



**TUGAS AKHIR - TF 181801**

**IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PADA  
*BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS)*  
BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK SISTEM  
GENERATOR TURBIN ANGIN**

Adam Gilang Reynaldi  
NRP. 0231 1745 000 055

Dosen Pembimbing :  
Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019





***FINAL PROJECT - TF 181801***

***IMPLEMENTATION OF CONTROL SYSTEM ON  
BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS)  
FOR WIND TURBINE GENERATOR SYSTEM  
BASED ON MICROCONTROLLER***

Adam Gilang Reynaldi  
NRP. 0231 1745 000 055

*Supervisors :*  
Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T

***ENGINEERING PHYSICS DEPARTMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2019***



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME



Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Adam Gilang Reynaldi  
NRP : 02311745000055  
Departemen/ Prodi : Teknik Fisika/ S1 Teknik Fisika  
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri  
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Impelementasi Sistem Kontrol Pada *Battery Energy Storage System* (BESS) Berbasis Mikrokontroler Untuk Sistem Generator Turbin Angin.” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 30 Juli 2019

yataan,  
  
  
Adam Gilang Reynaldi  
NRP. 02311745000055



**LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR**

**IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PADA *BATTERY  
ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS)* BERBASIS  
MIKROKONTROLER UNTUK SISTEM GENERATOR  
TURBIN ANGIN**

Oleh:

Adam Gilang Reynaldi  
NRP. 02311745000055

Surabaya, 30 Juli 2019

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing



Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T  
NIPN. 19760523 200012 2 001

Mengetahui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, S.T., M.Si., Ph.D.  
NIPN. 19780902 200312 1 002





**IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PADA BATTERY  
ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS) BERBASIS  
MIKROKONTROLER UNTUK SISTEM GENERATOR  
TURBIN ANGIN**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu  
Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ADAM GILANG REYNALDI**  
**NRP. 02311745000055**

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Katherin Indriwati, S.T., M.T. .... (Pembimbing I)
2. Dr. Bambang Lelono, S.T., M.T. .... (Penguji I)
3. Ir. Yaumar, M.T. .... (Penguji II)
4. Ir. Wiratno Argo Asmoro, MSc .... (Penguji III)

**SURABAYA  
JULI 2019**



# IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL PADA *BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS)* BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK SISTEM GENERATOR TURBIN ANGIN

**Nama** : Adam Gilang Reynaldi  
**NRP** : 02311745000055  
**Departemen** : Teknik Fisika FTI – ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T

## Abstrak

Pada sistem generator turbin angin, daya yang dihasilkan bergantung kepada kecepatan angin yang menggerakkan turbin. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk mengatasi fluktuasi kecepatan angin adalah dengan memanfaatkan *energy storage system* (ESS) terutama *battery energy storage system* (BESS). Batas arus dan tegangan pengisian baterai yang tidak dikontrol dapat menyebabkan kerusakan pada baterai. Pada penelitian ini, membangun *battery energy storage system* (BESS) menggunakan *boost converter* dengan *controller* PI dengan besar gain  $K_p$  yaitu 150 dan  $K_i$  sebesar 22,653, kemudian membuat sistem proteksi yang terdiri dari relay untuk menghindari *overcharging*.  $\Delta V$  antara nilai kecepatan angin dengan pemberian setpoint akan mempengaruhi kinerja sistem. Semakin kecil  $\Delta V$  yang terjadi atau jauh penyimpangannya dari  $\Delta V$  desain, maka *ripple* tegangan *output* akan besar. Sumber generator turbin angin dengan pemberian beban 12  $\Omega$  menarik arus 180 mA dengan tegangan *output* sekitar 4 volt, beban motor dc menarik arus hingga 70 mA dengan tegangan 9 volt, dan arus pengisian baterai sekitar 40 mA dan tegangan pengisian diantara 12,8 volt hingga 13,43 volt dengan kecepatan angin 7 m/s. Rangkaian proteksi berfungsi dengan memberikan logika *high* pada saat kondisi maksimum tegangan baterai 13,65 volt untuk menghindari *overcharging*.

Kata Kunci : Sistem Turbin Angin, *Battery Energy Storage System* (BESS), Kontroler, *Overcharging*.



# **IMPLEMENTATION OF CONTROL SYSTEM ON BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS) FOR WIND TURBINE GENERATOR SYSTEM BASED ON MICROCONTROLLER**

**Student's Name** : Adam Gilang Reynaldi  
**NRP** : 02311745000055  
**Department** : Engineering Physics FTI – ITS  
**Supervisor** : Dr. Katherin Indriawati, S.T, M.T

## **Abstract**

*In a wind turbine generator system, the power generated depends on the wind speed that drives the turbine. One of method that can be used to overcome wind speed fluctuations is to utilize energy storage systems (ESS), especially battery energy storage system (BESS). Uncontrolled current and battery charging limits can cause damage to the battery. In this study, building a battery energy storage system (BESS) uses a boost converter with a PI controller with a gain of  $K_p$  is 150 and  $K_i$  is 22,653, then makes a protection system consisting of relays to avoid overcharging. The  $\Delta V$  between the value of wind speed and giving a setpoint will affect system performance. The smaller the  $\Delta V$  occurs or the deviation is far from  $\Delta V$  design, then the output voltage ripple will be large. The source of a wind turbine generator with a load of  $12 \Omega$  draws a current of 180 mA with an output voltage of about 4 volts, dc motor load draws currents up to 70 mA with a voltage of 9 volts, and the battery charging current is around 40 mA and the charging voltage is between 12,8 volts to 13,43 volts with a wind speed of 7 m/s. The protection circuit functions by providing high logic when the maximum battery voltage is 13,65 volts to avoid overcharging.*

*Keywords: Wind turbine system, Battery Energy Storage System (BESS), controller, overcharging.*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan kekuatan lahir maupun batin kepada saya selaku penulis, serta melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita, khususnya kepada penulis karena atas izin dan karunia-Nya lah penulis diberi kemudahan dan kelancaran dalam melaksanakan tugas akhir serta menyelesaikan laporan dengan judul “Impelementasi Sistem Kontrol Pada *Battery Energy Storage System* (BESS) Berbasis Mikrokontroler Untuk Sistem Turbin Angin” yang dapat terselesaikan dengan baik.

Dalam pelaksanaan tugas akhir dan penulisan laporan ini penulis banyak dibantu oleh beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis tidak lupa untuk mengucapkan terima kasih kepada pihak yang terlibat secara langsung maupun secara tidak langsung, khususnya penulis mengucapkan terima kasih kepada:

- a. Ayah, ibu dan adik-adik tercinta sebagai sumber semangat dan kekuatan yang selalu memberikan dukungan moril maupun materiil dengan sepenuh hati dan tulus kepada penulis.
- b. Agus Muhammad Hatta, ST., M.Si., PhD. sebagai ketua Departemen Teknik Fisika FTI ITS
- c. Dr. Katherin, Indriawati, S.T, M.T sebagai dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
- d. Dr. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes selaku dosen wali yang banyak memberikan nasihat, saran, dan arahan kepada penulis.
- e. Dr. Katherin, Indriawati, S.T, M.T selaku kepala Laboratorium Fisika Rekayasa Teknik Fisika FTI ITS yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan simulasi.
- f. Seluruh bapak dan ibu dosen yang telah banyak memberikan ilmu selama masa perkuliahan.

- g. Mufit, Satria, Haryo, yang berbagi ilmu dan pengalaman selama tugas akhir.
- h. Seluruh teman seperjuangan di lintas jalur Teknik Fisika atas segala dukungan, semangat dan kebersamaan yang selalu terjalin.
- i. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu

Penulis menyadari masih terdapat banyak kesalahan dan kekurangan dalam penyusunan maupun penyajian laporan ini baik dari segi materi yang disampaikan maupun teknis penulisan, mengingat keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar pada masa yang akan datang penulis dapat menjadi lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan membawa ilmu pengetahuan umumnya bagi semua pembaca dan khususnya bagi penulis.

Surabaya, Juli 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
TITLE OF PAGE .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME .....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
LEMBAR PENGESAHAN II.....	ix
Abstrak .....	xi
<i>Abstract</i> .....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TEORI PENUNJANG.....	5
2.1 Turbin Angin .....	5
2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal.....	5
2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	6
2.4 Komponen-Komponen Turbin Angin .....	7
2.5 DC-DC Konverter .....	9
2.6 <i>Boost</i> Konverter.....	10
2.7 <i>Battery Energy Storage System</i> (BESS).....	13
2.8 Karakteristik Baterai.....	15
2.9 Kontrol PID .....	17
2.10 Mikrokontroler Atmega 328 (Arduino).....	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	21
3.1 Perancangan <i>boost converter</i> .....	23
3.2 Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan .....	26
3.3 Perancangan Sensor Arus .....	27
3.4 Perancangan <i>Monitoring State of Charge</i> .....	28
3.5 Perancangan Sistem Kontrol .....	28

3.6	<i>Setting Port</i> Mikrokontroler .....	30
3.7	Perancangan Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ).....	32
3.8	Perancangan Program Keseluruhan.....	37
3.9	Penerapan BESS Sistem Generator Turbin Angin .....	39
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....		41
4.1	Pengujian Sensor Tegangan dan Arus .....	41
4.2	Hasil Pengujian <i>Boost Converter</i> .....	43
4.3	Hasil Sistem Kontrol .....	44
4.4	Hasil Rangkaian Proteksi.....	49
BAB V PENUTUP .....		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran .....	55
REFERENSI.....		57
LAMPIRAN .....		59

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Energy Consumption [4] .....	1
Gambar 2.1	Turbin Angin <i>Horizontal</i> dan <i>Vertical</i> [9] .....	5
Gambar 2.2	Komponen Penyusun Turbin Angin [10] .....	7
Gambar 2.3	DC-DC Konverter [12].....	9
Gambar 2.4	<i>Boost converter</i> [18].....	10
Gambar 2.5	<i>Mode Switch ON</i> [18].....	11
Gambar 2.6	<i>Mode Switch Off</i> [18] .....	12
Gambar 2.7	<i>Boost converter waveforms (a) inductor voltage; (b) inductor current; (c) diode current; (d) capacitor current</i> [16] .....	13
Gambar 2.8	Jenis-jenis Baterai [17].....	14
Gambar 2.9	Komponen Utama Baterai [17] .....	15
Gambar 2.10	Proses SOC dan DOD [21].....	17
Gambar 2.11	Blok diagram kontrol PID [23] .....	19
Gambar 2.12	Arduino Atmega 328 [24] .....	20
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir .....	22
Gambar 3.2	Rangkaian Referensi [30].....	25
Gambar 3.3	Rangkaian pembagi tegangan.....	26
Gambar 3.4	Rangkaian Sensor Arus .....	27
Gambar 3.5	Blok Diagram Sistem .....	29
Gambar 3.6	Schematic Rangkaian Keseluruhan .....	31
Gambar 3.7	Desain Board PCB .....	32
Gambar 3.8	Desain 3D Rangkaian.....	32
Gambar 3.9	Flowchart Pembangkit PWM .....	33
Gambar 3.10	<i>Flowchart</i> Pembacaan Sensor Tegangan .....	35
Gambar 3.11	<i>Flowchart</i> Pembacaan Sensor Arus .....	36
Gambar 3.12	<i>Flowchart</i> program keseluruh sistem kontrol pada <i>battery energy system storage (BESS)</i> .....	38
Gambar 3.13	Skema sistem secara keseluruhan .....	39
Gambar 4.1	Hubungan antara tegangan <i>output</i> dari sensor tegangan terhadap nilai analog .....	42
Gambar 4.2	Hubungan antara arus <i>output</i> dari sensor tegangan terhadap nilai analog .....	43

Gambar 4.3	Respon tegangan <i>output boost converter</i> terhadap kenaikan nilai PWM.....	44
Gambar 4.4	Respon tegangan <i>output</i> konverter pada kecepatan angin 5 m/s saat terjadi perubahan setpoint.....	46
Gambar 4.5	Respon tegangan <i>output</i> konverter pada kecepatan angin 6 m/s saat terjadi perubahan setpoint.....	46
Gambar 4.6	Respon tegangan <i>output</i> konverter pada kecepatan angin 7 m/s saat terjadi perubahan setpoint.....	47
Gambar 4.7	Respon tegangan <i>output converter</i> pada kecepatan angin yang berbeda dengan setpoint 14 volt. ....	48
Gambar 4.8	Respon arus pengisian baterai dengan kecepatan berbeda pada setpoint 14 volt. ....	50
Gambar 4.9	Respon arus <i>input</i> pada <i>boost converter</i> .....	50
Gambar 4.10	Respon tegangan <i>output converter</i> pada kecepatan 7 m/s .....	51

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Peralatan yang digunakan dalam perancangan .....	23
Tabel 4.1	Data Tegangan Referensi .....	41
Tabel 4.2	Data Arus Referensi .....	42
Tabel 4.3	<i>Voutput</i> pada tiap kecepatan .....	45
Tabel 4.4	<i>Charging</i> baterai sumber turbin angin .....	49
Tabel 4.5	<i>Charging</i> baterai sumber <i>power supply</i> .....	52

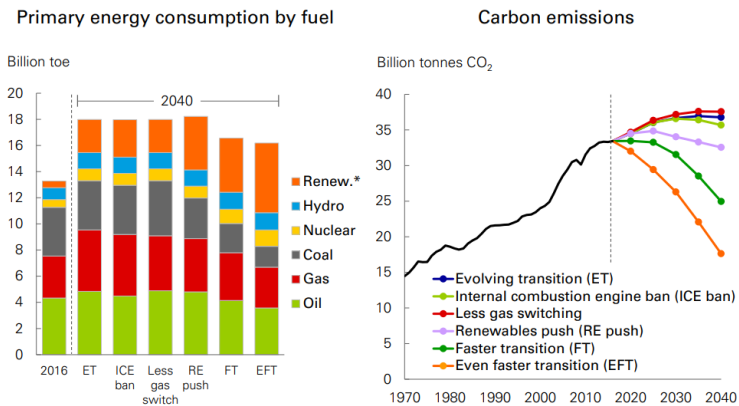
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sumber daya energi terbarukan adalah energi yang dihasilkan dari sumber daya alam seperti angin, sinar matahari, air pasang, hidro, biomassa, dan panas bumi yang secara alami diisi ulang. Krisis energi, perubahan iklim seperti naiknya suhu atmosfer akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca dan pembatasan Protokol Kyoto dalam pembuatan gas-gas ini, ditambah dengan harga minyak yang tinggi, pembatasan dan penipisan cadangan bahan bakar fosil membuat energi terbarukan lebih terlihat [1].

Dengan kondisi yang ada, penggunaan energi baru terbarukan (EBT) sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik yang ada di Indonesia cukup besar. Berdasarkan kebijakan energi nasional pemenuhan akan kebutuhan energi nasional dari sektor energi baru terbarukan (EBT) ditargetkan sebesar 23 % hingga 2025 [2]. Diantara sumber daya energi terbarukan, *wind turbine* memiliki sumber energi yang tumbuh paling cepat di dunia (dengan laju 30% per tahun) di banyak negara maju dan berkembang selama 20 tahun terakhir [3] seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Energy Consumption [4]

Perubahan iklim dunia (*global climate change*) yang efeknya telah nyata sebagai efek gas rumah kaca, telah menimbulkan keresahan masyarakat dunia. Hal ini disebabkan dari berbagai macam faktor diantaranya, sebagai akibat bahan bakar fosil. Salah satu cara untuk mengurangi masalah efek rumah kaca di atas adalah dengan *improve* penggunaan energi terbarukan, seperti energi surya dan turbin angin sebagai sumber pengisi baterai.

Perangkat BCCU (*battery charge control unit*) sangat penting dalam menentukan kehandalan untuk menyuplai daya yang dihasilkan *solar cell* dan *wind turbine*. Selain berfungsi sebagai sistem proteksi dari *overcharging* dan *over voltage* juga harus dapat menstabilkan tegangan output. Ini dikarenakan radiasi matahari yang tidak stabil, kemudian kecepatan angin yang fluktuatif akan menghasilkan tegangan *output* yang tidak konstan. BCCU yang dapat menstabilkan tegangan *output* akan sangat berguna ketika radiasi matahari dan kecepatan angin sering mengalami perubahan [5]. Pentingnya pengontrol pengisian / pengosongan dalam sistem otonom seperti sistem fotovoltaiik atau turbin ini harus dilakukan dengan sangat hati-hati agar memenuhi persyaratan untuk kehandalan, kesederhanaan, portabilitas, dan biaya [6].

