel 4.4** Hasil Pengujian Sensor Tegangan Panel Surya

V in (V)	V AVO (V)	V LabVIEW (V)	%Error
1	0,162	0,163	0,617
2	0,324	0,328	1,235
3	0,483	0,489	1,242
4	0,651	0,657	0,922
5	0,807	0,815	0,991
6	0,966	0,976	1,035
7	1,120	1,131	0,982
8	1,285	1,298	1,012
9	1,438	1,452	0,974
10	1,622	1,638	0,986
11	1,752	1,770	1,027
12	1,932	1,951	0,983
13	2,090	2,110	0,957
14	2,235	2,258	1,029
15	2,405	2,429	0,998
16	2,561	2,586	0,976

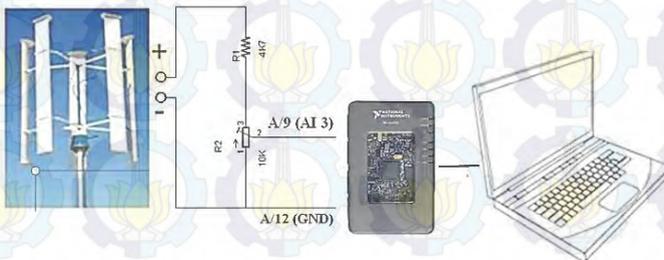
V in (V)	V AVO (V)	V LabVIEW (V)	%Error
17	2,725	2,752	0,991
18	2,875	2,905	1,043
19	3,051	3,082	1,016
20	3,210	3,243	1,028
21	3,360	3,394	1,012
22	3,526	3,562	1,021
23	3,690	3,713	0,623
24	3,860	3,879	0,492
25	4,016	4,034	0,448
26	4,190	4,210	0,477
27	4,350	4,370	0,460
28	4,510	4,533	0,510
29	4,660	4,693	0,708
30	4,830	4,853	0,476

Dari data tabel didapatkan bahwa pembacaan menggunakan AVOMeter memiliki perbedaan dengan pembacaan menggunakan LabVIEW, dengan presentase kesalahan maksimum sebesar 1,029%. Grafik pengujian sensor tegangan pada panel surya ditampilkan pada Gambar 4.9.

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan teknik yang sama pada turbin angin. Turbin angin yang bergerak akan memutar generator yang kemudian menimbulkan tegangan. Tegangan ini ditangkap oleh sensor dan diteruskan ke NI myRIO untuk diproses. Gambar 4.10 menunjukkan teknik pengujian sensor tegangan yang terpasang pada turbin angin. Sensor tegangan akan membaca tegangan keluaran dari turbin angin, dimana sensor tegangan terhubung dengan port A/9 (AI 3) NI myRIO.



**Gambar 4.9** Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan Panel Surya Menggunakan AVometer dan LabVIEW



**Gambar 4.10** Pengujian Sensor Tegangan Turbin Angin

Hasil pengujian sensor tegangan turbin ini kemudian dibandingkan dengan pembacaan menggunakan AVometer digital, dan didapatkan presentase kesalahan. Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian sensor tegangan pada turbin angin.

**Tabel 4.5** Hasil Pengujian Sensor Tegangan Turbin Angin

V <sub>in</sub> (V)	V AVO (V)	V LabVIEW (V)	%Error
1	0,162	0,163	0,617
2	0,325	0,328	0,923
3	0,484	0,489	1,033
4	0,644	0,651	1,087
5	0,805	0,812	0,870
6	0,964	0,974	1,037
7	1,131	1,142	0,973
8	1,285	1,298	1,012
9	1,439	1,454	1,042
10	1,599	1,616	1,063
11	1,756	1,774	1,025
12	1,928	1,948	1,037
13	2,084	2,106	1,056
14	2,246	2,269	1,024
15	2,404	2,429	1,040
16	2,560	2,586	1,016
17	2,721	2,749	1,029
18	2,882	2,911	1,006
19	3,038	3,070	1,053
20	3,196	3,229	1,033
21	3,364	3,398	1,011
22	3,516	3,553	1,052
23	3,690	3,713	0,623
24	3,860	3,880	0,518
25	4,020	4,042	0,547
26	4,190	4,207	0,406
27	4,340	4,364	0,553
28	4,500	4,527	0,600
29	4,660	4,689	0,622
30	4,830	4,853	0,476

Berdasarkan hasil pengujian sensor, dengan membandingkan tegangan yang terukur oleh AVO meter dan oleh LabVIEW didapatkan hasil yang hampir sama. Presentase *error* pada dua tabel juga kecil, yakni maksimum sebesar 1,087%. Presentase *error* dapat dihitung dengan persamaan:

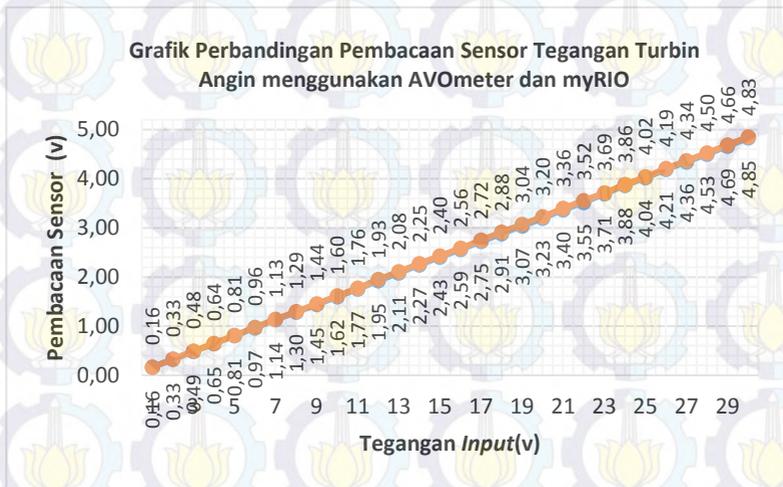
$$\% \text{ error} = \left[ \frac{V_{avo} - V_{labVIEW}}{V_{avo}} \right] \times 100\% \dots \dots \dots (15)$$

$$= \left[ \frac{0,644 - 0,651}{0,644} \right] \times 100\%$$

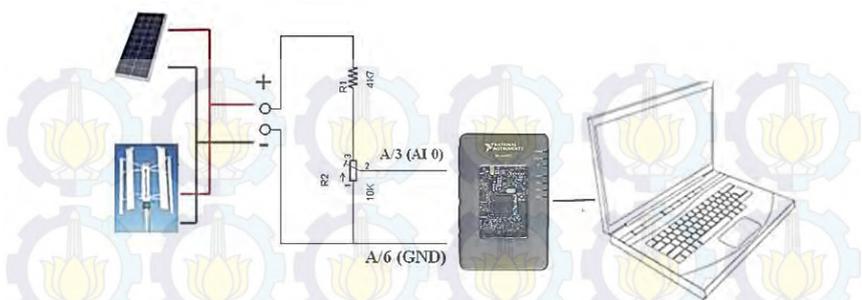
$$= 0,01087 \times 100\% = 1,087\%$$

Kenaikan tegangan masukan linier dengan hasil pembacaan AVO maupun LabVIEW. Berikut ini grafik yang menunjukkan perbandingan pembacaan sensor tegangan pada turbin angin, yang dapat diamati pada Gambar 4.11.

