

PROTOTYPE SISTEM KONTROL PENGISIAN BATERAI TIDAK LANGSUNG PADA PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID KAPASITAS 500 W

UbaedyRachmat¹⁾, Didik Notosudjono²⁾, Dede Suhendi³⁾

Abstrak

Energi listrik merupakan energi yang paling banyak digunakan dan menjadi kebutuhan dasar manusia yang terus meningkat dalam pemakaiannya seiring berjalannya waktu. Oleh karena itu dituntut untuk bisa mencari dan memanfaatkan energi alternatif guna memenuhi kebutuhan energi tersebut, seperti dengan menggabungkan (*hybrid*) antara energi angin dan energi matahari. Dalam pengaplikasiannya pembangkit listrik *hybrid* ini membutuhkan baterai sebagai media penyimpanan dan suatu kontroler sebagai pengatur. Dan pada kontroler yang dirancang ini merupakan kontroler tipe *indirect*, dimana menyalurkan energi listrik yang berasal dari pembangkit listrik dengan sumber *hybrid* menuju baterai ini dilakukan secara tidak langsung tetapi dengan perantara komponen mosfet terlebih dahulu, sehingga pengisian dan pengeluaran penggunaan daya pada baterai dapat diatur. Pada saat kondisi baterai telah terisi penuh, kontroler tersebut akan membaca parameter yang telah ditentukan dan akan memutus daya sumber *hybrid* menuju baterai untuk mencegah terjadinya *overcharge*. Kemudian, kontroler ini juga akan mengalihkan dan mengatur daya penggunaan baterai menuju *load*. Sistem kontrol pengisian baterai ini menggunakan mikrokontroler ATmega 32 dan mosfet sebagai otak dan pengendali sistem agar dapat berjalan dengan baik.

Kata Kunci : *kincir angin, panel surya, mikrokontroler, baterai, charger*

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi pada zaman modern saat ini terus meningkat dan energi listrik merupakan sumber energi yang paling banyak digunakan sampai dijadikan kebutuhan dasar sehingga dituntut untuk mencari berbagai macam energi listrik alternatif dalam memenuhi kebutuhan sehari – hari baik dalam skala rumah tangga maupun industri. Energi listrik alternatif ini haruslah menggunakan sumber energi baru terbarukan yang dikembangkan dalam pemanfaatannya karena sumber energi yang dihasilkan bersifat ramah lingkungan, tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global serta jumlahnya yang tidak terbatas karena energi yang didapatkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan sehingga dapat meminimalisir krisis energi dengan mengurangi pemakaian energi fosil dan minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui sehingga sewaktu – waktu dapat habis. [1]

Salah satu contoh penggunaan energi listrik alternatif bisa dengan membuat Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH). Namun dalam pengaplikasiannya pembangkit listrik alternatif surya dan angin ini membutuhkan media penyimpanan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan dengan menggunakan baterai disesuaikan dengan beban dan ketersediaan energi dari sumber yang digunakan sehingga energi listrik dapat digunakan di lain waktu. [2]

Berdasarkan permasalahan diatas akan dibuat suatu sistem kontrol *charging* baterai pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid angin dan *photovoltaic* dengan menggunakan ATmega 32 sebagai otak pengendali MOSFET sebagai rangkaian *driver* dalam proses *charging* maupun dalam mengatasi *overcharging* dengan mengatur proses *charging* apabila tegangan baterai dibawah nominalnya dan *men-discharge* daya menuju baterai apabila baterai telah terisi penuh. Kemudian, kontroler ini juga akan mengalihkan dan mengatur daya penggunaan baterai menuju *load*.

1.2 Maksud dan Tujuan

Merancang dan membuat suatu alat kontrol charging baterai pada Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid* (PLTH) ini bertujuan untuk mengefisienkan kinerja pengisian baterai, menjaga kondisi baterai agar tetap dalam kondisi aman sehingga masa pakainya lebih awet yang sumber tegangan daya masukannya berasal dari generator melalui kincir atau turbin angin sebagai penggerakannya dan sinar matahari yang dilengkapi dengan *monitoring* nilai tegangan dan arus sehingga dapat memberikan informasi aktual secara *realtime*.

II. TEORI DASAR

2.1 Sistem Hybrid

Sistem *hybrid* didefinisikan sebagai suatu sistem pembangkit tenaga listrik yang menggabungkan dua atau lebih pembangkit dengan sumber energi yang berbeda, umumnya bertujuan untuk memaksimalkan energi dengan harga murah, bebas polusi, kualitas daya yang baik dengan efisien dan optimal, sehingga diperoleh sinergi yang memberikan keuntungan ekonomis maupun teknis. [4]

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS merupakan pembangkit listrik alternatif yang menggunakan sinar matahari sebagai sumber energinya yang kemudian dikonversikan menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi *photovoltaic* yang terbuat dari bahan semi konduktor yang disebut *solar cell* atau sel surya. [5]

2.2.1 Prinsip kerja sel surya

Sel surya ini mampu menyerap, dipantulkan maupun melewati cahaya sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi *foton* ini. Energi *foton* pada cahaya matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron-elektron tadi dari ikatan atomnya dan elektron pun dapat bergerak bebas dengan adanya perpindahan elektron sehingga menimbulkan arus listrik.