Teknologi pengisian baterai sendiri dapat dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu *slow charge*, *rapid charge*, *fast charge*, dan *ultra-fast charge* [7]. Namun, proses *charge-discharge* pada baterai jenis *Valve-Regulated Lead-Acid* tipe gel (VRLA gel) dengan waktu yang cepat tidak sepenuhnya menguntungkan karena memiliki dampak negatif bagi baterai, antara lain dapat memperpendek usia baterai akibat *overcharge* dan *overdischarge* dari proses *charge-discharge* baterai yang kurang diperhatikan[8]. Pengukuran *state of charge* yang akurat sangat diperlukan, sehingga mampu mengetahui sisa kapasitas baterai. Oleh karena itu, dibuatlah tugas akhir mengenai implemmentasi sistem kontrol pada *battery energy storage system* (BESS) berbasis mikrokontroler untuk sistem generator turbin angin.



## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

- a. Bagaimana membangun *battery energy storage system* (BESS) menggunakan *boost* konverter dengan *controller* PI untuk pengisian baterai ?
- b. Bagaimana cara mengukur *state of charge* (SOC) pada baterai *lead acid* ?

## 1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan yang ingin dicapai dari tugas akhir ini sebagai berikut :

- a. Mengetahui parameter komponen-komponen elektronika pada rangkaian *boost* konverter dan mengendalikan tegangan output menjadi konstan dengan *controller* PI guna menghindari *over voltage*, *overcharge*.
- b. Melakukan pengukuran *state of charge* (SOC) untuk mengetahui kapasitas baterai yang ada.

## 1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini antara lain :

- a. Turbin angin yang digunakan adalah skala laboratorium
- b. Turbin angin yang digunakan jenis horizontal axis
- c. Pengisian yang dilakukan menggunakan baterai *lead-acid* dengan spesifikasi panasonic LC-R127R2CH dengan tegangan 12 V 7.2 Ah
- d. Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino uno
- e. Tegangan masukan untuk *boost* konverter sebesar 1 sampai 9 Vdc

## 1.5 Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini terdiri dari lima bab dan dilengkapi dengan daftar pustaka. Secara garis besar, sistematika dari penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. BAB I PENDAHULUAN

Pada bab I ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan

b. **BAB II DASAR TEORI**

Pada bab II ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, seperti turbin angin, baterai, dc konverter, kontrol PI

c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab III ini berisi mengenai rancangan dari penelitian yang dilakukan, metode, dan langkah-langkah dalam penelitian

d. **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

Pada bab IV ini berisi tentang analisa hasil perancangan sistem kontrol pada *Battery Energy Storage System (BESS)*.

e. **BAB V PENUTUP**

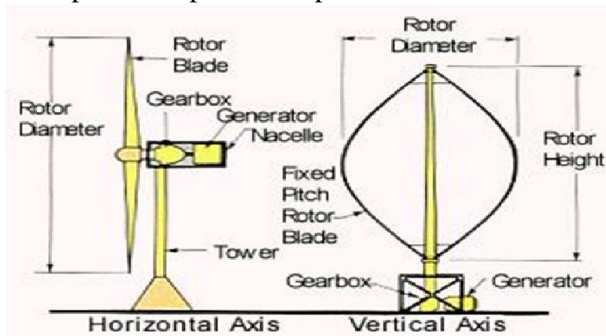
Pada bab V ini diberikan kesimpulan tentang tugas akhir yang telah dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh, serta diberikan saran sebagai penunjang dalam pengembangan tugas akhir selanjutnya.

## BAB II TEORI PENUNJANG

### 2.1 Turbin Angin

Turbin angin merupakan satu bagian terpenting pembangkit listrik tenaga angin. Turbin angin adalah komponen mekanik yang mengkonversikan kecepatan angin menjadi daya poros. Turbin angin mempunyai sudu dengan bentuk irisan melintang khusus dimana aliran udara pada salah satu sisinya dapat bergerak lebih cepat dari aliran udara disisi yang lain ketika angin melewatinya. Fenomena ini menimbulkan daerah tekanan rendah pada belakang sudu dan daerah tekanan tinggi di depan sudu. Perbedaan tekanan ini membentuk gaya yang menyebabkan sudu berputar.

Turbin angin dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan arah sumbu, yaitu : vertikal dan horizontal. Perbedaan kedua kelompok ini dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Turbin Angin *Horizontal* dan *Vertical* [9]

### 2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal disingkat TASH memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang dihubungkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki

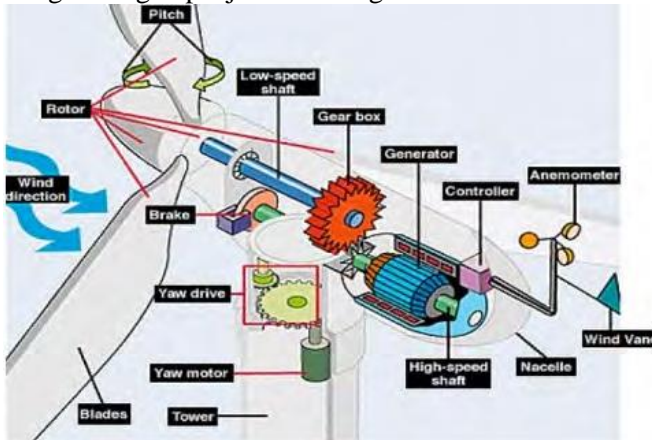
sebuah roda gigi yang mengubah putaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi pada bagian belakang maka turbin diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan. Sebagian besar TASH merupakan mesin upwind (melawan arah angin) untuk meminimalkan dampak turbulensi yang dapat menyebabkan kerusakan struktur menara dan realibilitas [10].

### **2.3 Turbin Angin Sumbu Vertikal**

Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki poros atau sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna ditempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta roda gigi bisa ditempatkan di dekat tanah. Sehingga, menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Disisi lain, sejumlah desai TASV menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (daya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) dapat ditimbulkan saat kincir berputar. Kecepatan angin lebih pelan pada ketinggian yang rendah sehingga menghasilkan energi angin yang rendah. Aliran udara di dekat tanah dan obyek yang lain mampu menciptakan aliran yang bergolak, yan bisa menyebabkan berbagai permasalahan yang berkaitan dengan getaran, diantaranya kebisingan dan bearing wear yang akan meningkatkan biaya pemeliharaan atau mempersingkat umur turbin angin. Jika tinggi puncak atap yang dipasang menara turbin kira-kira 50 persen dari tinggi bangunan dan merupakan titik optimal bagi energi angin maksimal dan turbulensi angin minimal [10].

## 2.4 Komponen-Komponen Turbin Angin

Pada Gambar 2.2 ditunjukkan bagian-bagian penyusun dari turbin angin dengan penjelasan sebagai berikut :



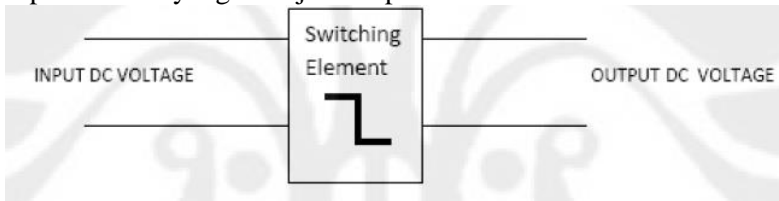
Gambar 2.2 Komponen Penyusun Turbin Angin [10]

- Anemometer : mengukur kecepatan angin dan mengirim data angin ke alat pengontrol
- Blades (bilah kipas) : kebanyakan turbin angin mempunyai 2 atau 3 bilah kipas. Angin yang menghembus menyebabkan turbin terus berputar
- Brake (rem) : suatu rem cakram yang dapat digerakkan secara mekanis dengan bantuan tenaga listrik atau hidrolik untuk menghentikan rotor atau saat keadaan darurat
- Controller (alat pengontrol) : alat pengontrol ini menstart turbin angin pada kecepatan angin kira-kira 12-25 km/jam, dan kemudian mematikannya pada kecepatan 90 km/jam. Turbin tidak beroperasi di atas 90 km/jam. Hal ini dikarenakan tiupan angin yang terlalu kencang dapat merusakannya
- Gear box (roda gigi): roda gigi menaikkan putaran dari 30-60 rpm menjadi sekitar 1000-1800 rpm. Ini merupakan tingkat putaran standar yang disyaratkan untuk memutar generator listrik.

- Generator : pembangkit listrik, biasanya sekarang disebut alternator arus bolak balik
- High speed shaft (poros putaran tinggi) ; berfungsi untuk menggerakkan generator
- Low speed shaft (poros putaran rendah) : poros turbin yang berputar kira-kira 30-60 rpm
- Nacelle (rumah mesin) : rumah mesin ini terletak di atas menara. Di dalamnya berisi gearbox, poros putaran tinggi / rendah, generator, alat pengontrol, dan alat pengereman.
- Pitch (sudut bilah kipas): bilah kipas dapat diatur sudutnya sesuai dengan kecepatan rotor yang dikehendakinya. Tergantung kondisi angin yang terlalu rendah atau terlalu kencang
- Rotor : bilah kipas bersama porosnya dinamakan rotor
- Tower (menara) : menara bisa dibuat dari pipa baja, beton, ataupun rangka besi. Karena kencangnya angin bertambah dengan seiring dengan bertambahnya ketinggian, maka makin tinggi menara makin besar tenaga angin yang didapat.
- Wind direction (arah angin) : turbin yang menghadap angin. Desain turbin lain ada yang mendapat hembusan angin dari belakang
- Wind vane (tebeng angin) : mengukur arah angin, berhubungan dengan penggerak arah yang memutar arah turbin disesuaikan dengan arah angin
- Yaw drive ( penggerak arah) : penggerak arah memutar turbin angin ke arah angin untuk desain turbin yang menghadap angin. Untuk desain turbin yang mendapat hembusan angin dari belakang tak memerlukan alat ini.
- Yaw motor (motor penggerak arah): motor listrik yang menggerakkan yaw drive
- Converter : alat pengubah tegangan menjadi tegangan yang lebih tinggi atau yang lebih rendah [11]

## 2.5 DC-DC Konverter

Dc-dc konverter merupakan rangkaian elektronika *power* untuk mengubah suatu masukan tegangan dc menjadi tegangan dc keluaran dengan nilai yang lebih besar atau kecil dari tegangan masukannya . Rangkaian dc-dc konverter salah satunya merupakan *switched-mode* dc-dc konverter, atau biasa disebut dengan *switching power supply*. Tegangan dc masukan dari proses dc-dc konverter tersebut berasal dari sumber tegangan dc yang biasanya memiliki tegangan masukan yang tetap atau berubah-ubah. Pada dasarnya, tegangan keluaran dc yang ingin dicapai adalah dengan cara pengaturan lama waktu perhubungan antara sisi keluaran dan sisi masukan pada rangkaian yang sama. Dc-dc konverter terutama digunakan untuk menyediakan catu daya dc dengan tegangan *output* yang dapat disesuaikan, untuk penggunaan umum [12] seperti skema yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 DC-DC Konverter [12]

Dasar *switching power supply* terdiri dari tiga topologi yaitu *buck (step down)*, *boost (step up)*, dan *buck boost (step up/down)*. Ketiga rangkaian dasar *switching power supply* ini merupakan *noninsolated* dc-dc konverter dimana masukan dan keluaran dengan *grounding* yang sama. Pada dasarnya, ada cara untuk meregulasi tegangan pada *switching power supply*, yaitu dengan *pulse width modulation (PWM)* [13].

- *Pulse Width Modulation (PWM)* merupakan suatu metode pengaturan tegangan dengan mengubah atau mengatur *periode on (TON)* pada tegangan berfrekuensi dengan merubah frekuensi yang tetap sama. Siklus kerja ini didapatkan dari perbandingan antara lamanya tegangan pada nilai maksimum (TON) dengan lamanya tegangan pada nilai minimum atau nol (TOFF) dan biasa disebut dengan *duty*

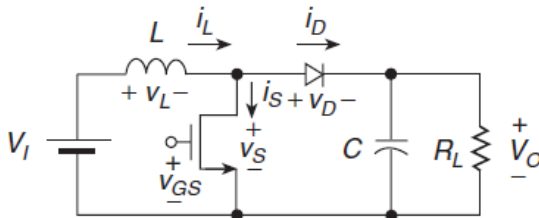
cycle (D). Untuk menentukan besarnya duty cycle digunakan persamaan

$$\text{duty cycle } (D) = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T} = T_{on} \cdot F \quad (2.1)$$

## 2.6 Boost Konverter

*Boost* konverter (*Step-Up Converter*) merupakan dc-dc konverter yang menghasilkan tegangan *output* yang jauh lebih besar dari tegangan *input*-nya. *Boost* konverter ini termasuk ke dalam rangkaian *Switched Mode Power Supply* (SMPS) yang setidaknya terdapat komponen *switch* semikonduktor seperti mosfet serta satu komponen penyimpan energi seperti kapasitor atau induktor atau kombinasi keduanya [14]

Induktor nantinya akan berfugsi untuk menyimpan energi listrik yang akan disalurkan ke beban. Tegangan pada beban adalah hasil dari tegangan masukan ditambah dengan energi yang tersimpan pada induktor, sehingga tegangan keluaran *boost* konverter menjadi lebih besar dari pada tegangan masukannya [15]. Skema gambar *boost* konverter ditunjukkan pada Gambar 2.2



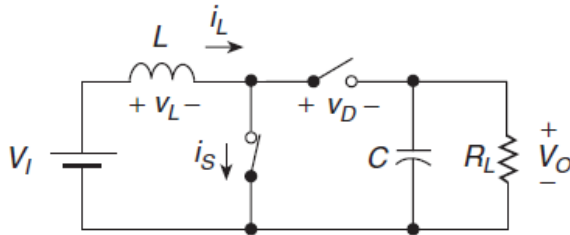
Gambar 2.4 *Boost* konverter [18]

Prinsip dc-dc konverter tipe *boost* dapat dibagi menjadi 2 kerja utama :

a. Saklar ON (Time Interval  $0 < t \leq DT$ )

Saat saklar atau *switch* mosfet pada kondisi tertutup dan dioda OFF atau (TON) seperti ditunjukkan Gambar 2.5, arus akan mengalir ke induktor sehingga menyebabkan energi akan tersimpan di induktor.





Gambar 2.5 Mode Switch ON [18]

$$\text{duty cycle } (D) = \frac{T_{on}}{T_{on} + T_{off}} = \frac{T_{on}}{T} = T_{on} \cdot F \quad (2.2)$$

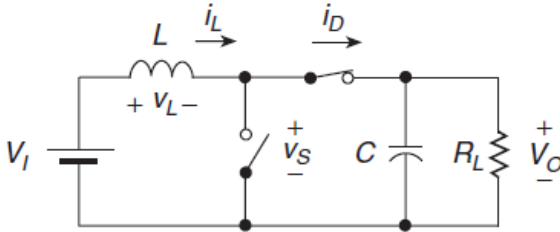
$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (2.3)$$

Sehingga  $\Delta i_L$  untuk *switch closed*,

$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.4)$$

b. Saklar OFF (Time Interval  $DT < t \leq T$ )

Saat saklar atau *switch* mosfet pada kondisi terbuka dan dioda ON atau (TOFF), arus induktor ini akan mengalir menuju beban melewati dioda sehingga energi yang tersimpan di induktor akan menurun. Jika dilihat pada Gambar 2.6, saat TOFF, beban akan disuplai oleh tegangan sumber ditambah dengan tegangan induktor yang sedang melepaskan energinya. Kondisi ini yang menyebabkan tegangan keluaran menjadi lebih besar dibandingkan dengan tegangan masukannya. Rasio antara tegangan keluaran dan tegangan masukan konverter ini sebanding dengan rasio antara periode penyaklaran dan waktu pembukaan saklar.