Sensor tegangan ketiga adalah sensor yang dipasang pada *input* rangkaian *boost converter*. Masukan tegangan sendiri berasal dari tegangan dua sumber yang digabungkan secara paralel. Telah dibuktikan pada bagian sebelumnya (pengujian penggabungan tegangan) bahwa dua sumber tegangan yang berbeda bila diparalel akan memberikan hasil tegangan yang tertinggi, namun sedikit mengalami *drop voltage*, sementara arusnya akan dijumlahkan. Sensor tegangan pada *input boost converter* akan mulai membaca ketika baterai ada dalam kondisi pengisian.



**Gambar 4.11** Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan Turbin Angin Menggunakan AVOMeter dan NI myRIO



**Gambar 4.12** Skema Pengujian Sensor Tegangan *Input Boost Converter*

Gambar 4.12 menunjukkan bagaimana teknik yang digunakan untuk melakukan pengujian sensor tegangan pada *Vin boost converter*. Dua sumber energi ini diparalel kemudian masuk ke dalam sensor tegangan yang terhubung dengan port A/3 (AI 0) NI myRIO, dan berikut adalah Tabel 4.7 yang berisi hasil pengujian sensor tegangan tersebut.

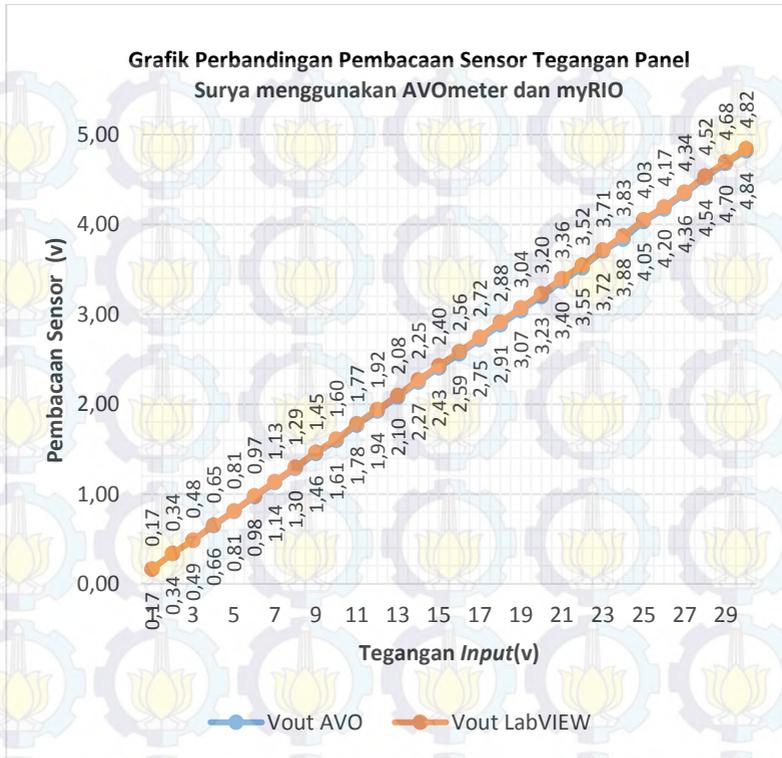
**Tabel 4.6** Hasil Pengujian Sensor Tegangan *Input Boost Converter*

Vin (V)	V AVO (V)	V LabVIEW (V)	%Error
1	0,165	0,166	0,606
2	0,337	0,340	0,890
3	0,484	0,489	1,033
4	0,650	0,656	0,923
5	0,806	0,814	0,993
6	0,970	0,980	1,031
7	1,129	1,141	1,063
8	1,287	1,300	1,010
9	1,449	1,464	1,035
10	1,597	1,613	1,002
11	1,766	1,784	1,019
12	1,923	1,942	0,988
13	2,079	2,100	1,010
14	2,247	2,270	1,024
15	2,403	2,429	1,082
16	2,559	2,586	1,055
17	2,718	2,746	1,030
18	2,884	2,913	1,006
19	3,040	3,071	1,020
20	3,196	3,228	1,001
21	3,364	3,398	1,011

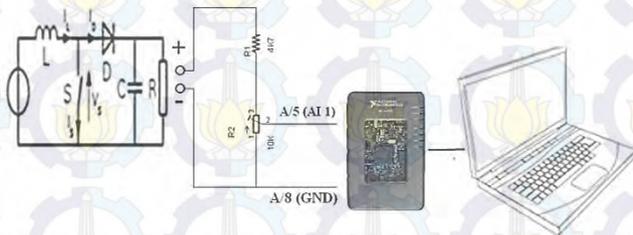
Vin (V)	V AVO (V)	V LabVIEW (V)	%Error
22	3,515	3,549	0,967
23	3,706	3,718	0,324
24	3,834	3,875	1,069
25	4,030	4,052	0,546
26	4,170	4,198	0,671
27	4,340	4,361	0,484
28	4,520	4,539	0,420
29	4,680	4,699	0,406
30	4,820	4,844	0,498

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan menggunakan LabVIEW memiliki presentase kesalahan maksimal sebesar 1,082% dari pembacaan AVOMeter yang dijadikan acuan. Kenaikan tegangan masukan berbanding lurus dengan tegangan yang terbaca baik oleh AVOMeter maupun oleh LabVIEW. Grafik perbandingan dapat diamati pada Gambar 4.13.

Kemudian setelah melakukan pengujian terhadap tegangan *input boost converter*, dilakukan juga pengujian sensor yang dipasang pada *output boost converter*. Pengujian ini penting dilakukan karena sensor tegangan pada bagian ini merupakan penentu dari rangkaian *boost converter*, karena hasil pembacaan sensor akan menjadi acuan apakah pembangkitan PWM memerlukan *duty cycle* yang lebih tinggi atau tidak. Sensor tegangan ini juga akan membaca tegangan pada saat baterai dalam kondisi pengisian. Sensor tegangan terhubung dengan *port A/5 (AI1)* pada NI myRIO. Sensor inilah yang berfungsi membaca tegangan pengisian baterai, yaitu 28,8 volt. Apabila sensor membaca kurang dari nilai tersebut, maka *duty cycle* akan secara otomatis ditambahkan sebesar 0,1%, sampai sensor tegangan mendapatkan nilai tidak kurang dari 28,8 volt. Gambar 4.14 merupakan skema cara pengujian sensor tegangan *output boost converter*.



**Gambar 4.13** Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan *Input Boost Converter* menggunakan AVOMeter dan NI myRIO



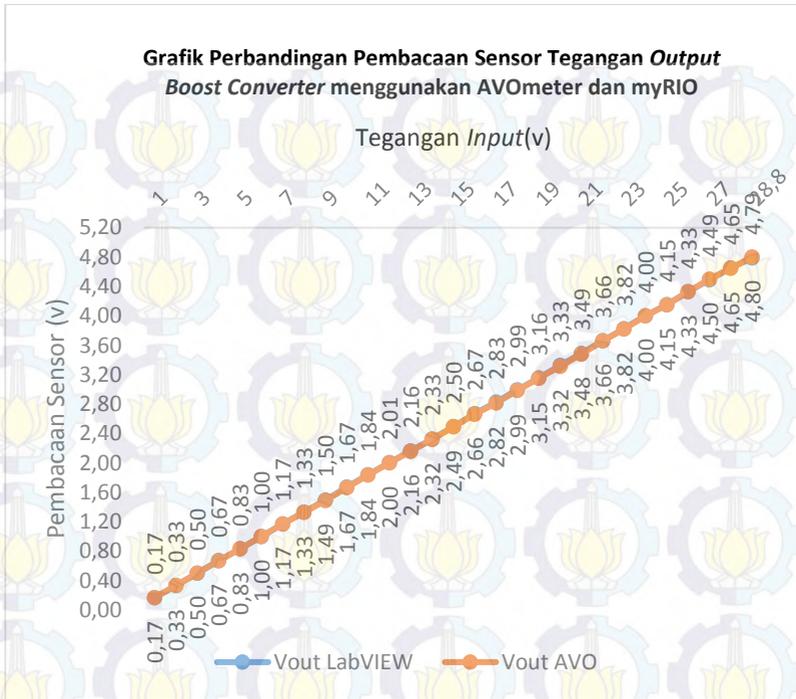
**Gambar 4.14** Skema Pengujian Sensor Tegangan *Output Boost Converter*