Energi kinetik akan makin besar seiring dengan meningkatnya intensitas cahaya dari matahari sehingga semakin besar juga arus yang dihasilkan. [5]

2.2.2 Efisiensi sel surya

Efisiensi sel surya adalah rasio *output* listrik dari sel surya untuk energi insiden dalam bentuk sinar matahari. Efisiensi konversi energi (η) dari sel surya adalah persentase energi surya untuk yang sel terkena tidak diubah menjadi energi listrik. Maka untuk analisis data efisiensi konversi energi (η) yang didapat dinyatakan dalam persamaan 2.1 dibawah ini. [5]

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{V \times I}{P \times A} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

V : Tegangan nominal (Volt)

I : Arus (Ampere)

P : Rapatdayaintensitasmatahari

A : Luas modulsurya

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

PLTB adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan energi angin sebagai sumber energi yang digunakan untuk dapat menghasilkan energi listrik yang memanfaatkan energi kinetik angin dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Angin tersebut kemudian pada saat itu juga akan menerpa *blade* (bilah kincir) yang merupakan bagian dari generatorsesungguhnya dan memutar bagian rotor generator, putaran tersebut memberikan penyesuaian gerak tarik menarik pada stator tempat ditemukannya lilitan tembaga. [6]

Adapun syarat dan ketentuan kecepatan angin dimana kincir angin ini nantinya dapat menghasilkan energi listrik ditentukan oleh kondisi alam itu sendiri dapat dilihat pada tabel 1 berikut : [6]

Tabel 1. Tingkatan Kecepatan Angin Berdasarkan Kondisi Alam

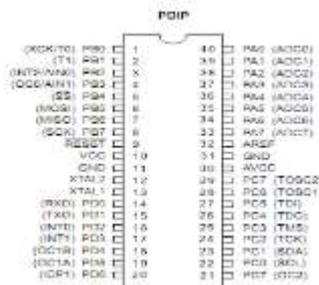
Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1	0,00 – 0,02	Angin tenang
2	0,3 – 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 – 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 – 5,4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 – 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon Bergoyang
6	8,0 – 10,7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 – 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air kolam berombak kecil
8	13,9 – 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 – 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 – 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah robu
11	24,5 – 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 – 32,6	Menimbulkan kerusakan parah

2.4 Kontroler

Kontroler pada dasarnya digunakan pada pembangkit listrik yang sumber energinya bersifat fluktuatif maupun konstan dimana alat ini berfungsi untuk mengatur besaran daya listrik yang akan masuk dan disimpan kedalam baterai pada saat proses *charging* serta mengatur besaran daya listrik yang mengalir dari baterai ke beban. Hal ini bertujuan untuk menjaga agar kondisi baterai tetap dalam kondisi yang baik, dalam hal ini menjaga dari terjadinya *overcharge* saat proses *charging*, serta *overload* saat baterai digunakan untuk mensuplai beban. Adapun komponen – komponen yang digunakan dalam kontroler ini diantaranya sebagai berikut :

2.4.1 Mikrokontroler ATmega 32

Mikrokontroler ATmega 32 merupakan sebuah chip sirkuit IC terpatu berisi memori, CPU, perangkat lunak, perangkat keras dan komponen lainnya sehingga bias diibaratkan sebagai jenis mikrokomputer yang paling dasar. Mikrokontroler ATmega 32 mempunyai konfigurasi pin mikrokontroler ATmega 32 dengan kemasan 40-pin. ATmega 32 memiliki 8 pin untuk masing-masing Gerbang A (*Port A*), Gerbang B (*Port B*), Gerbang C (*Port C*), dan Gerbang D (*Port D*) yang ditunjukkan gambar 1 dibawah ini. [7]



Gambar 1 Pin pada ATmega 32

Dalam pin Mikrokontroler ATmega 32 terdapat banyak sekali fitur dan beberapa fasilitas didalamnya, diantaranya :

a. Analog Digital Converter (ADC)