Gambar 2.6 Mode Switch Off [18]

$$V_L = V_s - V_0 = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.5)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_0}{L} \quad (2.6)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_0}{L} \quad (2.7)$$

Sehingga  $\Delta i_L$  untuk *switch open*

$$(\Delta i_L)_{open} = \frac{V_s - V_0(1-D)T}{L} \quad (2.8)$$

Rasio antara tegangan keluran dan tegangan masukan sebanding dengan rasio antara periode pensaklaran dan waktu pembukaan saklar, yang disebut dengan *duty cycle*. Jika  $D = \text{duty cycle}$ , maka hubungan antara tegangan masukan  $V_s$  dan tegangan keluran  $V_0$  dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$(\Delta i_L)_{closed} + (\Delta i_L)_{open} = 0 \quad (2.9)$$

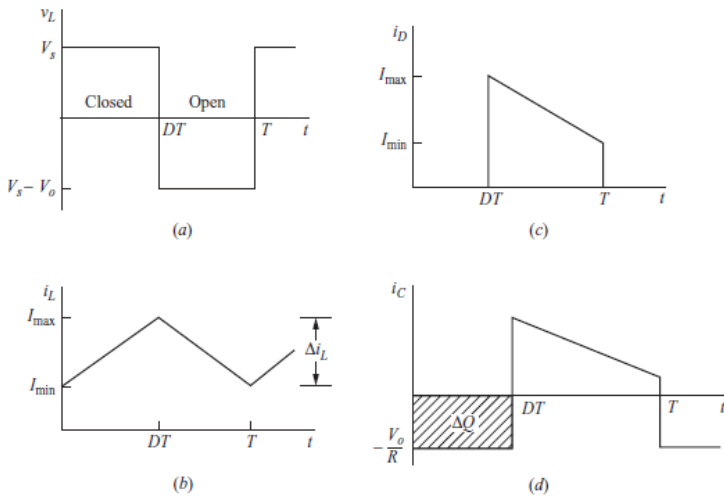
$$\frac{V_s DT}{L} = \frac{V_s - V_0(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.10)$$

Sehingga  $V_0$ ,

$$V_s(D + 1 - D) - V_o(1 - D) = 0 \quad (2.11)$$

$$V_o = \frac{V_s}{1 - D} \quad (2.12)$$

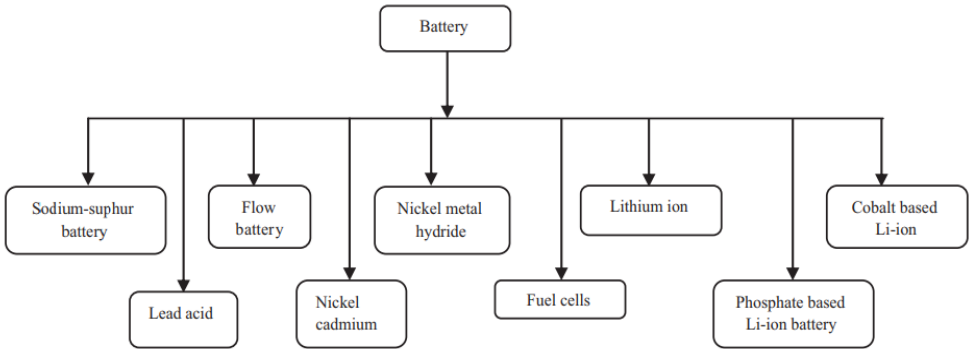
Gambar 2.7 menunjukkan bentuk gelombang dari *boost converter* yang terukur pada arus induktor, arus dioda, dan arus kapasitor.



Gambar 2.7 *Boost converter waveforms* (a) *inductor voltage*; (b) *inductor current*; (c) *diode current*; (d) *capacitor current* [16]

## 2.7 *Battery Energy Storage System (BESS)*

*Battery energy storage system* adalah sistem yang menyimpan energi melalui penggunaan teknologi baterai agar dapat digunakan dilain waktu. Jenis baterai ditunjukkan pada Gambar 2.8.



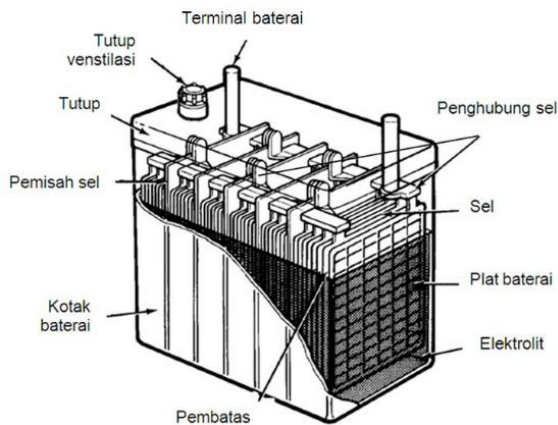
Gambar 2.8 Jenis-jenis Baterai [17]

Baterai merupakan sebuah peralatan yang dapat mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik saat proses *discharging* dan juga kebalikannya, yaitu dari energi listrik menjadi energi kimia saat proses pengisian (*charging*) [17]. Pada umumnya baterai terdiri dari 2 atau lebih sel elektrokimia yang dapat mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif (katoda) dan kutub negatif (anoda). Kutub yang bertanda positif menandakan bahwa pada kutub tersebut memiliki energi potensial yang lebih tinggi daripada kutub bertanda negatif. Kutub bertanda negatif adalah sumber elektron yang ketika disambungkan dengan rangkaian eksternal akan mengalir dan memberikan energi ke peralatan eksternal. Ketika baterai dihubungkan dengan rangkaian eksternal, elektrolit dapat berpindah sebagai ion di dalamnya, sehingga terjadi reaksi kimia pada kedua kutubnya. Perpindahan ion dalam baterai akan mengalirkan arus listrik keluar dari baterai sehingga menghasilkan kerja [18].

Baterai memiliki dua sifat keadaan yaitu baterai primer hanya bisa satu kali pakai, sedangkan baterai sekunder adalah baterai yang dapat digunakan berulang-ulang (*rechargeable battery*) dengan cara diisi ulang saat dayanya mulai habis [19]. Salah satu jenis baterai sekunder yang banyak digunakan yakni baterai *lead acid*. Penggunaan baterai telah diterapkan di berbagai macam

aplikasi seperti peralatan elektronik, kendaraan listrik hybrid, sistem jaringan nirkabel, dll.

Teknologi sistem penyimpanan energi sangat kompleks dan digunakan dalam sistem pembangkit. Pemanfaatan energi terbarukan seperti angin, dapat diterapkan ke sistem pembangkit dimana daya yang diperoleh fluktuatif dipengaruhi oleh kecepatan angin sekitar. Peran baterai sebagai penyimpanan energi akan membantu untuk menyeimbangkan pendistribusian daya dalam sistem pembangkit tersebut [17]



Gambar 2.9 Komponen Utama Baterai [17]

## 2.8 Karakteristik Baterai

Beberapa parameter penting mengenai kinerja baterai yaitu sebagai berikut :

### a. Kapasitas Baterai (*Battery Capacity*)

Kapasitas baterai dapat dinyatakan dalam ampere-hour (Ah) atau ditunjukkan berapa banyak energi yang tersimpan di dalam baterai. Jumlah energi yang dapat disalurkan oleh baterai yang terisi penuh saat proses *discharge* bergantung pada suhu, *rate of discharge*, *lifespan* dan jenis baterai. Terdapat 3 parameter utama yang digunakan untuk menunjukkan kapasitas dari baterai, yaitu :

- *Ampere-hour* (Ah) : besarnya laju arus yang digunakan pada proses *discharge* dalam interval waktu tertentu
- *Reserve capacity* : panjangnya waktu baterai untuk proses *discharge* (dalam menit)
- Kapasitas kWh : besarnya energi yang dibutuhkan untuk mengisi penuh baterai yang habis [20]

b. Tegangan baterai

Tegangan terminal saat kondisi operasi dengan istilah tegangan nominal atau tegangan kerja. Nilai tegangan tersebut akan ditentukan oleh manufaktur pembuat baterai yang biasanya bernilai 3V, 6V, 12V, 24V dll. Tegangan baterai saat keadaan *full charged* bergantung pada jumlah sel dan tegangan per selnya. Tegangan baterai akan berkurang saat adanya proses pengosongan atau *discharge*

c. *Self discharge*

*Self discharge* merupakan kapasitas energi baterai yang hilang saat baterai tidak digunakan atau dalam keadaan tanpa beban. Hal tersebut terjadi dikarenakan proses kimia, *self discharge* juga dapat meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Karena itu untuk mengurangi *self discharge* dengan menyimpan baterai pada ruangan yang memiliki suhu rendah suhu pengoperasian.

d. Tingkat Pengisian dan Pengosongan (*C-Rating*)

*C-rating* adalah nilai yang diperoleh dari rasio kapasitas baterai terhadap jumlah jam untuk mengisi baterai hingga penuh ( $C/X$ ) dengan X adalah waktu pengisian baterai hingga penuh dalam jam. Arus pengisian atau arus pengosongan dapat dihitung dengan membagi kapasitas baterai (Ah) dengan total jam pengisian. Jika baterai berkapasitas baterai 50 Ah, maka muatan atau arus yang masuk dan keluar  $50/10 = 5A$  artinya dengan arus 5A dapat mengisi atau mengosongkan baterai selama 10 jam [22]

e. *State of charge*

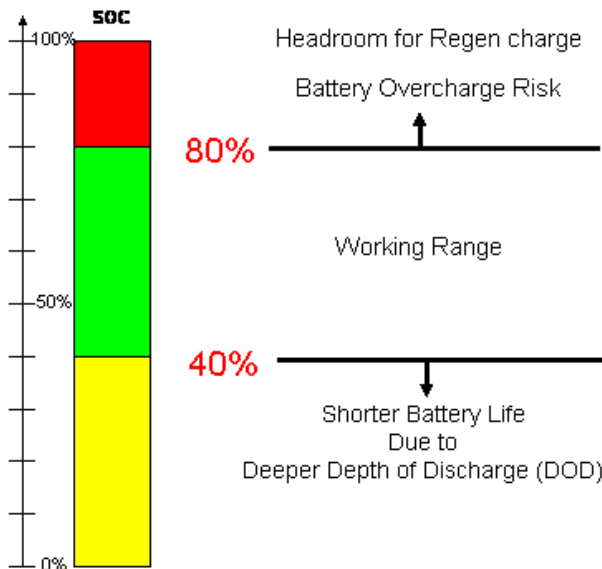
*State of charge* merupakan gambaran sisa kapasitas di dalam sel baterai dengan total kapasitas baterai dalam bentuk persentase (0%-100%). *State of charge* merupakan parameter

penting yang menggambarkan performa baterai. Nilai *state of charge* 0% menunjukkan baterai keadaan kosong dan nilai 100% baterai keadaan *fully charged*

f. *Depth of discharged*

*Depth of discharged* merupakan nilai yang digunakan untuk menunjukkan jumlah kapasitas baterai yang telah digunakan.

*State of charge* dan *depth of discharge* diilustrasikan pada Gambar 2.10. Daerah kapasitas 80 % merupakan keadaan risiko, daerah 40 % ke bawah titik kapasitas *shorter battery life* dan optimalnya ada pada daerah 40 % - 80 %.



Gambar 2.10 Proses SOC dan DOD [21]

## 2.9 Kontrol PID

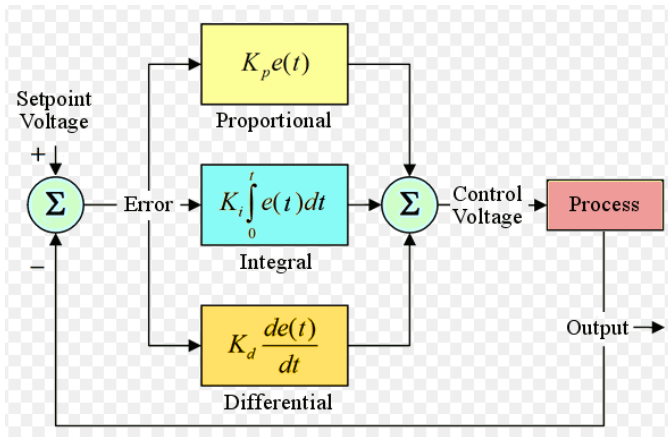
Lebih dari setengah abad, PID telah menjadi tulang punggung keberhasilan pengontrolan beragam variabel proses industri. Kontrol PID dapat dijumpai hampir pada setiap industri yang

bergerak dalam bidang proses. Menurut sebuah survey, dinyatakan bahwa 97 % industri yang bergerak dalam bidang tersebut menggunakan PID dalam pengontrolannya [23]. Luasnya penggunaan kontrol PID pada dasarnya dilatar belakangi beberapa hal, diantaranya :

- Kesederhanaan struktur kontrol : selain hanya ada tiga parameter utama yang perlu diatur atau dilakukan usaha penalaan (*tuning*), pengaruh perubahan setiap parameter PID terhadap dinamika pengontrolan secara intuitif mudah dipahami oleh operator
- Kontrol PID memiliki sejarah yang panjang. Dalam hal ini PID telah digunakan jauh sebelum era digital berkembang
- Kontrol PID dalam banyak kasus telah terbukti menghasilkan unjuk kerja yang relatif memuaskan, baik digunakan sebagai sistem regulator (sistem kontrol dengan set point konstanta dan beban cenderung berubah-ubah) maupun sistem servo (sistem kontrol dengan set point yang berubah dan beban cenderung konstan)

Pada awal penggunaannya, strategi kontrol PID untuk tujuan kontrol proses industri umumnya diimplementasikan dengan menggunakan rangkaian elektronika analog. Bahkan, banyak diantaranya direalisasikan dengan komponen mekanis dan pneumatis murni. Seiring dengan perkembangan dunia digital (terutama mikroprosesor), dewasa ini PID dapat ditemukan dalam berbagai bentuk modul komersil. Mulai dari sekedar modul PID untuk pengontrolan satu jenis variabel proses (*special purpose process controller*), hingga beragam variabel proses (*general purpose process controller*) atau lebih dikenal dengan DCS (*distributed control system*). Bahkan dalam perkembangan terakhir, kontrol PID juga telah banyak ditanamkan pada sistem PLC (*programmable logic controller*). Struktur kontrol PID ideal adalah struktur PID yang umum ditemukan pada sebagian besar buku-buku teks kontrol.