Oleh karena rangkaian *boost converter* memiliki fungsi sebagai penaik tegangan, maka dapat dipastikan bahwa tegangan keluaran akan

lebih besar daripada tegangan masukan. Setelah melakukan pengujian, didapati hasil yang sebagaimana ada pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.7** Hasil Pengujian Sensor Tegangan *Output Boost Converter*

V in (V)	V out AVO (V)	V out LabVIEW (V)	% error
1	0,168	0,168	0,000
2	0,334	0,334	0,000
3	0,500	0,501	0,200
4	0,671	0,673	0,298
5	0,832	0,833	0,120
6	0,999	1,000	0,100
7	1,172	1,172	0,000
8	1,328	1,333	0,377
9	1,491	1,495	0,268
10	1,666	1,671	0,300
11	1,835	1,840	0,272
12	2,001	2,006	0,250
13	2,158	2,164	0,278
14	2,321	2,326	0,215
15	2,490	2,496	0,241
16	2,662	2,670	0,301
17	2,817	2,827	0,355
18	2,985	2,993	0,268
19	3,150	3,157	0,222
20	3,316	3,325	0,271
21	3,482	3,489	0,201
22	3,660	3,662	0,055
23	3,820	3,824	0,105
24	4,000	4,000	0,000
25	4,150	4,154	0,096
26	4,330	4,327	0,069
27	4,500	4,493	0,156
28	4,650	4,652	0,043
28,8	4,800	4,787	0,271

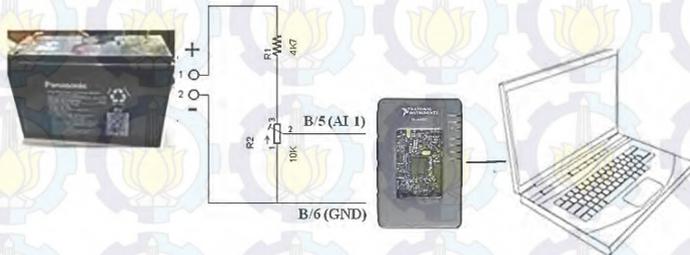


**Gambar 4.15** Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan Output Boost Converter menggunakan AVOMeter dan NI myRIO

Bila diperhatikan maka perbandingan pembacaan sensor tegangan menggunakan AVO meter tidak terlalu jauh dengan pembacaan menggunakan LabVIEW. Bila dihitung presentasi kesalahan didapatkan maksimum *error* hanya sebesar 0,377%. Hal ini menandakan bahwa sensor tegangan pada *output boost converter* memiliki hasil yang mendekati dengan hasil pembacaan AVOMeter, sehingga dapat digunakan untuk membaca tegangan. Grafik yang ditunjukkan Gambar 4.15 memberikan hasil bahwa pembacaan sensor ini sudah cukup linier.

Sensor tegangan yang terakhir ditempatkan pada komponen beban dari tugas akhir ini, yaitu baterai VRLA. Sensor ini dipasang untuk mengetahui kapasitas baterai yang tersisa, apabila tegangan baterai telah mencapai 60% dari kapasitasnya, maka dibutuhkan untuk melakukan pengisian ulang. Sensor ini yang akan memantau kapan saat baterai memerlukan pengisian. Pengujian sensor digambarkan seperti pada

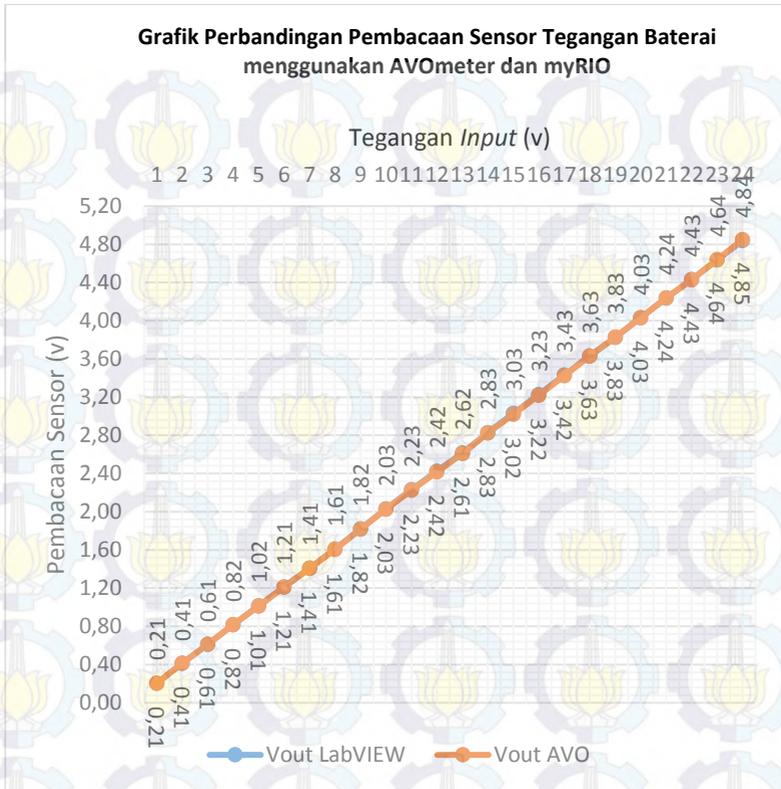
Gambar 4.16. Sensor tegangan dihubungkan pada *port* B/5 (AI1) pada NI myRIO. Setelah melakukan pengujian, didapatkan data pengukuran yang sebagaimana terdapat dalam Tabel 4.9 berikut ini.



**Gambar 4.16** Skema Pengujian Sensor Tegangan Baterai

**Tabel 4.8** Hasil Pengujian Sensor Tegangan Baterai

V in (V)	V out AVO (V)	V out LabVIEW (V)	% error
1	0,205	0,205	0,000
2	0,413	0,413	0,000
3	0,612	0,612	0,000
4	0,817	0,819	0,245
5	1,013	1,016	0,296
6	1,211	1,212	0,083
7	1,408	1,412	0,284
8	1,605	1,608	0,187
9	1,818	1,822	0,220
10	2,027	2,031	0,197
11	2,226	2,231	0,225
12	2,417	2,424	0,290
13	2,611	2,617	0,230
14	2,826	2,830	0,142
15	3,021	3,031	0,331
16	3,218	3,226	0,249
17	3,423	3,431	0,234
18	3,630	3,631	0,028
19	3,830	3,826	0,104
20	4,030	4,030	0,000
21	4,240	4,235	0,118
22	4,430	4,431	0,023
23	4,640	4,637	0,065
24	4,850	4,840	0,206



**Gambar 4.17** Grafik Perbandingan Pembacaan Sensor Tegangan Baterai Menggunakan AVOMeter dan NI myRIO

Data menunjukkan hasil yang sebanding antara pembacaan AVOMeter dan LabVIEW, dengan presentasi kesalahan maksimal sebesar 0,331%. Berikut ini grafik yang menunjukkan linieritas sensor tegangan baterai pada Gambar 4.17. Berdasarkan pengujian kelima sensor tegangan, didapatkan hasil perbandingan antara pembacaan tegangan menggunakan AVOMeter dan dengan LabVIEW tidak jauh berbeda, dengan presentase kesalahan kurang dari 1,1%. Dapat disimpulkan bahwa sensor tegangan mampu membaca tegangan seperti hasil yang didapat menggunakan AVOMeter.