Perangkat elektronik yang dikenal sebagai ADC (*Analog to Digital Converter*) mengubah sinyal analog (sinyal kontinu) menjadi sinyal digital. Mikrokontroler ATmega32 memiliki fitur ADC (*Analog to Digital Converter*) sebanyak 8 saluran pada *port A* dengan resolusi 10-bit. [7]

b. Mode Fast Pulse Width Modulation

Gelombang persegi dengan siklus kerja tertentu menghasilkan berbagai nilai rata-rata gelombang dengan periode yang telah dilakukan dikenal sebagai *Pulse Width Modulation* (PWM). Pulsa dengan frekuensi tinggi dihasilkan oleh *Fast PWM* yang berbeda dengan mode PWM lain karena beroperasi dengan *single slope*. *Counter* mengitung dari bawah (*bottom*) hingga atas (*top*). Untuk menentukan keluaran nilai ferkuensi dari pwm pada mikrokontroler yaitu: *Mode Fast PWM*, TOP = FFh (256) dengan persamaan 2.2 berikut. [7]

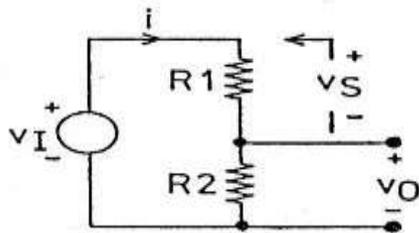
$$f_{ocPWM} = \frac{f_{oc}}{N \times 256} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- f_{ocPWM} : Frekuensi keluaran PWM (Hz).
- Foc : Frekuensi *osilator* mikrokontroler atau frekuensi *crystal* yang di gunakan (Hz)
- N : *Prescaler* (1,8,64,256,1024)
- OCR : Nilai *timer* pada *register* OCR
- TCNT : Nilai *timer* pada *register* TCNT

2.4.2 Sensor Tegangan

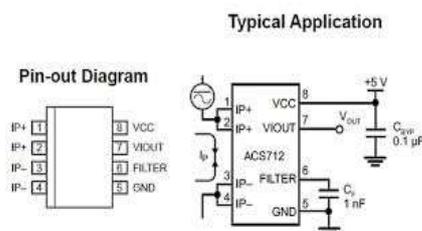
Sensor tegangan atau digital voltmeter adalah suatu alat atau komponen yang dapat mengukur nilai tegangan AC atau DC dalam bentuk angka diskrit. Sensor tegangan ini dapat dibuat dengan menggunakan IC atau dengan menggunakan mikrokontroler dengan memanfaatkan ADC (*Analog to Digital Converter*) dengan syarat tegangan yang sampai ke pin ADC atau V_s maksimal 5 Volt oleh karena itu diperlukan suatu rangkaian pembagi tegangan yang mana suatu rangkaian sederhana yang bertujuan untuk mengubah tegangan besar menjadi tegangan yang lebih kecil seperti pada gambar 2 rangkaian pembagi tegangan berikut ini : [8]



Gambar 2 Pembagi Tegangan

2.4.3 Sensor Arus

Sensor arus adalah suatu perangkat yang digunakan untuk mendeteksi nilai arus listrik baik AC maupun DC pada suatu penghantar dan menghasilkan nilai yang sebanding dengan itu. Untuk Sensor ini bisa menggunakan chipset atau IC ACS-712 prinsip kerjanya dengan cara *hall effect*, kapasitas kuat hantar arusnya sesuai dengan toleransi nilai arus yang dihasilkan pada suatu rangkaian atau komponen tertentu. Dibawah ini gambar 3 merupakan konfigurasi dari ACS – 712 seperti berikut ini : [35]



Gambar 3. Konfigurasi Chipset ACS-712

2.4.4 MOSFET IRFP 250

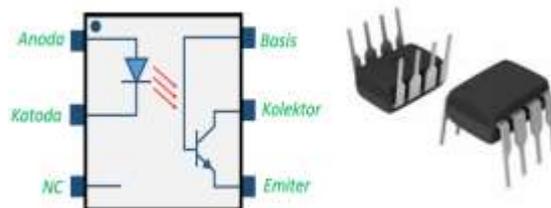
Suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu yang dikenal sebagai komponen MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*). Bahan silikon digunakan sebagai landasan (*substrat*) dari penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). Berikut gambar 4 ini merupakan MOSFET IRFP 250 :[8]



Gambar 4. MOSFET IRFP 250

2.4.5 Optocoupler 4n35

Optocoupler atau *photocoupler* adalah sebuah komponen elektronika yang menyalurkan sinyal listrik antara bagian sumber dengan bagian penerima melalui perantara cahaya. Dalam penerapannya, sebuah *optocoupler* dapat diperoleh dari sebuah IC (*Integrated Circuit*) seperti IC seri 4n35 seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Optocoupler 4n35

2.4.6 LCD 16x2

Salah satu jenis komponen media tampilan elektronik yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utamanya adalah LCD (*Liquid Crystal Display*) . LCD dot matriks dengan jumlah karakter 16x2 (16 kolom karakter dan 2 baris) digunakan dalam pembahasan LCD. Konfigurasi fisik LCD 16x2 ditunjukkan pada gambar 6 dibawah ini. [8]



Gambar 6. Bentuk Fisik LCD 16x2

2.4.6 Baterai

Baterai dapat diartikan sebagai sel listrik yang berlangsung proses elektrokimia secara bolak-balik (*reversible*) dengan nilai efisiensi yang tinggi. Disini terjadi proses perubahan tenaga kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya tenaga listrik menjadi tenaga kimia. [9]

Kemudian untuk mencari nilai arus dalam kapasitas baterai yang digunakan dapat dicari dengan menggunakan persamaan 2.3 berikut ini.