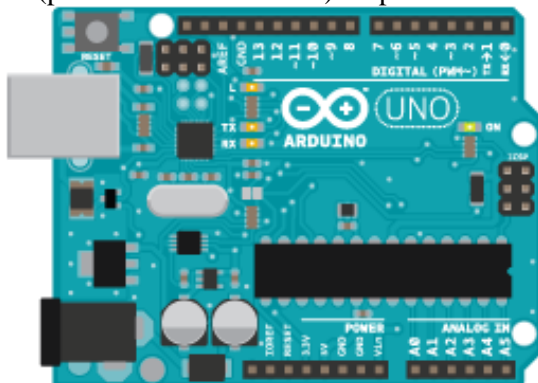
Gambar 2.11 Blok diagram kontrol PID [23]

## 2.10 Mikrokontroler Atmega 328 (Arduino)

Mikrokontroler adalah sebuah komputer kecil disuatu sirkuit terpadu yang berisi tentang inti prosesor, memori dan input/output yang telah diprogram. Program disimpan dalam bentuk RAM, Nor Flash, OTP ROM yang disertakan dalam chip. Salah satu jenis mikrokontroler dari tipe Atmel AVR(8-bit) adalah ATmega 328. ATmega 328 adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (Reduce Instruction Set Computer) yang setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (Completed Instruction Set Computer). Mikrokontroler ini memiliki beberapa fitur antara lain [28] :

- 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam siklus clock
- 32 x 8-bit register
- Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan clock 16 MHZ
- 32 Kb Flash memory dan pada arduino
- Memiliki EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory) sebesar 1 Kb sebagai tempat penyimpanan data meskipun catu daya mati
- Memiliki SRAM (Static Random Access Memory) sebesar 2 Kb

- Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya PWM (pulse width modulation) output



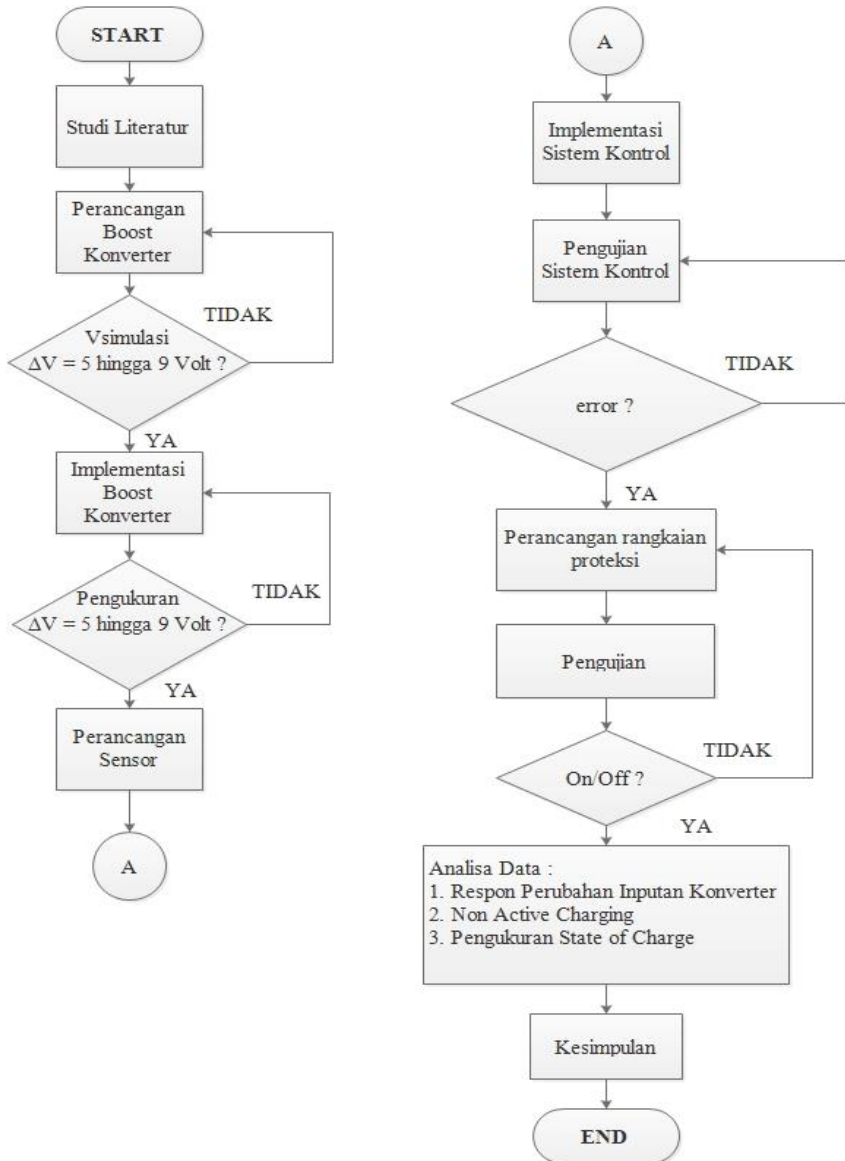
Gambar 2.12 Arduino Atmega 328 [24]

### **BAB III**

## **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini berisi mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan dalam perencanaan dan pembuatan pada sistem kontrol pada *Battery Energy Storage System* (BESS) berbasis mikrokontroler untuk sistem turbin angin. Untuk mencapai tujuan penelitian, maka metodologi yang digunakan dalam judul tugas akhir ini sesuai dengan diagram alir penelitian pada gambar 3.1 yang mendeskripsikan tahapan-tahapan penelitian sebagai berikut :

- Studi literatur diperlukan pada penyusunan tugas akhir untuk dijadikan referensi dalam melakukan pengerjaan dan penyusunan tugas akhir. Pada tahap ini dilakukan studi mengenai beberapa literatur dari referensi *text book, manual book*, serta jurnal-jurnal ilmiah yang memuat materi-materi berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Materi-materi yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir ini yaitu kontrol PID, *dc boost converter, battery energy storage system* (BESS).
- Penjelasan diawali dengan blok fungsional sistem secara keseluruhan yang meliputi proses kerja alat dalam bentuk alur diagram. Perancangan *hardware* yang membahas tentang desain dan pembuatan *hardware/electric* yang mendukung cara kerja alat. Perancangan *hardware/electric* ini dilakukan pada fitur proteus dan eagle sebagai piranti pembuatan rangkaian, serta perancangan perangkat lunak yang meliputi diagram alur program, kemudian pengaplikasian kontrol proportional integral untuk kendali tegangan keluaran *boost converter* dan proteksi pengisian baterai.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

### 3.1 Perancangan *boost converter*

Desain rangkaian *boost converter* menggunakan ic xl6009 sebagai swithcing dalam menaikkan tegangan melalui pengaturan PWM dan frekuensi yang dihasilkan dari mikrokontroler atmega 328 (arduino) secara otomatis. Rangkaian boost konverter digunakan untuk menstep up tegangan dan kontrol *switching* xl 6009 diperlukan untuk menstabilkan tegangan keluar nya, dimana sumber tegangan yang diperoleh dari turbin angin skala laboratorium akan diteruskan menuju pengisian baterai. Tegangan keluaran yang stabil diharapkan mencapai diatas tegangan nominal baterai sekitar 13 volt.

Desain rangkaian *boost converter*, komponen-komponen elektronika, dan semua peralatan, fungsi dan spesifikasinya dirangkum dalam Tabel 3.1, sedangkan untuk bahan-bahan dirangkum pada tabel 3.2.

**Tabel 3.1** Peralatan yang digunakan dalam perancangan

No	Peralatan yang digunakan	Spesifikasi	Fungsi
1	Laptop	Hp OS Windows 10	Simulasi, pemrograman, desain schematic dan PCB
2	Multimeter	Merk Sanwa	Alat ukur dan media kalibrasi
3	Modul Atmega 328	AVR-8 bit	Sarana pemrograman C
4	USB Downloader	Key Electronics USB ASP AVR	Untuk mengunduh program IDE ke mikrokontroler
5	Solder	220 V	Digunakan untuk memasang komponen ke PCB

**Tabel 3.1** Lanjutan

No	Peralatan yang digunakan	Spesifikasi	Fungsi
6	Software Eagle dan Proteus	OS Windows	Software untuk mendesain schematic dan PCB
7	Software Arduino IDE	OS Windows	Software untuk pemrograman atmega 328 (arduino)
8	Software Matlab R2014a	OS Windows	Software untuk simulasi

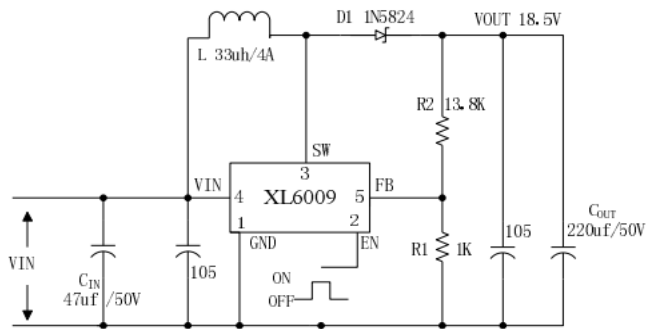
**Tabel 3.2** Peralatan yang digunakan dalam perancangan

No	Bahan yang digunakan	Spesifikasi	Fungsi
1	Mikrokontroler	Atmega 328	Sebagai core dari sistem yang mampu mengolah data
2	LCD (Liquid Crystal Display)	20x4	Penampil Data
3	Tenol	-	Media penghubung antara jalur pcb dan komponen
4	Konektor	-	Untuk menyambungkan jalur rangkaian
5	Resistor	47k, 10k, 1k3, 68, 1k, 2k, 10	Pembagi tegangan
6	Kapasitor	100 uF, 1000 uF, 1 nF	Penyimpan muatan

**Tabel 3.2** Lanjutan

No.	Bahan yang digunakan	Spesifikasi	Fungsi
7	Pin deret & pin header	40 pin	Sebagai konektor ke LCD dan arduino
8	Induktor	47 uH	Penyimpan energi (komponen boost konverter)
9	Diode	3 A	(komponen boost konverter)
10	Mosfet	X16009	Switching
11	Mosfet	relay	Switching proteksi
12	Transistor	C1815	Switching proteksi
13	Sensor Arus	INA219	Sebagai sensor arus
14	Led	½ watt	indikator
15	Kipas DC	12 volt 130 mA	Beban dc
16	Baterai	12 7.2 Ah	Media penyimpanan
17	Screw Terminal	2 pin	Port <i>input &amp; output</i>

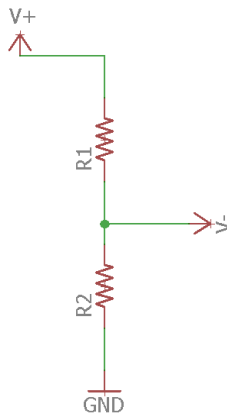
Pada perancangan *boost converter* ini tidak dilakukan perhitungan komponen-komponen, akan tetapi menggunakan rangkaian referensi seperti yang ditunjukkan di gambar 3.4 dan komponen yang digunakan ikut menyesuaikan [30].

**Gambar 3.2** Rangkaian Referensi [30]

Pada Gambar 3.2 menunjukkan rangkaian *boost converter* yang menggunakan IC XL6009 sebagai komponen *switching*. IC tersebut memiliki 5 *pinout* yang terdiri dari *ground*, *enable*, *switching*, *vin*, *feedback*. *Pin out feedback* memiliki tegangan referensi yang dapat dilihat pada *data sheet*. Dengan demikian dengan memberikan nilai resistor sebesar  $1k\Omega$  dan masuk kerangkaian filter dan menuju ke *pin out* digital 3 mikrokontroler sebagai pembangkit pwm.

### 3.2 Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan

Perancangan *support circuit* pada *battery energy storage system* (BESS) ini meliputi sensor tegangan, arus, monitoring *state of charge*. Sensor tegangan yang digunakan adalah rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan berfungsi sebagai konversi tegangan yang terdiri dari keluaran turbin angin sebagai inputan rangkaian boost konverter, output boost konverter, output 2 (beban dc). Tegangan output yang dihasilkan dari turbin angin sebesar 5-10,87 volt, kemudian tegangan keluaran boost konverter hingga 30 volt, sedangkan tegangan yang diinputkan pada mikrokontroler 0 – 5 volt. Oleh karena itu, dengan menggunakan persamaan (3.1) didapatkan harga resistor yang dapat diterapkan pada sistem, dan Gambar 3.4 ilustrasi pembagi tegangan.



Gambar 3.3 Rangkaian pembagi tegangan



$$V_o = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times V_i \quad (3.1)$$

Misalkan  $R_2 = 47k\Omega$

$V_o = 5$  Volt (V mikrokontroler)

$V_i = 30$  volt (V input dari boost konverter)

$$5 = \frac{R_1}{R_1 + 47k\Omega} \times 30$$

$$5R_1 + 235k = 30R_1$$

$$25R_1 = 235k$$

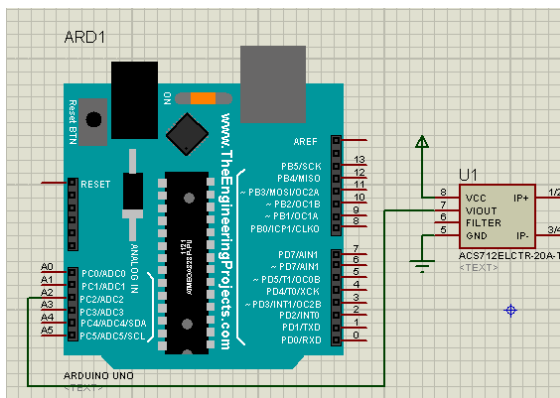
$$R_1 = 9,4k\Omega \approx 10 k\Omega$$

Jadi, dalam rangkaian *voltage divider*/pembagi tegangan digunakan 2 resistor yaitu resistor  $47 k\Omega$  dan resistor  $10k\Omega$ . Persamaan 3.2 digunakan sebagai pembacaan di LCD mengacu pada pembacaan nilai multimeter SANWA.

$$y = 0,0271x + 0,0001 \quad (3.2)$$

### 3.3 Perancangan Sensor Arus

Pada perancangan sensor arus ini menggunakan modul sensor seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan adalah INA 219 10 A. Modul ini kategori I2C. Karena mengukur arus, maka modul sensor ini terhubung seri dengan rangkaian *boost converter*, dimana pin V+ terhubung dengan boost converter dan V- terhubung pada rangkaian proteksi. Sensor arus dicatu oleh tegangan 5V yang terhubung ke Vcc. Keluaran sensor arus sda terhubung ke pin A4, dan scl terhubung A5 mikrokontroler. Pada sensor arus INA219, dengan menggunakan persamaan (3.3) yang diterapkan pada sistem agar nilai pembacaannya sesuai dengan multimeter.

$$y = 0,074x + 37,879 \quad (3.3)$$

### 3.4 Perancangan *Monitoring State of Charge*

*State of charge* merupakan parameter penting yang menggambarkan performa baterai. Nilai *state of charge* 0% menunjukkan baterai keadaan kosong dan nilai 100% baterai keadaan *fully charged*. Menentukan nilai besarnya persentase diperlukan nilai *vcut off* bawah dan *vcut off* atas pada baterai. Setiap baterai memiliki karakteristik batas bawah dan atas yang berbeda-beda. Baterai yang digunakan tipe panasonic LC-R127R2CH memiliki *vcut off* bawah 10,5 volt dan *vcut off* atas 13,65 volt. Baterai ini terdiri dari 6 cell. Persamaan 3.4 merupakan perbandingan antara batas bawah dan atas, kemudian diubah dalam bentuk persentase.  $V_b$  merupakan sisa kapasitas baterai yang terbaca kemudian disubstitusikan kedalam persamaan 3.4.

$$SoC = (V_b - 10,5) * 100/3,15 \quad (3.4)$$

### 3.5 Perancangan Sistem Kontrol

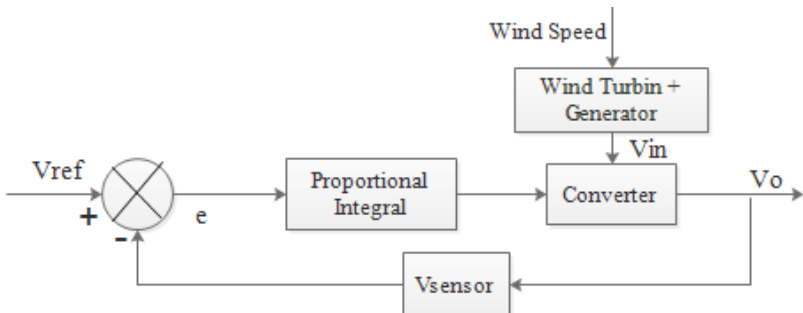
Pengendalian proporsional (P) dan integral (I) menjadi salah satu jenis pengendalian yang umum digunakan untuk mengendalikan suatu sistem. Pada penelitian ini pengendali P plus I digunakan untuk memberikan sinyal kontrol guna mengendalikan dan mendrive IC XL6009 sebagai komponen *switching*. Sinyal kontrol ini berupa nilai PWM yang keluar dari pengendali

proporsional dan integral untuk mengaktifkan *switching* dalam rentan waktu tertentu.

Sinyal kontrol yang dihasilkan oleh pengendalian proporsional dan integral bergantung pada besarnya gain proporsional ( $K_p$ ) dan integral ( $K_i$ ) yang diberikan sesuai dengan persamaan (3.5).

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt \quad (3.5)$$

Berdasarkan persamaan (3.5) dapat diketahui bahwa gain proporsional harus tepat sehingga dapat mengkompensasi nilai error yang dihasilkan oleh sistem. Nilai gain proporsional dan integral pada sistem ini ditentukan dengan cara *find tuning* hingga menemukan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang menghasilkan respon terbaik.