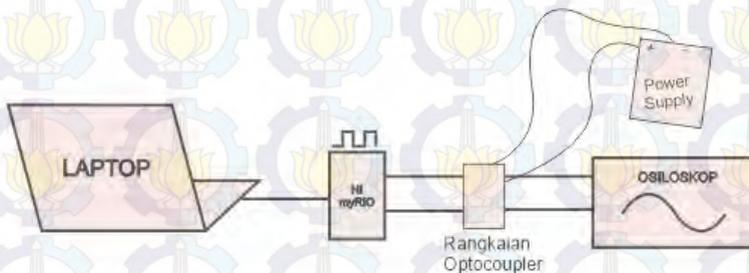
#### 4.4 Pengujian PWM

Pengujian pembangkitan PWM dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penambahan *duty cycle* terhadap tegangan yang dihasilkan oleh NI myRIO. Pembangkitan PWM ini dilakukan sebagai sumber pensaklaran MOSFET yang akan menaikkan tegangan pada rangkaian *boost converter*. Apabila pemberian *duty cycle* tidak sebanding dengan keluaran tegangan, maka dapat menyebabkan rangkaian *boost converter* tidak bekerja sebagaimana mestinya. Gambar 4.18 menunjukkan ilustrasi cara pengujian pembangkitan PWM dengan NI myRIO.

*Laptop* terhubung dengan NI myRIO sebagai perangkat pengendali. *Port C* yang ada pada NI myRIO dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit PWM. NI myRIO kemudian dihubungkan dengan rangkaian *totem pole* atau *driver* MOSFET.

Keluaran dari rangkaian ini selanjutnya dihubungkan dengan osiloskop menggunakan *probe*. Osiloskop akan menampilkan respon gelombang PWM yang dibangkitkan, dan AVO digital juga akan dipergunakan untuk mengukur keluaran tegangan dari rangkaian tersebut. Selanjutnya program pembangkitan PWM diisikan pada NI myRIO oleh *laptop*.

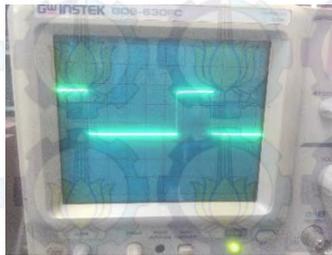
Ketika program dijalankan, frekuensi dan *duty cycle* dapat diatur oleh pengguna sesuai kebutuhan. Pengujian dilakukan dengan memberikan frekuensi yang tetap sebesar 30.000 Hz, sementara *duty cycle* dinaikkan secara bertahap mulai dari 30 % hingga 70%. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.4.



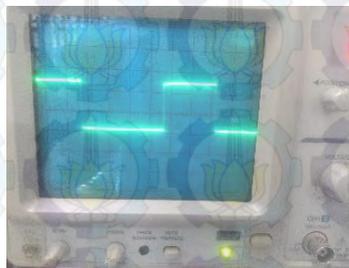
**Gambar 4.18** Teknik Pengujian Pembangkitan PWM

**Tabel 4.9** Hasil Pengujian Pembangkitan PWM

No	Duty Cycle (%)	$V_{out}$ Driver MOSFET (V)
1	0	0
2	30	3,9
3	40	5,06
4	45	5,62
5	50	6,21
6	52	6,56
7	60	7,36
8	65	7,94
9	70	8,53



**Gambar 4.19** Respon PWM Duty Cycle 30%

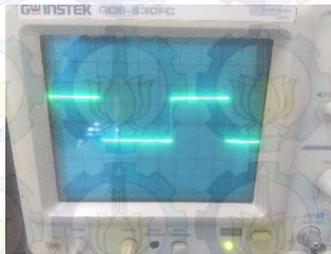


**Gambar 4.20** Respon PWM Duty Cycle 40%

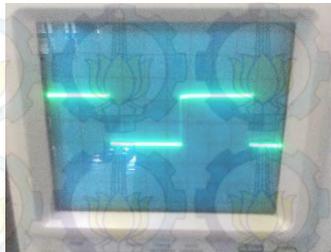
Dari data pengujian didapatkan bahwa kenaikan *duty cycle* sebanding dengan kenaikan tegangan keluaran yang terukur menggunakan AVO meter. Gambar 4.19 merupakan respon tegangan

yang dihasilkan oleh NI myRIO dengan duty cycle sebesar 30 %. Sementara untuk *duty cycle* 40 % ditunjukkan pada Gambar 4.20.

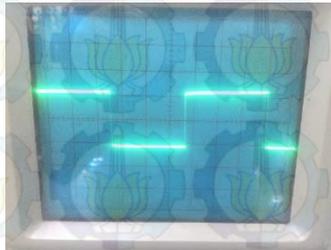
Selanjutnya dilakukan pengujian untuk *duty cycle* sebesar 45 % dan didapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.21. Gambar 4.22 berikut ini merupakan respon tegangan yang didapatkan dengan memberikan nilai 50% pada *duty cycle*, dimana lebar pulsa pada kondisi *high* sama dengan lebar pulsa pada kondisi *low*. Selanjutnya dilakukan pengujian PWM pada *duty cycle* sebesar 53%. Nilai ini ditentukan dari perhitungan *duty cycle* yang dibutuhkan untuk menaikkan tegangan pada *boost converter*. Respon tegangan ditunjukkan pada Gambar 4.23.



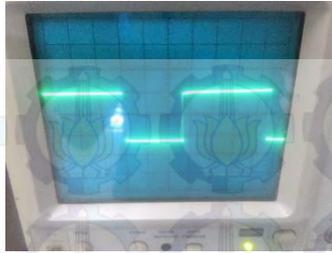
**Gambar 4.21** Respon PWM *Duty Cycle* 45%



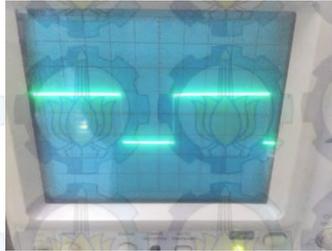
**Gambar 4.22** Respon PWM *Duty Cycle* 50%



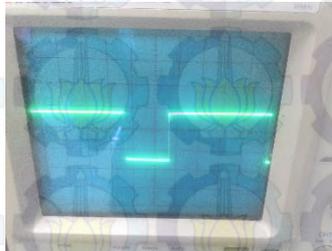
**Gambar 4.23** Respon PWM *Duty Cycle* 53%



**Gambar 4.24** Respon PWM *Duty Cycle* 60%



**Gambar 4.25** Respon PWM *Duty Cycle* 65%



**Gambar 4.26** Respon PWM *Duty Cycle* 70%

Gambar 4.24 menunjukkan respon tegangan pembangkitan PWM dengan *duty cycle* sebesar 60%. Terlihat bahwa lebar pulsa kondisi *high* lebih besar dari pada saat kondisi *low*. Pada pengujian akhir diberikan nilai 70 % pada *duty cycle*, dan respon tegangan yang dibaca oleh osiloskop adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.26.