Gambar 3.5 Blok Diagram Sistem

Berikut di bawah ini adalah Tabel 3.3 nilai tuning terbaik yang diperoleh :

**Tabel 3.3** Tuning PI (*trial and error*)

$K_p$	150
$K_i$	22,653
$K_d$	0

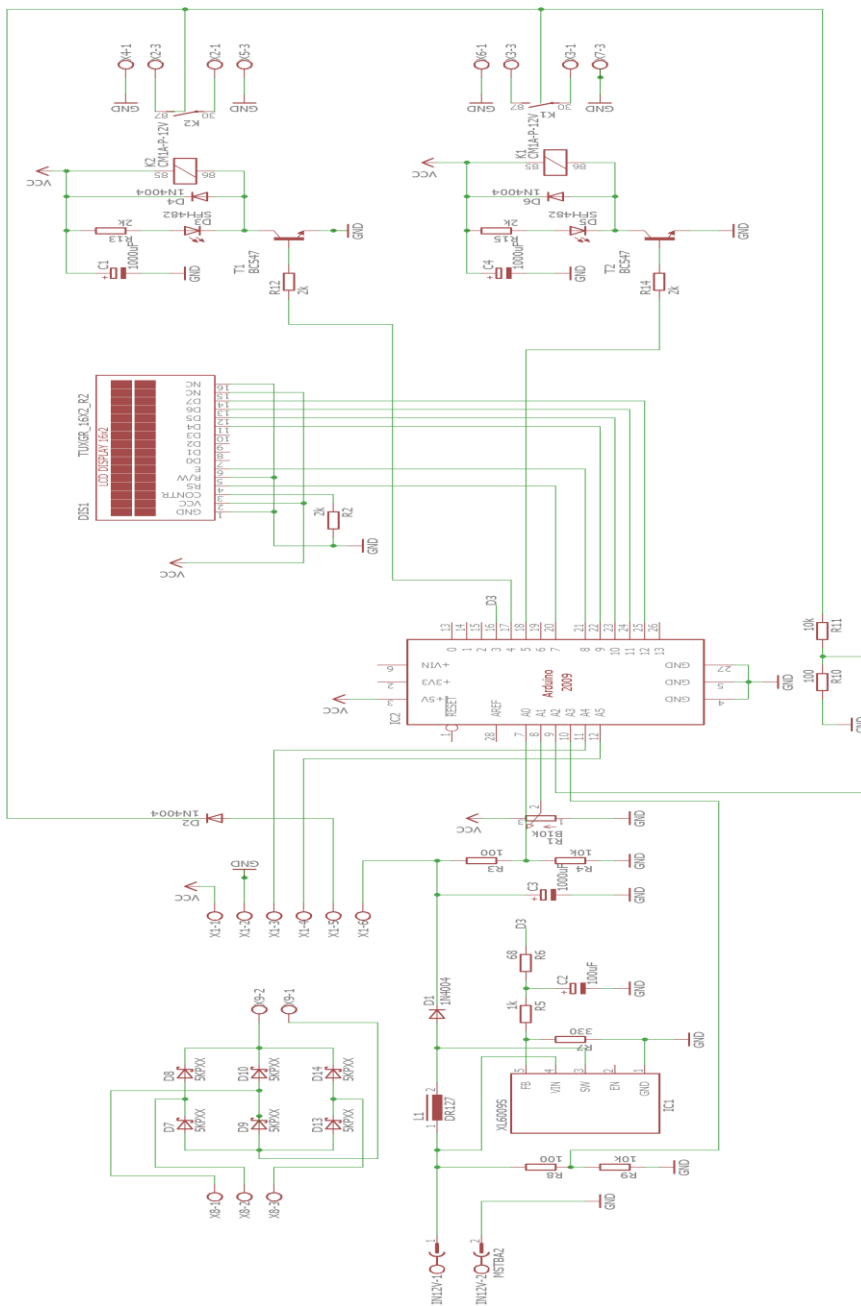
### 3.6 Setting Port Mikrokontroler

Mikrokontroler digunakan sebagai pusat kendali sistem *battery charging*. Mikrokontroler yang digunakan adalah arduino uno. Arduino uno adalah sebuah board mikrokontroler didasarkan pada chip ATmega 328. Pada sistem *battery charging* digunakan beberapa pin mikrokontroler dengan konfigurasi sesuai pada Tabel 3.4.

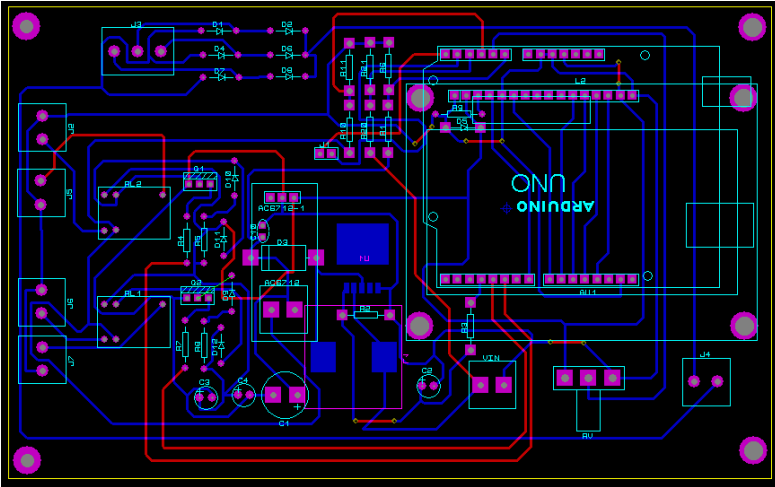
**Tabel 3.4** Konfigurasi *port* mikrokontroler

No.	Pin Arduino	Keterangan
1	Pin A0	<i>Voltage Divider 1 (output)</i>
2	Pin A1	Potensiometer
3	Pin A2	Sensor Arus
4	Pin A3	<i>Voltage Divider 2 (input)</i>
5	Pin A4	<i>Voltage Divider 2 Output</i>
6	Pin D5	Port Charging Battery
7	Pin D7, D8, D9, D10, D11, D12	LCD
8	Pin D3	PWM/ <i>feedback</i> xl6009
9	Pin D4	Beban DC

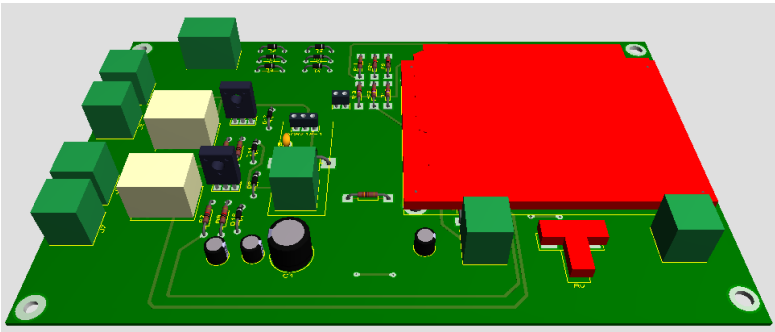
Gambar 3.6, 3.7, 3.8 menunjukkan schematic keseluruhan yang di desain menggunakan *software* eagle dan proteus. Gambar 3.6 yang ditunjukkan diawali dengan rectifier (3 dioda) dimana keluaran dari generator tegangannya masih dalam bentuk 3 fasa, sehingga perlu di searahkan dengan menggunakan rangkaian rectifier. Kemudian potensiometer tersebut berfungsi sebagai pemberian nilai setpoint tegangan. *Boost converter* terhubung dengan rangkaian relay dengan 2 *channel* yaitu *normally closed* dan *normally open*. Beberapa komponen yang digunakan bertipe smd. Lcd *character* 4x20 sebagai display pembacaan pengukuran yang meliputi tegangan *input*, tegangan *output*, arus *output*, tegangan baterai, *state of charge*, dan nilai tegangan referensi.



Gambar 3.6 Schematic Rangkaian Keseluruhan



Gambar 3.7 Desain Board PCB



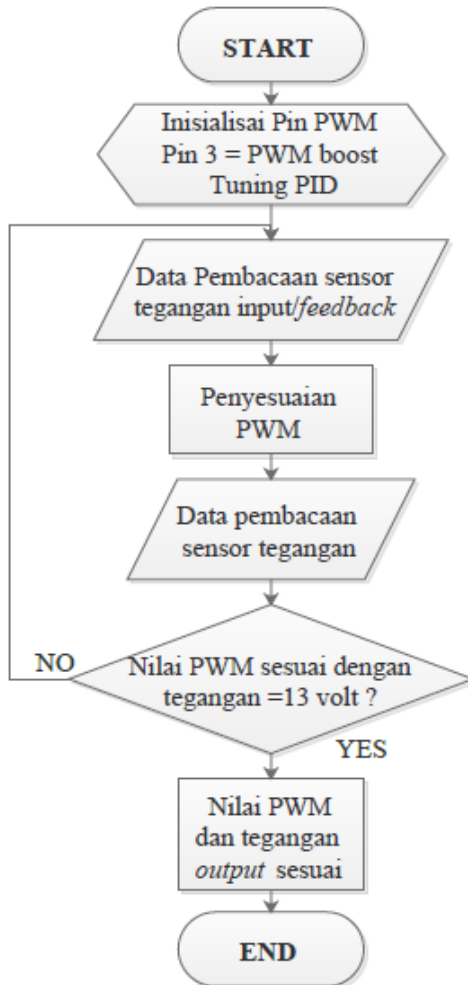
Gambar 3.8 Desain 3D Rangkaian

### 3.7 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Pada bab ini dibahas perancangan program untuk pembangkit sinyal PWM, perancangan program sensor tegangan, arus dan program keseluruhan pada sistem kontrol *battery energy storage system* (BESS) untuk sistem turbin angin.

#### A. Perancangan program pembangkit PWM

Pada sistem kontrol *battery energy storage system* digunakan pembangkit PWM dengan menggunakan mikrokontroler.



**Gambar 3.9** Flowchart Pembangkit PWM

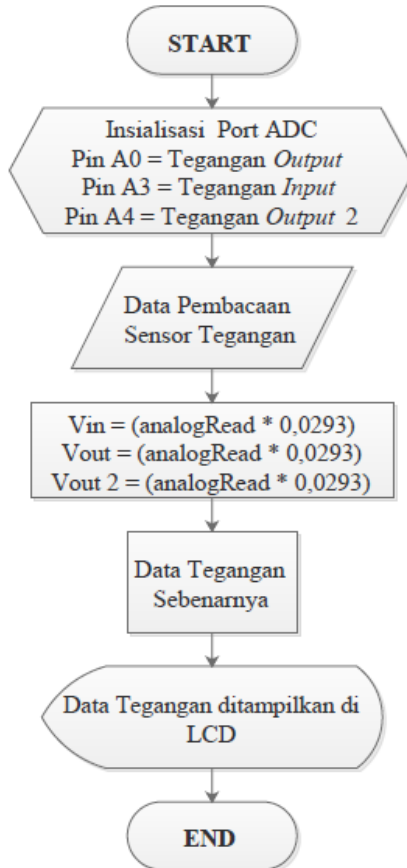
Penjelasan *flowchart* sebagai berikut :

1. *Start* dimulainya sebuah program
2. Inisialisasi Pin PWM yaitu pin digital 3 digunakan untuk PWM mode boost dan nilai tuning Kp, Ki, Kd
3. Duty cycle akan menyesuaikan dari perubahan tegangan *input* atau *feedback* yang mengatur agar tegangan output konstant pada 13,6 volt.

```
//inisialisasi port, library dan penghubungan
#include <PID_v1.h>
#define PIN_OUTPUT 3
double Kp=150 , Ki=22,653, Kd=0;
double error; error_sbmlI, error I;
double output, outp, outI, outtotal;
//PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
output = analogRead(PIN_INPUT);
void setup () {
pinMode(PIN_OUTPUT,OUTPUT);
TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000001;
}
//turn the PID on
//myPID.SetMode(AUTOMATIC);
myPID.SetTunings (Kp, Ki, Kd);
//referensi tegangan dan tegangan output
Setpoint=15-(analogRead(A1)/68.2); //0-15V // setting hingga
batas 15 v
output = analogRead(PIN_INPUT)* 0.0271x + 0.0001; //tegangan
output
void Compute(); // PI calculation
error = Setpoint - output;
outp = kp*error;
errorI=error+error_sbmlI;
outI=Ki*errorI; //
error_sbmlI=errorI;
outtotal=outp+outI;
analogWrite(PIN_OUTPUT, 255 - outtotal);
delay(100);
```



## B. Perancangan program pembacaan sensor tegangan



**Gambar 3.10** Flowchart Pembacaan Sensor Tegangan

Penjelasan *flowchart* sebagai berikut :

1. *Start* dimulainya sebuah program
2. Inisialisasi port ADC mikrokontroler arduino, sensor tegangan *input* pada pin A3 dan sensor tegangan *output* pada pin A0 dan A4

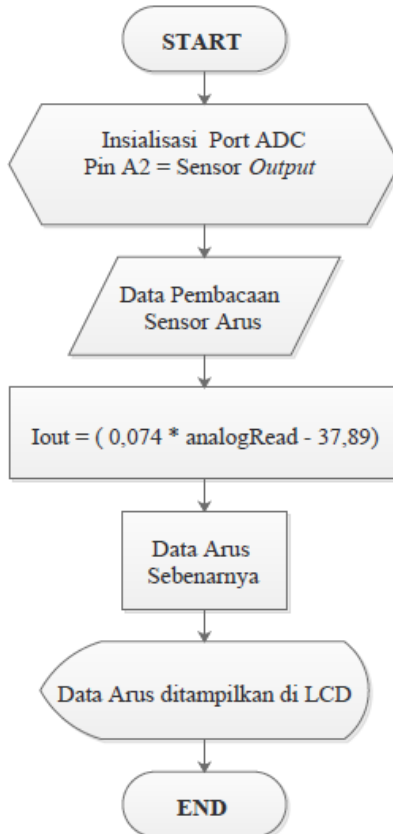
3. Data yang masuk pada port ADC berupa tegangan. Saat tegangan mencapai  $29.973 = 1023$  ( $\text{analogRead}$ ) dan  $0,0293$  merupakan koefisien dari persamaan linier.

$$y = 0,0293x \quad (3.3)$$

Nilai  $x$  merupakan data analog yang terbaca saat pengukuran

4. Data tegangan input dan output ditampilkan pada LCD

### C. Perancangan program pembacaan sensor arus



**Gambar 3.11** Flowchart Pembacaan Sensor Arus

Penjelasan *flowchart* sebagai berikut :

1. *Start* saat dimulainya program
2. Inisialisai pada port ADC arduino, dimana sensor ini menggunakan pin A2.
3. Sensor ini baik untuk merespon pembacaan skala mA, dengan menggunakan *library* yang telah tersedia yaitu <Adafruit\_INA219.h>, pengukuran arus sudah *automatically* terukur menggunakan library ini.
4. Data arus ditampilkan pada LCD

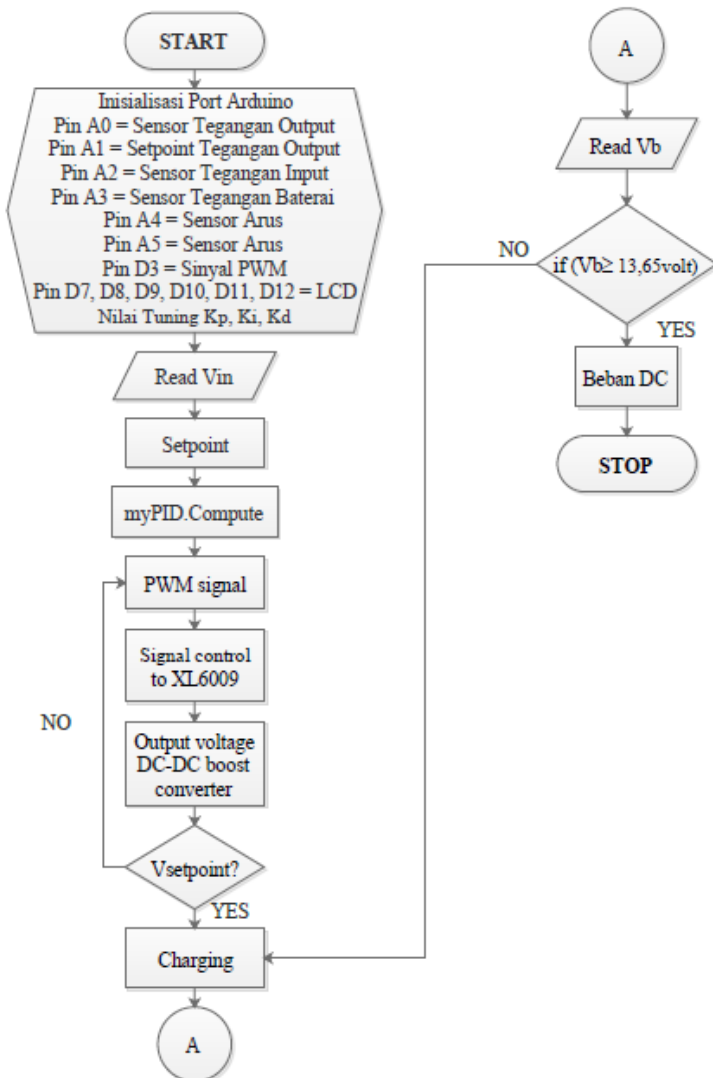
$$y=0,074x - 37,89 \quad (3.4)$$

Nilai x merupakan data analog yang terbaca saat pengukuran

### 3.8 Perancangan Program Keseluruhan

Perancangan sistem keseluruhan ini meliputi rangkaian *boost converter*, sensor tegangan, sensor arus dan rangkaian sistem proteksi baterai. Rangkaian proteksi menggunakan rangkaian relay. Salah satu komponen yaitu transistor yang digunakan bertipe NPN ini akan mendapatkan logika *HIGH/LOW* dari mikrokontroler, kemudian transistor juga akan *drive* relay untuk melakukan aksi atau *switching* dalam bentuk *normally closed* ke *normally open* atau sebaliknya. Perancangan program ini diawali inisiasi pin-pin yang digunakan dan pemberian nilai tuning PI *controller*. Sesuai dengan sistem awalnya tugas akhir ini yaitu memproteksi baterai dari *overcharging*, maka ada kondisi yang diberikan yang dituliskan dalam bentuk source code yaitu saat tegangan baterai yang terdeteksi lebih besar sama dengan 13,65, maka variabel pengisian seperti tegangan dan arus pindah jalur menuju beban dc. Beban dc yang digunakan bervariasi yaitu meliputi resistor, motor dc. Oleh karena itu, perancangan program ini ditunjukkan pada Gambar 3.12.