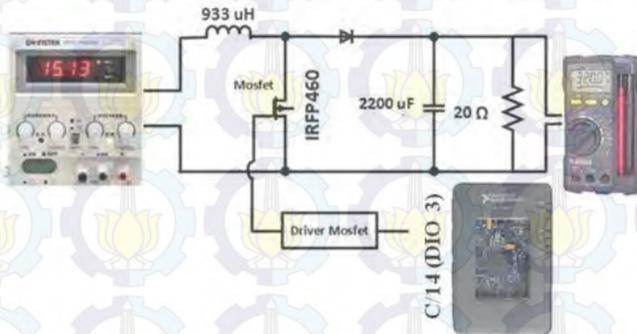
Respon gelombang PWM yang ditampilkan osiloskop menunjukkan kesesuaian dengan besar nilai *duty cycle*. Sebagai contoh pada *duty cycle* 50% satu gelombang ditempuh dalam 7 divisi (7 kotak), dengan waktu puncak ditempuh dalam 3,5 divisi dan sama dengan waktu lembah yang juga ditempuh dalam 3,5 divisi. Dapat disimpulkan bahwa

semakin besar nilai *duty cycle* maka semakin lebar gelombang pulsa pada kondisi *high*, dan semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan.

#### 4.5 Pengujian Boost Converter

Pengujian *boost converter* digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan *duty cycle* terhadap tegangan *boost converter*. Pengujian ini dilakukan menggunakan dua metode, yaitu metode *open loop* dan metode *close loop*. Sesuai dengan perancangan, tegangan keluaran *boost converter* diatur sebesar 28,8 volt yang digunakan untuk tegangan pengisian aki. Tegangan masukan berasal dari *power supply variable*. Besar tegangan diatur sesuai dengan perancangan tegangan masukan minimal sampai maksimal *boost converter*, sebesar 15 sampai 20 volt. Berikut merupakan skema rangkaian pengujian *boost converter* dengan metode *open loop*, sesuai dengan Gambar 4.27.

Sesuai dengan Gambar 4.28 di atas, beban resistor yang digunakan untuk pengujian sebesar 20 ohm. Pembangkitan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) dilakukan melalui port C/14 (DIO 3) NI myRIO 1900 untuk dimasukkan ke kaki *gate* MOSFET melalui rangkaian *driver* MOSFET. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.10.

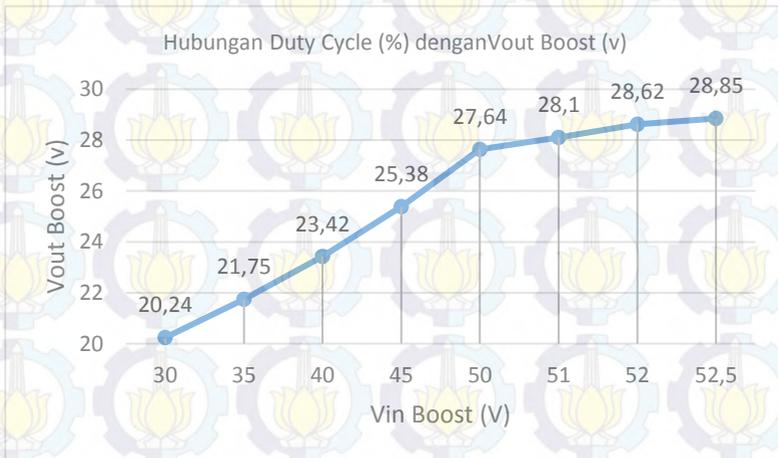


**Gambar 4.27** Skema Pengujian *Boost Converter Open Loop*

**Tabel 4.10** Hasil Pengujian *Boost Converter Open Loop* Penambahan *Duty Cycle*

NO	Vin (V)	Duty Cycle(%)	Vout (V)	Iout (A)
1	15	30	20,24	1,01
2	15	35	21,75	1,08
3	15	40	23,42	1,17

NO	Vin (V)	Duty Cycle(%)	Vout (V)	Iout (A)
4	15	45	25,38	1,26
5	15	50	27,64	1,38
6	15	51	28,10	1,40
7	15	52	28,62	1,42
8	15	52,5	28,85	1,43



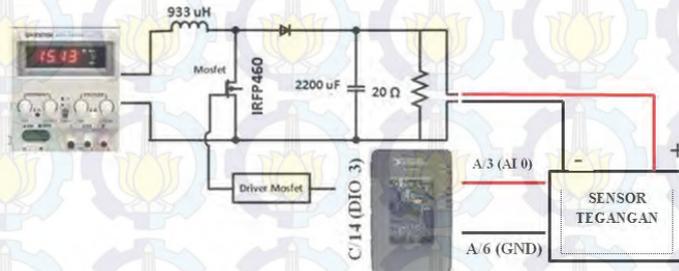
**Gambar 4.28** Grafik Hubungan Tegangan *Input Boost* dengan Tegangan *Output Boost*

Pada Tabel 4.10, nilai tegangan dibuat tetap yaitu sebesar 15 volt. Sedangkan nilai *duty cycle* diubah mulai dari 30% hingga 52,5%, yakni dimana tegangan pengisian telah mencapai 28.8 volt. Berdasarkan pengujian, didapatkan bahwa kenaikan *duty cycle* memperbesar tegangan keluaran pada rangkaian *boost converter*. Dari data di atas dapat dibuat suatu grafik hubungan antara tegangan *input* dengan tegangan *output boost converter* sesuai dengan Gambar 4.28.

Untuk pengujian *boost converter* dengan metode *close loop*, terdapat komponen tambahan berupa sensor tegangan. Sensor tegangan yang digunakan berupa rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan akan membagi tegangan keluaran *boost converter* agar sesuai

dengan tegangan analog input NI myRIO 1900. Tegangan keluaran *boost converter* akan dibaca oleh kontroler.

Sesuai dengan perancangan, tegangan keluaran akan diatur agar tetap pada nilai tegangan pengisian aki sebesar 28,8 volt. Tegangan keluaran *boost converter* akan dibaca oleh sensor tegangan menuju port A/3 (AI 0) NI myRIO. Apabila kontroler membaca tegangan keluaran *boost converter* tidak sesuai dengan tegangan pengisian aki, kontroler akan memberikan sinyal pembangkitan PWM (*Pulse Width Modulation*) melalui port C/14 (DIO 3) menuju rangkaian *driver* untuk dimasukkan ke kaki *gate* MOSFET. Skema rangkaian pengujian *boost converter* dengan metode *close loop* dapat dilihat pada Gambar 4.29. Setelah melakukan pengujian, diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.11.



**Gambar 4.29** Skema Pengujian *Boost Converter Close Loop*

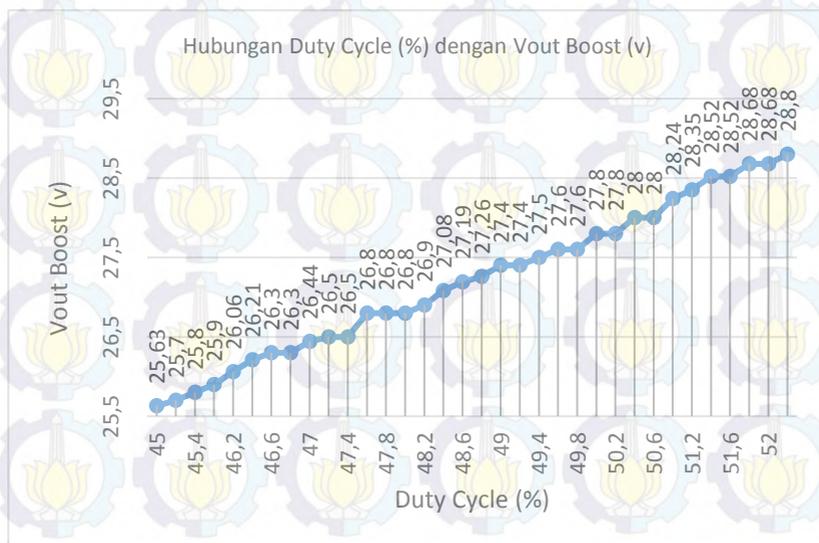
**Tabel 4.11** Hasil Pengujian *Boost Converter Close Loop*

NO	Vin (V)	DutyCycle (%)	Vout (V)	Iout (A)
1	15	45	25,63	1,24
2	15	45,2	25,70	1,25
3	15	45,4	25,80	1,27
4	15	45,6	25,90	1,27
5	15	46,2	26,06	1,28
6	15	46,4	26,21	1,28
7	15	46,6	26,30	1,29
8	15	46,8	26,30	1,29
9	15	47	26,44	1,30

NO	Vin (V)	DutyCycle (%)	Vout (V)	Iout (A)
10	15	47,2	26,50	1,30
11	15	47,4	26,50	1,31
12	15	47,6	26,80	1,31
13	15	47,8	26,80	1,32
14	15	48	26,80	1,33
15	15	48,2	26,90	1,33
16	15	48,4	27,08	1,33
17	15	48,6	27,19	1,34
18	15	48,8	27,26	1,34
19	15	49	27,40	1,35
20	15	49,2	27,40	1,35
21	15	49,4	27,50	1,35
22	15	49,6	27,60	1,36
23	15	49,8	27,60	1,36
24	15	50	27,80	1,37
25	15	50,2	27,80	1,37
26	15	50,4	28,00	1,38
27	15	50,6	28,00	1,38
28	15	50,8	28,24	1,38
29	15	51,2	28,35	1,39
30	15	51,4	28,52	1,40
31	15	51,6	28,52	1,40
32	15	51,8	28,68	1,41
33	15	52	28,68	1,41
34	15	52,2	28,80	1,41

Pengambilan data pada Tabel 4.11 bertujuan untuk mengetahui hubungan nilai *duty cycle* dan besar tegangan keluaran *boost converter* apakah telah sesuai dengan perhitungan pada perencanaan pembuatan rangkaian *boost converter*. *Duty cycle* ditambahkan secara otomatis apabila sensor tegangan membaca tegangan keluaran *boost converter* belum mencapai 28,8 volt. Ketika tegangan keluaran telah mencapai 28,8 volt, nilai *duty cycle* sebesar 52,2% dan tidak ada penambahan *duty cycle* kembali.. Sedangka besar arus saat 28,8 adalah 1,41 A dimana nilai tersebut mendekati nilai perhitungan, yaitu 1,44A. Dari data di atas dapat dibuat suatu grafik hubungan antara *duty cycle* dengan tegangan output *boost converter* sesuai dengan Gambar 4.30.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa *duty cycle* berpengaruh terhadap tegangan keluaran *boost converter*. Semakin tinggi nilai *duty cycle* yang diberikan, maka semakin besar tegangan yang dihasilkan. Namun pemberian *duty cycle* tidak dapat mencapai 100%, karena terdapat titik dimana rangkaian *boost converter* mengalami kondisi saturasi. Pada kondisi tersebut tegangan tidak bertambah besar, namun justru akan perlahan semakin berkurang. Kondisi ini harus dihindari, karena dapat mengganggu kinerja dari MOSFET yang bertindak dalam pembangkitan PWM pada rangkaian.

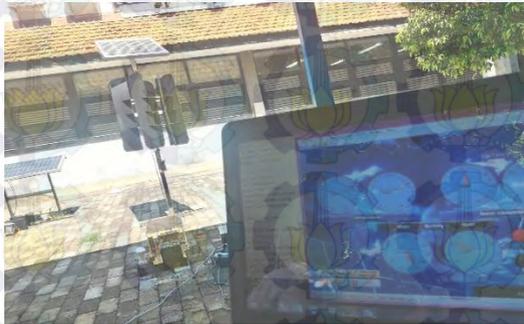


**Gambar 4.30** Grafik Hubungan *Duty Cycle* dengan Tegangan Output Boost

#### 4.6 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian seluruh sistem dilakukan untuk mengetahui performa sistem, apakah sistem telah bekerja dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Dalam pengujian sistem ini, seluruh komponen diintegrasikan sesuai dengan Gambar 4.31. Pengujian seluruh sistem bertempat di halaman belakang gedung AA 107 D3 Teknik Elektro.

Tabel 4.12 merupakan data hasil pengujian seluruh sistem dengan menggunakan kontroler NI myRIO 1900. Pengambilan data dimulai saat sistem memulai pengisian baterai sampai baterai telah terisi penuh. Sistem mulai melakukan pengisian baterai saat tegangan baterai terbaca sebesar 24,48 volt tepat pukul 11:30 WIB dan berhenti ketika arus pengisian turun sampai 1,28 ampere tepat pukul 12:00 WIB. Ketika awal pengisian, besar tegangan keluaran *boost converter* untuk pengisian baterai sebesar 26,72 volt dan arus sebesar 1,8 ampere.



**Gambar 4.31** Pengujian Keseluruhan Sistem Tugas Akhir di Halaman Belakang Gedung AA 107 D3 Teknik Elektro

**Tabel 4.12** Pengujian Sistem Pada Kondisi Pengisian

$V_{in}$ Boost (V)	$V_{out}$ Boost (V)	$I_{out}$ Boost (A)	Daya (Watt)	Jam	Ket.
14,30	26,72	1,80	48,09	11:30	Cerah dengan kecepatan angin rendah
14,35	27,36	1,73	47,33	11:40	Cerah dengan kecepatan angin rendah
14,42	27,80	1,62	45,03	11:50	Cerah dengan kecepatan angin rendah

$V_{in}$ Boost (V)	$V_{out}$ Boost (V)	$I_{out}$ Boost (A)	Daya (Watt)	Jam	Ket.
14,50	28,80	1,28	36,86	12:00	Cerah dengan kecepatan angin rendah



**Gambar 4.32** Grafik Hubungan Tegangan Keluaran Boost Converter dengan Arus Pengisian

Sesuai dengan hasil pengujian, ketika dilakukan pengambilan data dengan interval waktu 10 menit, maka arus pengisian dan tegangan keluaran *boost converter* mengalami perubahan. Arus pengisian semakin menurun seiring waktu pengisian, namun sebaliknya tegangan keluaran *boost converter* mengalami kenaikan hingga 28,8 volt. Hubungan antara arus pengisian dan tegangan keluaran *boost converter* ini ditampilkan pada grafik Gambar 4.32. Nilai arus harus dibatasi sebesar 1,28 amper untuk menghindari baterai dari kondisi *overcharge*. Nilai tegangan dan arus pengisian baterai ditampilkan pada *interface* LabVIEW.

Gambar 4.33 merupakan tampilan *interface* LabVIEW pada saat kondisi *standby mode*, artinya sistem belum melakukan pengisian baterai. Saat kondisi ini, sistem akan memonitoring tegangan keluaran dari panel surya dan turbin angin, tegangan masukan *boost converter*, tegangan keluaran *boost converter*, dan tegangan baterai tegangan baterai. Nilai *duty cycle* adalah nol saat kondisi *stanby mode*, artinya tidak ada pembangkitan sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) ke kaki *gate* MOSFET.