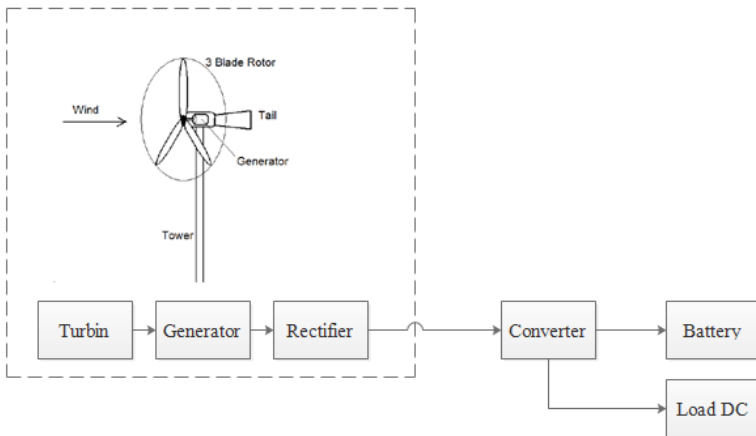
## D. Perancangan program keseluruhan



**Gambar 3.12** Flowchart program keseluruhan sistem kontrol pada battery energy system storage (BESS)

### 3.9 Penerapan BESS Sistem Generator Turbin Angin

Perancangan yang telah dibuat diatas dilakukan penerapan atau pengujian sistem sudah memiliki perfomansi yang baik atau tidak. Sistem berjalan baik terlihat pada saat proses pengisian baterai nya berada di atas tegangan baterai meskipun masukan ke konverter fluktuasi yang ditimbulkan akibat perubahan kecepatan angin. Secara keseluruhan sistem generator turbin angin dengan sistem kontrol pada baterai dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.13 Skema sistem secara keseluruhan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga nilai kecepatan angin yaitu :

- Kecepatan Angin 1 : 5 m/s
- Kecepatan Angin 2 : 6 m/s
- Kecepatan Angin 3 : 7 m/s

Penerapan BESS ini melakukan skenario pengujian sebagai berikut :

- a. Pengujian sensor tegangan dan arus
- b. Pengujian setpoint berubah di satu kecepatan
- c. Pengujian setpoint tetap, akan tetapi kecepatan berubah
- d. Pengujian proteksi efek *switching* beban

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

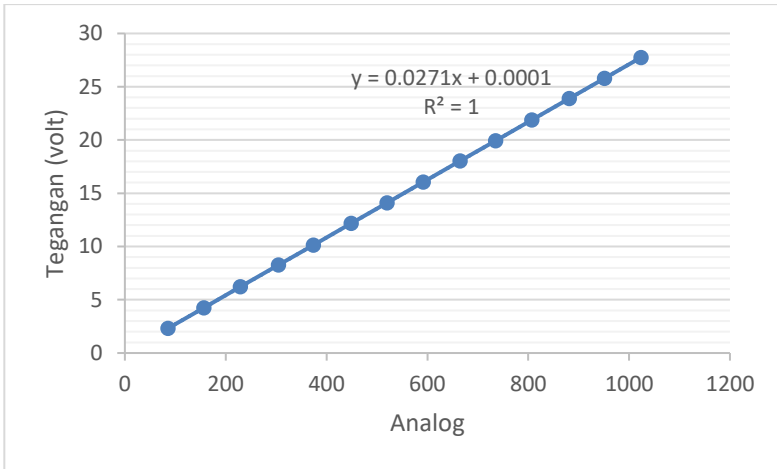
Pada bab ini akan membahas mengenai hasil perancangan sistem yang telah diterapkan dari dua sumber tegangan yaitu turbin angin, dan *power supply*. Hasil yang diperoleh berupa kalibrasi dari referensi pembacaan multimeter sanwa, respon pengendalian, pengisian baterai, dan *switching* proteksi saat baterai keadaan *full*.

### 4.1 Pengujian Sensor Tegangan dan Arus

Sensor tegangan dan arus merupakan komponen yang penting dalam pengukuran sebagai keakuratan pembacaan. Kalibrasi ini dilakukan dengan sumber *power supply* dan juga sebagai referensi yang akan dimasukkan ke dalam *script* pemrograman, kemudian acuan atau referensi sensor tegangan maupun sensor arus ini adalah multimeter sanwa ditunjukkan data-data yang diperoleh pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Tegangan Referensi

Multi Tegangan (V)	Hasil	Vsensor (V)	Koreksi
	Analog		
2,308	85,14	2,268	0,04
4,23	156,05	4,200	0,03
6,20	228,72	6,178	0,02
8,25	304,35	8,218	0,03
10,12	373,34	10,10	0,02
12,15	448,23	12,14	0,01
14,08	519,43	14,07	0,01
16,03	591,36	16,02	0,01
18,01	664,41	18,03	0,01
19,93	735,2	19,92	0,01
21,87	806,81	21,88	0,01
23,89	881,33	23,90	0,01
25,78	951,06	25,79	0,01
27,73	1023	27,75	0,02

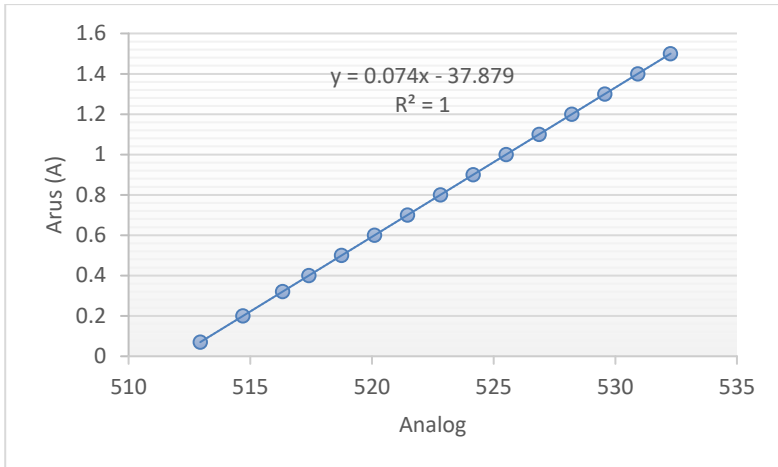


Gambar 4.1 Hubungan antara tegangan *output* dari sensor tegangan terhadap nilai analog

**Tabel 4.2** Data Arus Referensi

<b>Multi</b>	<b>Hasil</b>	<b>Asensor</b> <b>(mA)</b>	<b>Koreksi</b>
<b>Arus (mA)</b>	<b>Analog</b>		
7	512,946	23	-0.022
200	514,7033	243	-0.043
320	516,325	384	-0.064
400	517,406	460	-0.06
500	518,758	585	-0.085
600	520,110	693	-0.093
700	521,461	812	-0.112
800	522,813	921	-0.121
900	524,165	1040	-0.14
1000	525,516	1150	-0.15
1100	526,868	1260	-0.16
1200	528,220	1390	-0.19
1300	529,571	1500	-0.2
1400	530,923	1610	-0.21
1500	532,275	1730	-0.23





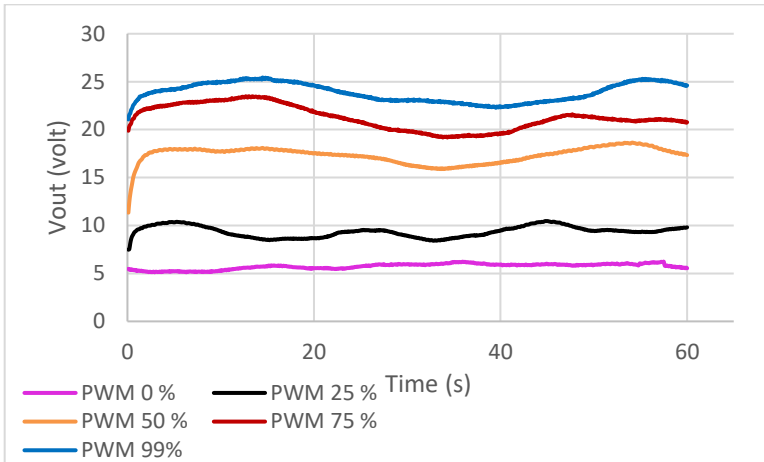
Gambar 4.2 Hubungan antara arus *output* dari sensor tegangan terhadap nilai analog

Hasil data yang diperoleh dan disajikan dalam bentuk tabel ini merupakan nilai tegangan maupun arus yang terbaca pada multimeter sanwa. Multimeter sanwa merupakan alat pembacaan tegangan maupun sensor yang dijadikan referensi pembacaan untuk sensor yang diterapkan. Pembacaan nilai tegangan dan arus pada multimeter sanwa dikonversi dalam bentuk data analog dikarenakan pada pin arus dan tegangan tersambung pada pin analog arduino. Nilai pembacaan referensi yang dimulai dari 2 volt – 30 volt, dan 0.07 ampere hingga 1,5 ampere. Data yang diperoleh kemudian diplot dalam bentuk grafik, sehingga diperoleh persamaan (3.2) dan (3.3). Persamaan lineritas tersebut menjadi bahan atau data referensi yang akan diterapkan pada *script* pemrograman. Hasil pembacaan sensor yang telah disajikan pada tabel cukup baik.

#### 4.2 Hasil Pengujian *Boost Converter*

Adapun *boost converter* yang telah dibuat kemudian diuji dengan memberikan variasi nilai PWM. Nilai PWM ini akan

mempengaruhi nilai dari kenaikan tegangan pada *boost converter* seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Respon tegangan *output boost converter* terhadap kenaikan nilai PWM

Kenaikan ini terjadi karena *switch IC XL6009* pada rangkaian *boost converter* membuka dan menutup seiring dengan lebar dan frekuensi yang diberikan pada *feedback IC*. Lebar pulsa ini dapat diubah nilainya dengan cara membangkitkan pwm pada *script* pemrograman. Dengan demikian dapat diubah nilai tegangan *output boost converter* dengan cara memvariasikan nilai lebar pulsa (pwm) seperti Gambar 4.3. Adapun data tersebut diambil pada kondisi rangkaian belum tersambung dengan beban dan kecepatan angin 5 m/s.

### 4.3 Hasil Sistem Kontrol

Berdasarkan hasil find tuning nilai yang diperoleh adalah  $K_p = 150$ ,  $K_i = 22.653$ ,  $K_d = 0$ . Penerapan yang dilakukan dengan memberikan *input* berupa kecepatan angin 5 m/s, 6 m/s dan 3 m/s, sehingga diperoleh respon *transientnya*. Data-data yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.3.

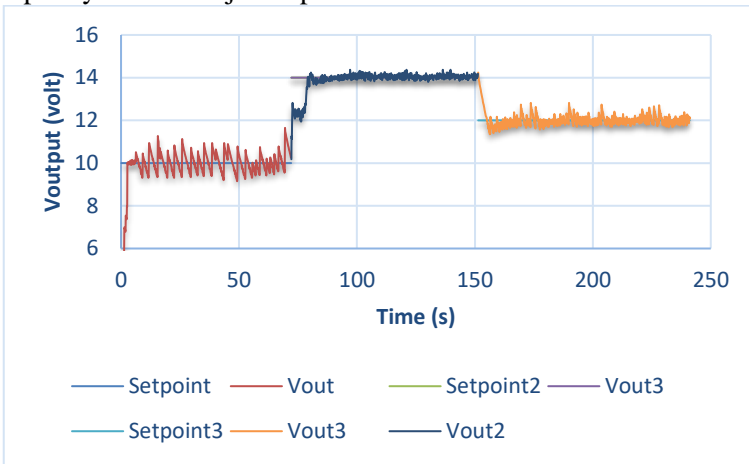
**Tabel 4.3** *Vout*put pada tiap kecepatan

Kecepatan (m/s)	Vin (Volt)	Setpoint (Volt)	Vout (Volt)
5	6 – 7,4	10	9,31-11,27
		14	13,91-14,24
		12	11,73-12,74
6	8,3 – 9,93	10	9,23-12,96
		14	13,69-14,75
		12	11,62-13,06
7	10,32-11,73	12	11,89-15,12
		15	14,89-15,34
		12	11,89-15,12

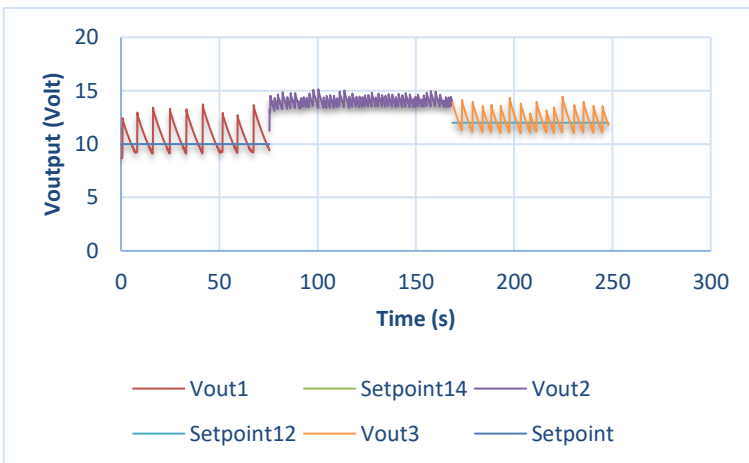
Implementasi pada proses pengisian baterai ini bersumber utama dari turbin angin, seperti diketahui bahwa pada dasarnya kecepatan angin selalu berubah-ubah, maka dari itu dibuat sistem kontrol yang dapat mencapai nilai konstan meskipun nilai masukannya fluktuatif. Pengendalian proporsional (P) dan integral (I) menjadi salah satu jenis pengendalian yang umum digunakan untuk mengendalikan suatu sistem. Pada penelitian ini pengendali P plus I digunakan untuk memberikan sinyal kontrol guna mengendalikan dan mendrive IC XL6009 sebagai komponen *switching*. Sinyal kontrol ini berupa nilai PWM yang keluar dari pengendali proporsional dan integral untuk mengaktifkan *switching* dalam rentan waktu tertentu. Rangkaian boost konverter ini menggunakan chip xl6009, dimana salah satu *pin out* yaitu *Fb(feedback)* terhubung dengan pin digital D3.