**Gambar 4.33** Tampilan *Interface* Kondisi *Standby Mode* Menggunakan LabVIEW



**Gambar 4.34** Tampilan *Interface* Kondisi *Charging Mode* Menggunakan LabVIEW

Kondisi *standby mode* akan terus terjadi sampai tegangan baterai *discharge* sampai 60% atau sekitar tegangan baterai sebesar 24,48 volt. Setelah tegangan baterai telah mencapai nilai 24,48 volt, sistem akan mulai melakukan pengisian ulang baterai yang ditandai dengan aktifnya relay untuk menyambung tegangan keluaran *boost converter* dengan baterai dan juga indikator *charging mode* akan aktif pada *interface* LabVIEW. Nilai *duty cycle* akan langsung diatur sebesar 45%, dengan nilai tegangan pengisian sebesar 26,72 volt. Jika tombol *auto add duty cycle* pada *interface* LabVIEW ditekan, nilai *duty cycle* akan bertambah secara otomatis hingga mencapai nilai 50%. Tampilan *interface* LabVIEW pada saat *charging mode* dapat dilihat pada gambar 4.34.

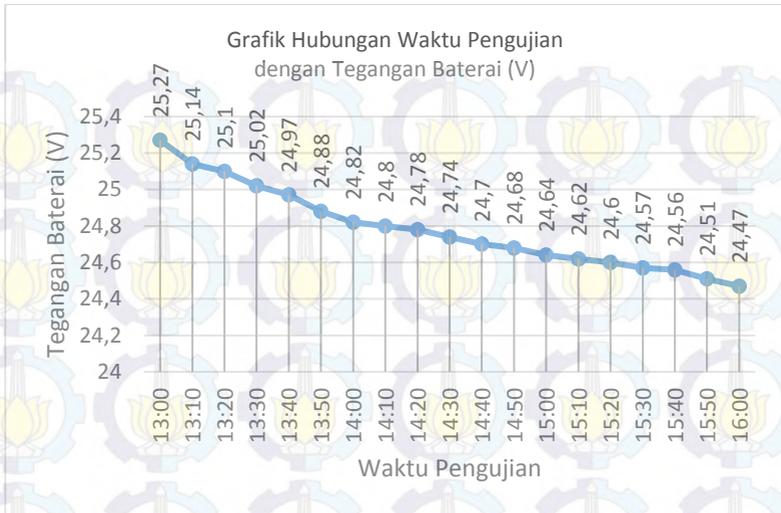
Setelah terisi hingga penuh, baterai kemudian dihubungkan pada beban berupa lampu LED 24 volt DC. Pengujian ini dilakukan untuk menguji ketahanan baterai pada saat mencatu beban. Sensor tegangan yang terpasang pada baterai akan mengukur tegangan baterai, seiring pembebanan dilakukan. Hasil dari pengujian ini ditampilkan pada Tabel

4.13. Hasil pengujian Tabel 4.13 menunjukkan bahwa semakin lama pencatutan dilakukan, maka tegangan baterai semakin berkurang. Baterai kembali memerlukan pengisian setelah 3 jam mencatu beban lampu. Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.35 menunjukkan hubungan antara waktu pengujian dan tegangan baterai.

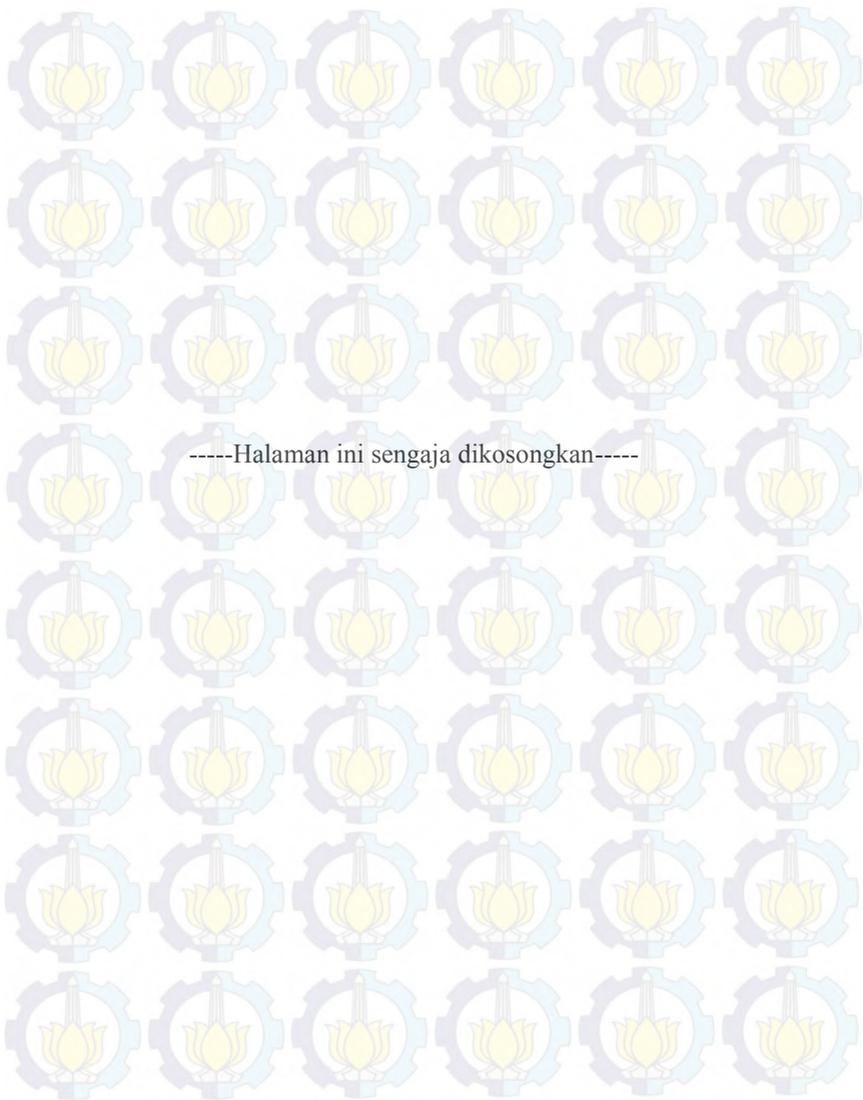
Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem telah dapat bekerja baik dalam kondisi pengisian baterai menggunakan tegangan gabungan dua sumber, maupun ketika baterai dipakai untuk mencatu beban berupa lampu. Daya tahan baterai mencapai 3 jam, sementara waktu pengisian adalah 30 menit.

**Tabel 4.13** Pengujian Pembebanan Baterai Menggunakan Lampu

NO	Jam	V Baterai (V)
1	13:00	25,27
2	13:10	25,14
3	13:20	25,10
4	13:30	25,02
5	13:40	24,97
6	13:50	24,88
7	14:00	24,82
8	14:10	24,80
9	14:20	24,78
10	14:30	24,74
11	14:40	24,70
12	14:50	24,68
13	15:00	24,64
14	15:10	24,62
15	15:20	24,60
16	15:30	24,57
17	15:40	24,56
18	15:50	24,51
19	16:00	24,47



**Gambar 4.35** Grafik Hubungan Waktu Pengujian dan Tegangan Baterai



-----Halaman ini sengaja dikosongkan-----

## **BAB V**

### **PENUTUP**

Dari hasil pengujian sistem pengaturan pembangkit listrik tenaga angin dan surya menggunakan NI myRIO, dapat diambil kesimpulan bahwa pada turbin angin dibutuhkan jumlah putaran generator sebanyak 1439 rpm untuk menghasilkan tegangan sebesar 15 volt.

Selanjutnya, pada pengujian panel surya dapat disimpulkan bahwa tegangan yang dihasilkan panel surya bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterima, dimana semakin tinggi intensitas cahaya maka semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan oleh panel surya. Kenaikan 60 Lux intensitas cahaya setara dengan 0,5 Volt.

Pada pengujian rangkaian *boost converter*, disimpulkan bahwa keluaran tegangan telah sesuai dengan parameter pengisian baterai, yakni tegangan sebesar 28,8 Volt dan arus pengisian 1,28 Ampere. Seperti pada bagian perancangan *boost converter*, parameter tegangan pengisian adalah 120% dari kapasitas baterai dan arus pengisian adalah 20% dari *ampere hours* baterai.

Pada pengujian sistem saat kondisi pengisian, dua buah baterai VRLA (*Valve Regulated Lead Acid*) 12,73 Volt dihubungkan secara seri dan menghasilkan tegangan 25,46 Volt. Dapat disimpulkan bahwa baterai secara otomatis mulai diisi apabila telah mencapai 60 % dari kapasitasnya, yaitu sebesar 24,48 Volt sesuai dengan *state of charge* baterai. Kemudian sistem secara otomatis akan memutus proses pengisian ulang baterai saat arus pengisian sebesar 1,28 Ampere yang membutuhkan waktu 30 menit. Pada pengujian sistem saat kondisi mencatu beban, dapat disimpulkan bahwa baterai mampu mencatu beban berupa lampu LED 24 Volt DC 7 Watt serta rangkaian elektrik seperti NI myRIO, rangkaian *totempole*, dan rangkaian sensor arus selama 3 jam.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dalam perancangan turbin angin harus mempertimbangkan pemilihan komponen seperti jenis bahan baling-baling, perbandingan roda gigi antara baling-baling dengan generator, dan juga jenis generator yang dipakai sesuai dengan data kecepatan angin yang ada pada daerah yang dijadikan tempat pengambilan data, agar saat diimplementasikan dan diuji turbin angin dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih baik. Selain itu, pertimbangan terhadap catu daya rangkaian pengendali juga perlu dilakukan, agar daya tahan baterai dapat meningkat.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahman, A., *Analisis dan Pemetaan Potensi Energi Angin di Indonesia*, Skripsi, Universitas Indonesia, Depok, 2012.
- [2] Yandi, V.R., *Prospek Pengembangan Energi Surya Untuk Kebutuhan Listrik di Indonesia*, *Jurnal Ilmiah*, Vol. 4, No. 1, Politeknik Universitas Andalas, Padang, 2012.
- [3] \_\_\_\_\_, *Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi*, <http://www.alpensteel.com/article/121-107-energi-bio-gas/3701--direktorat-jenderal-listrik-dan-pemanfaatan-energi>. (diakses tanggal 11 Januari 2016)
- [4] Zulviana, A.R., *Battery Charger Dengan Konverter Boost*, *Tugas Akhir*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 2015.
- [5] Saputri, R.W., *Charger Baterai Dengan Konverter Buckboost Untuk Beban Lampu LED*, *Tugas Akhir*, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, 2015.
- [6] Solar Surya Indonesia, *VRLA Baterai*, <http://solarsuryaindonesia.com/info/vrla-baterai> (diakses tanggal 28 Maret 2016)
- [7] Ardiansyah, Z. dan Rahmawaty, *Perancangan Poros Roda Gigi Sebagai Pengatur Gerak Maju Mundur Untuk Mobil Harapan*, *Jurnal Ilmiah*, Vol. 5, No. 001, Sekolah Tinggi Teknik Harapan Medan, Medan, 2014.
- [8] \_\_\_\_\_, *ACS 712: Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*, *Datasheet*, Allegro MicroSystems, LLC., Massachussets, 2013.
- [9] \_\_\_\_\_, *GNM 31: DC Motors with Permanent Magnet Field*, *Datasheet*, ENGEL ElektroMotoren GmbH., Deutsch, Tanpa tahun.
- [10] \_\_\_\_\_, *User Guide & Specification NI myRIO-1900*, National Instruments, Unites States, 2013.
- [11] \_\_\_\_\_, *Panasonic LC-PI27R2P*, *Datasheet*, Panasonic, Tanpa tahun.

- [12] Masruro, R. dan D. Setiawan, **Rancang Bangun Kontroler Baterai Charger Untuk Solar Cell, Tugas Akhir**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [13] Murdoch University, **Photovoltaics**, <http://www.see.murdoch.edu.au/resources/info/Tech/pv/>. (diakses tanggal 22 Mei 2016)
- [14] Barnard, M., **Vertical Axis Wind Turbines: Great In 1890, Also-rans In 2014**, <http://cleantechnica.com/2014/04/07/vertical-axis-wind-turbines-great-1890-also-rans-2014/> (diakses pada 22 Mei 2016)
- [15] Prayogo, R., **Pengaturan PWM (Pulse Width Modulation) Dengan PLC, Tugas Mata Kuliah**, Universitas Brawijaya, Malang, 2012.
- [16] \_\_\_\_\_, **TLP250: TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo-IC, Datasheet**, TOSHIBA, United States, 2007.
- [17] Fajar, R.M dan Avonthea S., **Monitoring Kondisi Baterai dan Solar Cell Pada Lampu Penerangan Menggunakan Android, Tugas Akhir**, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [18] Iskandar, A.P., **Analisa Karakteristik Induktor Toroid Pada Rangkaian Boost Converter, Skripsi**, Universitas Indonesia, Depok, 2012
- [19] Competitive Magnetics, **Tips to obtain better knowledge in current transformer**, <http://www.custompowertransformer.com/tips-in-current.html> (diakses pada 22 Juni 2016)
- [20] \_\_\_\_\_, **Hall Effect Sensor**, <http://www.alselectro.com/hall-effect-sensor.html> (diakses pada 22 Juni 2016)

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Angela A. Roberto  
TTL : Surabaya, 14 November 1995  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Agama : Kristen  
Alamat : Kampung Malang Tengah 1/36  
Telp/HP : 081336045848  
E-mail : angelaaroberto@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2001 – 2007 : SD Negeri Dr. Soetomo VI Surabaya
2. 2007 – 2010 : SMP Negeri 10 Surabaya
3. 2010 – 2013 : SMA Negeri 21 Surabaya
4. 2013 – 2016 : D3 Teknik Elektro Komputer Kontrol - FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

### PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktek di PT. PJB UP Gresik

### PENGALAMAN ORGANISASI

1. Staff Departemen Sosial Masyarakat Periode 2014-2015  
HIMAD3TEKTRO, FTI – ITS
2. Asisten Laboratorium Elektronika Dasar Periode 2015-2016  
D3 Teknik Elektro ITS

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Mustofa Amirullah  
TTL : Bangkalan, 11 Juli 1995  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Agama : Islam  
Alamat : Kamp. Bupanjang 005/005 Kec.  
Arosbaya Kab. Bangkalan -  
Madura  
Telp/HP : 085940305447  
E-mail : mustofaamirullah24@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2001 – 2007 : SD Negeri Tengket 1
2. 2007 – 2010 : SMP Negeri 1 Bangkalan
3. 2010 – 2013 : SMA Negeri 1 Bangkalan
4. 2013 – 2016 : D3 Teknik Elektro Komputer Kontrol - FTI Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

### PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktek di PT. Angkasa Pura II Denpasar, Bali

### PENGALAMAN ORGANISASI

1. Staff Departemen Kewirausahaan Periode 2014-2015  
HIMAD3TEKTRO, FTI – ITS
2. Kepala Divisi *Big Event* Periode 2015-2016  
HIMAD3TEKTRO, FTI – ITS
3. Asisten Laboratorium Elektronika Dasar Periode 2015-2016  
D3 Teknik Elektro ITS