Pada Tabel 4.3 yang disajikan di atas bahwa pengambilan data dilakukan dengan kecepatan angin sebagai *input boost converter*, namun disetiap kecepatan ini dibuat nilai setpoint yang berbeda. Hal ini dilakukan untuk mengetahui hasil pengendalian yang diimplementasikan dalam sistem dengan nilai  $K_p = 150$ ,  $K_i = 22,635$  Pengambilan data dengan *time sampling* 0,1 detik ini diperoleh data hingga sekitar 240 detik atau 4 menit dengan setiap interval 70 detik

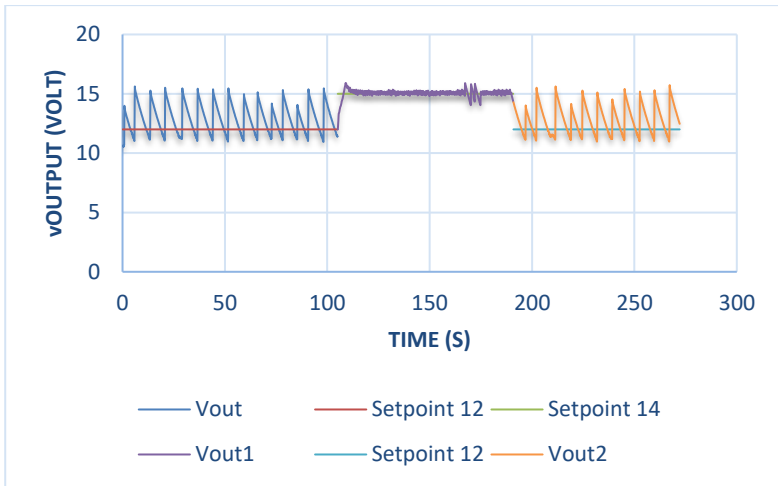
merubah nilai setpoint. Data tersebut sudah didapatkan hasil responnya dan ditunjukkan pada Gambar 4.4 – 4.6.



Gambar 4.4 Respon tegangan *output* konverter pada kecepatan angin 5 m/s saat terjadi perubahan setpoint

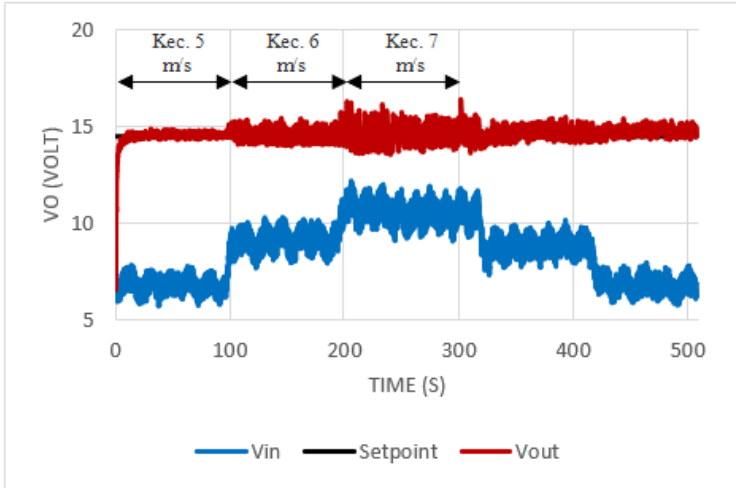


Gambar 4.5 Respon tegangan *output* konverter pada kecepatan angin 6 m/s saat terjadi perubahan setpoint



Gambar 4.6 Respon tegangan *output* konverter pada kecepatan angin 7 m/s saat terjadi perubahan setpoint

Hasil respon yang telah ditunjukkan dalam bentuk gambar ini terlihat ada perbedaan dari kecepatan 5, 6, 7 m/s. Masing-masing kecepatan memiliki setpoint yang berbeda, dalam hal ini menunjukkan respon saat terjadinya perubahan *setting point*. Pada kecepatan yang nilai kecepatan hampir mendekati nilai *setting point* terjadinya *ripple* tegangan yang terjadi seperti pada Gambar 4.5 dan 4.6 di *setting point* 12 volt. Pada kecepatan 6 m/s,  $V_{in}$  yang masuk ke sistem sekitar 8 volt, dan kecepatan 7 m/s,  $V_{in}$  sebesar 10,7 volt. Selisih perbedaan yang sedikit ini mempengaruhi kinerja sistem, sehingga terjadinya *overshoot*. *Ripple* tegangan yang terjadi yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 hingga 4.5 dikarenakan sistem menerima input tegangan tidak satu titik tetap, akan tetapi baik dikecepatan 5, 6, 7 m/s nilainya berubah-ubah atau tidak konstan, maka dari itu *output* yang dihasilkan sistem mengalami *ripple*. Hal demikian serupa, saat di satu titik setpoint, namun kecepatan yang berubah yang ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Respon tegangan *output converter* pada kecepatan angin yang berbeda dengan setpoint 14 volt.

Pada Gambar 4.7 ditunjukkan bahwa dengan kecepatan angin yang berbeda-beda dan disatu titik setpoint yaitu 14 volt. Pemberian kecepatan dilakukan dari yang terkecil hingga terbesar dan sebaliknya. Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh sistem saat dilakukan perubahan dari kecepatan tinggi ke rendah atau sebaliknya. Respon yang dihasilkan terlihat terjadinya *ripple* tegangan, akan tetapi terlihat perbedaan besarnya *ripple*. Salah satu faktor yang mempengaruhi *ripple* tegangan adalah saat mendesain *converter*. Hal ini terkait dengan nilai kapasitor yang digunakan. Nilai kapasitor ini diperoleh pada kondisi  $\Delta V$  desain = 9 volt. Jika  $\Delta V$  lebih kecil, maka nilai C atau kapasitor yang diperlukan juga berubah lebih besar. Tahanan seri ekuivalen dari kapasitor (ESR) sangat mempengaruhi nilai *ripple* tegangan *output*. Dengan demikian, jika  $\Delta V$  yang terjadi tidak sesuai atau jauh penyimpangannya dari  $\Delta V$  desain, maka tegangan *output converter* akan mengalami *ripple*.

Kecepatan angin sebagai masukan sangat mempengaruhi kinerja sistem yang dihasilkan. Kecepatan 5, 6, 7 m/s menghasilkan

tegangan untuk *boost converter*, akan tetapi nilai tegangan yang dihasilkan tidak satu nilai tetap namun selalu berubah setiap saat. Hal ini juga menjadi *point* yang akan mempengaruhi kinerja keluaran sistem. Pemberian setpoint 14 volt ini dilakukan agar respon cepat mengejar nilai tersebut meskipun masukannya fluktuatif. Saat baterai akan dihubungkan kondisi tegangan *output* atau  $V_{out}$  sudah berada di atas tegangan baterai, sehingga pada saat terhubung ada tegangan dan arus yang mengalir menuju baterai.

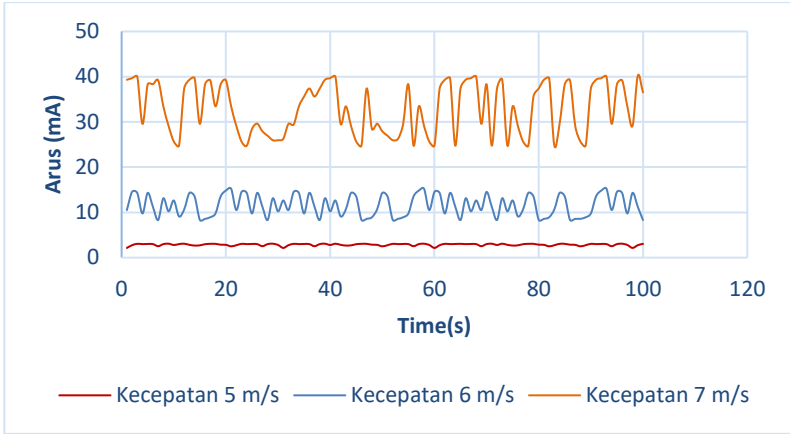
#### 4.4 Hasil Rangkaian Proteksi

Variabel untuk mengetahui indikator yang menunjukkan baterai sedang dalam proses pengisian ialah adanya tegangan dan arus yang mengalir menuju baterai. Pada perancangan sistem *charging* ini dilakukan dengan 2 sumber dari turbin angin dan *power supply*. Data-data arus di setiap kecepatan yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.4 :

**Tabel 4.4** *Charging* baterai sumber turbin angin

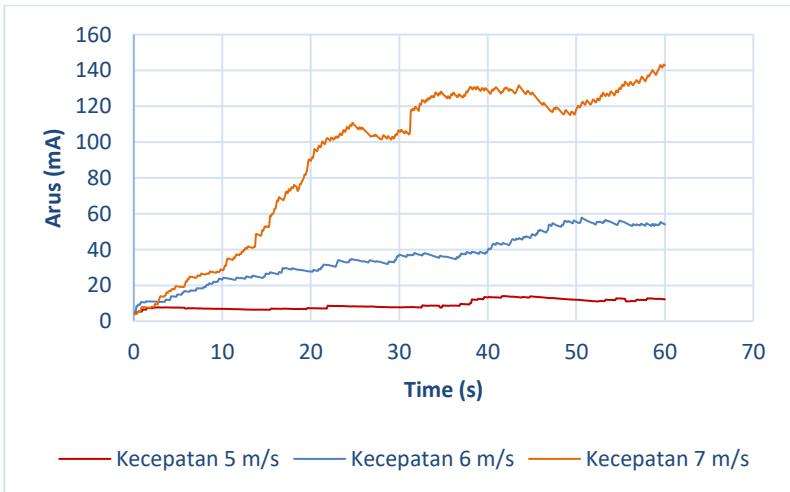
No	Kec. 1 (mA)	Kec. 2 (mA)	Kec. 3 (mA)
1	2,45	9,16	29,52
2	3,24	14,42	27,72
3	2,98	15,38	34,35
4	4,31	10,23	39,21
5	2,69	9,85	32,67
Rata-Rata	3,13	11,80	32,69

Pada Tabel 4.4 ini merupakan tabel arus pengisian baterai yang diperoleh dimasing-masing kecepatan. Besarnya nilai arus yang diperoleh bergantung pada kecepatan angin, terlihat bahwa semakin besar kecepatan angin semakin besar arus yang ditarik. Nilai rata-rata arus pada setiap kecepatan mulai dari kecepatan 5 m/s sebesar 3,13 mA, kecepatan 6 m/s sebesar 11,80 mA, dan kecepatan 7 m/s sebesar 32,69 mA.



Gambar 4.8 Respon arus pengisian baterai dengan kecepatan berbeda pada setpoint 14 volt.

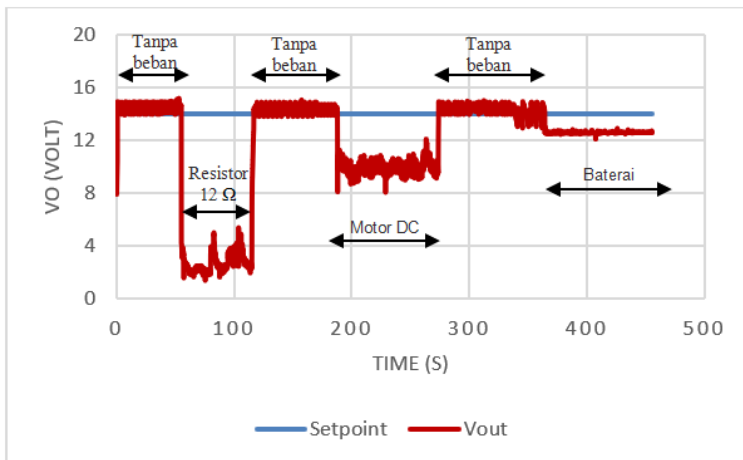
Gambar 4.8 merupakan grafik arus yang dihasilkan saat pengisian baterai. Indikator pengisian adanya tegangan dan arus yang mengalir menuju baterai, meskipun arus yang disalurkan pada baterai terlihat sangat kecil yaitu *range* 2,9 mA – 40 mA.



Gambar 4.9 Respon arus *input* pada *boost converter*



Gambar 4.9 merupakan respon arus *input* yang di sampling pada proses pengisian menggunakan sumber generator turbin angin. Jika dibandingkan nilai arus yang masuk ke dalam *boost converter* 2 kali lebih lebih besar dari pada arus *output* atau pengisian yang tersambung dengan beban yaitu baterai. Arus *input* pada kecepatan 5 m/s didapatkan dengan nilai puncaknya sebesar 13 mA, sedangkan dikecepatan 6 m/s arus puncaknya hingga 55 mA dan dikecepatan 7 m/s arus *peaknya* sekitar 143 mA. Besarnya nilai arus yang didapatkan juga mengalami turun naik atau fluktuatif.



Gambar 4.10 Respon tegangan *output converter* pada kecepatan 7 m/s

Grafik 4.10 merupakan respon yang dihasilkan sistem saat proteksi efek *switching* beban dc. Setpoint yang diberikan ialah 14 volt, dikarenakan baterai yang digunakan memiliki tegangan 12 volt, tegangan keluarannya harus lebih besar dari tegangan baterai. Oleh karena itu, dibuktikan adanya respon yang dihasilkan pada gambar 4.7. Pengaruh beban dc dalam generator turbin angin yang digunakan adalah *supply* yang dihasilkan bahwa dengan beban resistor 12  $\Omega$  tegangan yang dihasilkan sekitar 3 volt dengan beban

tersebut menarik arus yang cukup besar sebesar 190 mA, kemudian saat beban diganti menjadi motor dc tegangan yang diperoleh disekitar 9 volt dan arusnya 70 mA. Hasil tersebut dengan mengimplementasikan nilai gain  $k_p = 150$  dan  $k_i = 22,653$ . Saat beban dilepas respon yang dihasilkan terlihat cukup cepat untuk mengejar nilai setpoint. Beban selanjutnya adalah baterai 12 volt, saat beban dihubungkan *output* yang dihasilkan stabil pada tegangan 12,8 volt hingga 13,34 volt dengan menarik arus 2 – 40 mA bergantung kecepatan angin yang diberikan.

Penerapan BESS dengan sumber *power supply* ditunjukkan pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Charging baterai sumber *power supply*

Time (min)	Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Vbat (Volt)	SoC (%)
0	-	-	11,2	22,22
10	13,10	1,19		
20	13,10	1,19		
30	13,10	1,19		
40	13,11	1,19		
50	13,11	1,19		
60	13,11	1,16		
70	13,12	1,14		
80	13,12	1,13		
90	13,12	1,08		
100	13,13	1,08		

Berbeda hal dengan *power supply*, pada Tabel 4.5 baterai telah memiliki kapasitas tegangan sebesar 11,2 volt atau SoC sebesar 22,22 %, kemudian dilakukan proses pengisian selama 100 menit, sehingga diperoleh hasil tegangan baterai menjadi 12 volt dan SoC sebesar 47,61 %. Besarnya nilai prosentase tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.4). *Concern* utama dalam tugas akhir ini adalah memproteksi baterai dari keadaan *overcharge*. Perancangan alat proteksi menggunakan relay NO (*normally open*) dan NC (*normally closed*), dengan sensor

tegangan baterai membaca nilai tegangan baterai dan nilai *State of Charge* ini, akan terjadi proses *switching* yaitu dengan pemberian sinyal logika *HIGH* atau *LOW* ke salah satu *channel*. Sinyal tersebut merupakan tegangan sebesar 5 volt dan arus 40 mA diberikan ke relay (coil), maka akan timbul gaya elektromagnet yang akan menarik *armature* untuk berpindah dari posisi sebelumnya NC (*normally closed*) ke posisi baru NO (*normally open*) atau sebaliknya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Adapun kesimpulan dari laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- Perancangan *boost converter* nilai induktor yang digunakan sebesar  $L=47\mu\text{H}$ , kapasitor  $C=1000\mu\text{F}$ , resistor  $R=10\Omega$ ,  $\Delta V=9$  volt dan IC x16009 sebagai komponen *switching*
- Adapun nilai koreksi sensor tegangan yang diperoleh pada sistem sebesar 0,017 dan sensor arus sebesar 0,125.
- Kontroler PI dengan gain  $K_p=150$  dan  $K_i=22,653$  yang diterapkan pada sistem masih mengalami *ripple* tegangan di setiap kecepatan.
- *Boost converter* menggunakan sumber generator turbin angin dengan beban resistor  $12\ \Omega$  menarik arus 180 mA, kemudian motor dc arus sebesar 40 mA, dan baterai 40-70 mA. Ini semua dilakukan pada kecepatan 7 m/s
- Durasi *charging* dengan sumber *power supply* selama 100 menit dengan kapasitas baterai awal sebesar 22,22 % menghasilkan  $\Delta\text{SoC}$  sebesar 25,39 %, arus pengisian 1,19 ampere dan tegangan pengisian sebesar 13,10 volt
- Rangkaian proteksi berfungsi dengan memberikan logika *high* pada saat kondisi maksimum tegangan baterai 13,65 volt untuk menghindari *overcharging*.

#### **5.2 Saran**

Dari tugas akhir ini terdapat saran yang dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya, yakni pengembangan sistem kontrol pada baterai ini menggunakan IoT serta menggunakan metode kontrol lainnya seperti fuzzy logic, sliding mode control dll

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## REFERENSI

- [1] S.M. Mousavi G. 2012. An autonomous hybrid energy system of wind/tidal/microturbine/battery storage. Centre of Excellence for Railway, School of Railway Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran. *Electrical Power and Energy Systems* 43 (2012) 1144–1154
- [2] “Rencana Umum Energi Nasional.” Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22, 2017.
- [3] Ackermann Thomas. Wind power in power system. John Wiley & Sons Press; 2005.
- [4] Rancang Bangun Solar Charge Controller Dengan Indikator Arus, Tegangan Dan Suhu Berbasis Mikrokontroler Atmega 8535. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya* , Vol Xi No. 1, 2011.
- [5] SongsongNie, Student Member, IEEE, Xuejun Pei, Yu Chen, Student Member, IEEE, and Yong Kang, “Fault Diagnosis of PWM DC–DC Converters Based on Magnetic Component Voltages Equation”, *IEEE Trans. Power Electron*, Vol. 29, No. 9, September 2014.
- [6] Usher, E. P., & Ross, M. M. D. (1998). Recommended Practices for charge Controllers. Report IEA PVPS T3-05
- [7] Batteryuniversity Admin, 2014. “BU-401a: Fast and Ultra fast Chargers”. <http://batteryuniversity.com/learn/article/>
- [8] Yarlagadda, S., Hartley, T.T dan Husain, I. 2013 “A battery Management system Using an Active Charge Equalization Technique Based on DC/DC Converter Topology”. *Industry Applications, IEEE Transactions on Volume :49*
- [9] Jha, A. K., Fernandes, B. G., Kishore, A., “A single Phase Single State AC/DC converter with high input power factor and tight output voltage regulation,” progress in electromagnetics research symposium cambridge-USA, 2006
- [10] Marcelo D. P. Nascimento, C. B. Angelo, M.T. Mauricio, S., “ Performance comparison between nonlinear and linear controllers with weighted adaptive control applied to a buck

- [11] converter using poles placement design. Industrial electronics (ISIE), “ IEEE international Symposium. Pages : 1-6, DOI : 10.1109/ISIE, 2013
- [12] Guo, L. Hung, J. Y. And Nelms, R. M., “Evaluation of DSP based PID and based fuzzy controllers for dc-dc converter,” IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 56, no.6, pp. 22370-2248, 2009
- [13] Hart. Daniel W. 2010. “Power Electronics Handbook” 3rd Edition”. Butterworth – Heinemann. Florida : University of West Florida.
- [14] Ananaba, Kemjika. Design and implementation of buck converter
- [15] Fathurachman, Ahmad., et al. “Perancangan Boost Converter Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya”, Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani Hal. 2, 2014.
- [16] Fahmi Umarella, “Analisa Induktor Toroid Binokuler Pada Rangkaian Boost Converter,” Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Indonesia Depok, 2012.
- [17] H. Rashid. Muhammad. 2011. “Power Electronics Handbook 3rd Edition”. Butterworth – Heinemann. Florida : University of West Florida.
- [18] Suberu, M. Y. (2014) “Energy Storage System for Renewable Energy Power Sector Integration and Mitigation of Intermittency. Renewables and Sustainable Energy Reviews, 499-514.
- [19] Faria, Ricardo, Moura, Pedro, dan Delgado, Joaquim. 21 Juli 2014. “Managing the charging of Electrical Vehicle : Impacts on the Electrical Grid and on the Enviromental,” *intelligent Transportation System Magazine IEEE Volume 6*, <http://ieeexplore.ieee.org/>,
- [20] David Linden, T. B. (2002), “Handbook of Batteries 3rd Edition” Amerika Serikat : The McGraw – Hills Companies, Inc.



- [21] P. Manimekalai, R. Harikumar, and S. Raghavan, “An Overview of Batteries for Photovoltaic (PV) Systems,” *Int. J. Comput. Appl.* 0975-8887, Vol. 82, pp. 1-5, Nov. 2013.
- [22] Battery and Energy Technologies. (2019, Maret 29). Diambil kembali dari <https://www.mpoweruk.com/bms.htm>
- [23] G. M. Masters, *Understanding renewable energy system*. London : NJ : John Wiley & Sons, 2004
- [24] I. Setiawan. (2008). “Kontrol PID untuk Proses Industri”. PT Elex Media Komputindo : Jakarta
- [25] Arduino.cc

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### Lampiran 1

```
#include <PID_v1.h>
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
#include <Wire.h> //
#include <Adafruit_INA219.h>
Adafruit_INA219 ina219;
#include <Kalman.h>
Kalman fil (0.0005, 20, 1000, 0);
#define PIN_INPUT A0
#define PIN_OUTPUT 3
//#include "ACS712.h"
//ACS712 sensor(ACS712_30A, A4);
//#define AT_PIN A2 // connecting port AT (current sensor) to
arduino A2
//#define ARDUINO_WORK_VOLTAGE 5.0 //

//#include "ACS712.h"
//ACS712 sensor(ACS712_30A, A2);
//Define Variables we'll be connecting to
double Setpoint;
double Input;
double Output;
int i;
int pw;
int at_temp;
float P;
float I;
float V;
float U;
float Vi;
float Vb;
float soc;
```

```

//float Vi=0.0;
//float Vb=0.0;
float offset;
float current_mA=0;
float current_mA2 = 0;

//deklarasi tegangan
float R20 = 47000.0 ; // Nilai resistansi R20 (47k) //// vin
float R21 = 10000.0 ; // Nilai resistansi R21 (10k) /// vin
float vout = 0.0 ;
float vin = 0.0 ;
float valuein ;

//deklarasi tegangan
float R1 = 47000.0 ; // Nilai resistansi R1 (47k) //// vout
float R6 = 10000.0 ; // Nili resistansi R6 (10k) //// vout
float vouta = 0.0 ;
float vina = 0.0 ;
float valueout ;

//// deklrasi arus
int sensitivity = 66; //
int adcValue = 0;
int offsetVoltage = 2500 ; //
double adcVoltage=0 ;
double currentValue = 0;
float ar=0;

double Kp=150; //150
double Ki=22.653;//22.653
double Kd=0;

//double error;
//double output;
//double outp;

```

```

//double errorI;
//double error_sblmI;
//double outI;
//double outtotal;
//double kp = 150;
//double ki = 22.653;

//Specify the links and initial tuning parameters
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  ina219.begin();
  uint32_t currentFrequency;
  //initialize the variables we're linked to
  Input = analogRead(PIN_INPUT);
  pinMode(PIN_OUTPUT,OUTPUT);
  //turn the PID on
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);

  // sensor.calibrate();
  lcd.begin(16, 4);
  lcd.setCursor(6,0);
  lcd.print("PID");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("VOLTAGE CONTROL");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  pinMode(4,OUTPUT);
  pinMode(5,OUTPUT);
  //TCCR2B = TCCR2B & B11111000 | B00000001;
  // for (int i =0; i<10; i++){
  // adcValue = analogRead(A2);
  //adcVoltage = (adcValue / 1024.0) * 5000;
  //currentValue = ((adcVoltage - offsetVoltage) / sensitivity);
  //ar= ar+ currentValue;

```

```

    //}
    //offset=ar/1000;
    //}
    }
    //
    void loop()
    {
        for(int i=0;i<50;i++)
        // {
        //     // int at_temp = analogRead(AT_PIN); // reading of
analogRead
        //double          I          =          at_temp          *
(ARDUINO_WORK_VOLTAGE/1023); // calculation of current
        //     adcValue = analogRead(A2);
        //     adcVoltage = (adcValue / 1024.0)*5000;
        //     currentValue = ((adcVoltage - offsetVoltage)/
sensitivity);
        //     ar = ar + currentValue;
        //
        //     ar=ar/1000;
        //     ar= ar-offset;
        //     if(ar<0) ar = 0;

        //if (current_mA2<=0.7) {current_mA2 = 0;}
        current_mA = ina219.getCurrent_mA();
        current_mA2 = fil.getFilteredValue(current_mA);
        // I = sensor.getCurrentDC();
        // if(I<0) {I=I*-1;}
        Setpoint=15-(analogRead(A1)/68.2); //0-15V
        Input = analogRead(PIN_INPUT)/36.21; //teg out
        Input = analogRead(PIN_INPUT)/36.21; //teg out
        Vi = (analogRead(A3)*0.0271) + 0.0001; //teg IN
        Vb = (analogRead(A2)*0.0271) + 0.0001; //teg IN 39.46
        // int PWM = 180 ;
        // int PWM1= 255 - PWM;

```

```

        //int D = PWM/254.0;
void compute (){
// error = Setpoint - output;
// outp = kp*error;
// errorI=error+error_sblmI;
// outI=Ki*errorI; //nilai Ki ditentukan melalui tuning
// error_sblmI=errorI;
// outtotal=outp+outI;
//

        analogWrite(PIN_OUTPUT, 255 - outtotal );
//pw=(outtotalput*100)/255; //skala 100%
        delay(100);
}

//      //////////////////////////////////////
//      valuein = analogRead (A3);
//      vout = ( valuein * 5.0 ) / 1024.0 ;
//      vin = vout / (R21/(R20+R21)) ;
//      if (vin < 0) vin = 0;
//      //Vi = analogRead(A3)/36.21; // input voltage
//
//      //////////////////////////////////////
//      valuevb = analogRead (A4);
//      voutaa = (valuevb * 5.0) / 1024.0 ;
//      vinvb = voutaa / (R11/(R10+R11)) ;
//      if (vinvb < 0) vinvb = 0 ;
//      // Vb = analogRead(A4)/36.21; // input voltage
//
//      //kurva plotter
//      {
//      Serial.print(Vi);
//      Serial.print(" || ");
//      Serial.print(Setpoint);
//      Serial.print(" || ");
//      Serial.print(Input);

```

```
Serial.print(" || ");
Serial.print(current_mA2);
Serial.print(" || ");
// Serial.print(" ");
// Serial.print(Vb);
// Serial.print(" ");
// Serial.print(Vi);
// Serial.print(" ");
// Serial.print(pw/10);
// Serial.print(" ");
// Serial.print(I);
Serial.print(" ");
Serial.print(255 - Output );
Serial.print(" || ");
Serial.println();
delay(100);
```

```
}
```

```
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Vi:");
lcd.print(Vi);
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print("I:");
lcd.print(current_mA2,1);
//lcd.print(I,1);
lcd.print(" ");
```

```
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Vo:");
lcd.print(Input);
```

```
lcd.setCursor(9,1);
//lcd.print("P:");
//lcd.print(P);
```



```

//lcd.print(" ");

lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("Vb:");
lcd.print(Vb);
lcd.print(" ");

lcd.setCursor(9,2);
// lcd.print("D:");
// lcd.print(pw);
//lcd.print(" ");
//lcd.print(" ");

lcd.setCursor(0, 3);
lcd.print("SOC:");
if(Vb<=10.5) {soc=0;}
else {soc =(Vb-10.5)*100/3.15;}
lcd.print(soc,0);
lcd.print("% ");

lcd.setCursor(9, 3);
lcd.print(Setpoint,2);
lcd.print(" ");

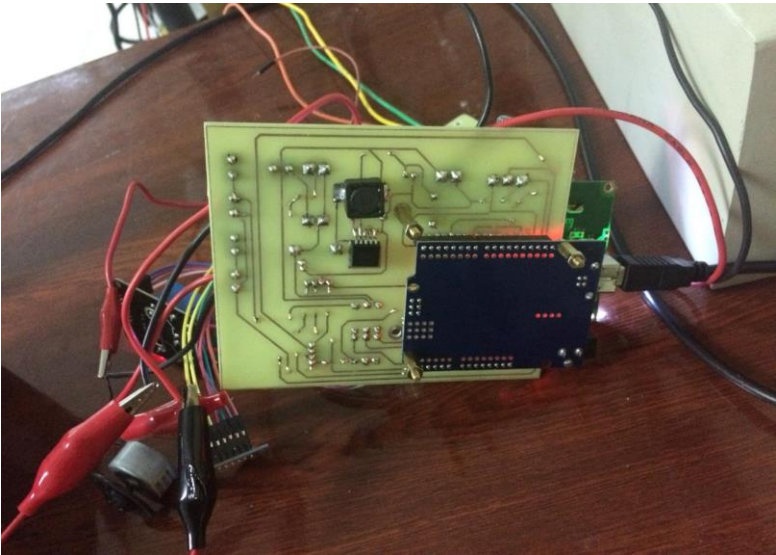
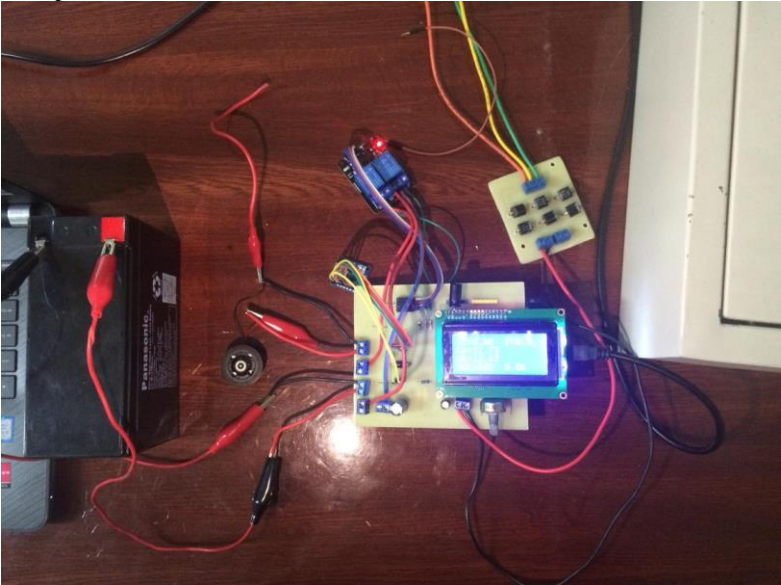
///unsigned long previousMillis=0;
///void loop()
///{
///
///
///unsigned long startTime = millis();
///if(startTime-previousMillis >= 50){
/// tes();
/// previousMillis = millis();
/// }

// if(soc<50)

```

```
//      {  
//      digitalWrite(4,1);  
//      digitalWrite(5,0);  
//      }  
//  if(soc>=60)  
//      {  
//      digitalWrite(4,0);  
//      digitalWrite(5,1);  
//      }  
  
if(soc<=100)  
    {  
        digitalWrite(4,1); // switch to charge  
        digitalWrite(5,0);  
    }  
  
if(soc>100)  
    {  
        digitalWrite(4,0);  
        digitalWrite(5,1); // switch to load  
    }  
  
//  if(0<=soc<5)  
//      {  
//      digitalWrite(4,0);  
//      digitalWrite(5,1); // switch to load  
//      }  
  
}
```

Lampiran 2





## BIODATA PENULIS



Nama penulis Adam Gilang Reynaldi. Penulis dilahirkan di Jakarta pada 05 Oktober 1995 sebagai anak pertama dari 3 bersaudara. Alamat penulis yaitu jalan cipinang muara, komplek PLN, RT.12 / RW. 15 No. 57, Jakarta Timur. Penulis telah menyelesaikan pendidikan di SDN 14, SMPN 52, SMA Jakarta Islamic School, dan Diploma 3 Metrologi dan Instrumentasi Universitas Gadjah Mada dan sedang menempuh pendidikan S1 Teknik Fisika FTI di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya hingga sekarang. Penulis mempunyai pengalaman kerja di bidang *testing and commisioning engineering* di P.T Kone Indo Elevator. Bagi pembaca yang memiliki kritik serta saran atau ingin berdiskusi lebih lanjut mengenai tugas akhir ini maka dapat menghubungi penulis melalui *email: adamnaldi\_gilang@yahoo.com*