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

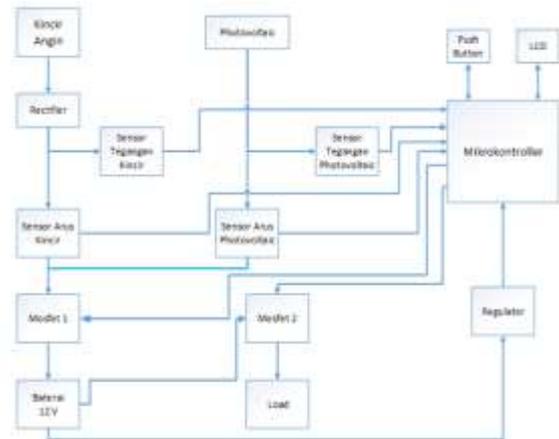
III. PERANCANGAN ALAT

3.1 Gambaran Umum Perancangan

Tujuan dari merancang alat ini yaitu untuk mengontrol masukan yang bersumber dari penggabungan dua jenis pembangkit yang disebut sistem *hybrid* antara Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu yang masuk ke baterai dalam proses pengisian (*charging*) dimana setelah baterai penuh agar tidak *overcharging* yang kemudian dialihkan atau disalurkan ke beban lalu mengatur proses penggunaan (*discharge*) daya baterai yang disesuaikan dengan parameter serta *memonitoring* nilai besaran listrik berupa tegangan sumber (Pembangkit Listrik Tenaga Surya, Pembangkit Listrik Tenaga Bayu), tegangan dan arus menuju baterai.

Setelah mengetahui manfaat penggunaan alat yang dimaksudkan diatas, langkah berikutnya adalah membuat rangkaian skematik melalui perangkat keras (*hardware*) dan perangkat

lunak (*software*), kemudian diuji cobakan. Gambar 7 merupakan gambaran simulasi sistem kerja dari perancangan alat ini seperti berikut :



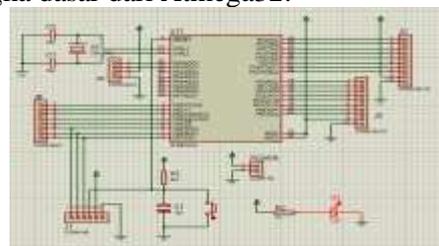
Gambar 7. Blok Diagram Sistem Kerja Alat

3.2 Perancangan Perangkat Keras

Dalam perancangan perangkat keras ini, terdiri dari beberapa perancangan diantaranya :

3.2.1 Perancangan rangkaian sistem minimum mikrokontroler ATmega 32

Pada alat kontroler *hybrid* ini diperlukan rangkaian rangka dasar agar mikrokontroler ATmega 32 dapat bekerja dengan baik. Pada gambar 8 dibawah ini merupakan rangkaian rangka dasar dari Atmega32.

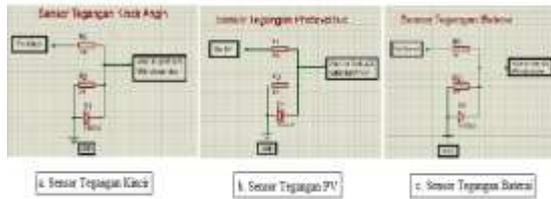


Gambar 8. Rangkaian Rangka Dasar Mikrokontroler ATmega 32

3.2.2 Perancangan sensor tegangan

Perancangan rangkaian sensor tegangan pada alat kontroler *hybrid* ini menggunakan komponen resistor yang disusun dan dirangkai dengan menggunakan metode rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian sensor tegangan ini akan digunakan untuk membaca dan

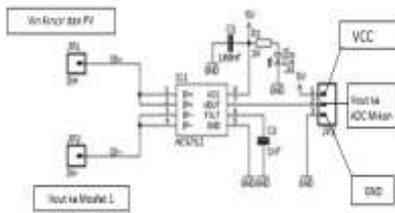
mengetahui nilai besaran tegangan masukan dari sumber generator kincir angin, dan *photovoltaic*, serta tegangan baterai seperti pada gambar 9 rangkaian sensor tegangan berikut.



Gambar 9. Rangkaian Sensor Tegangan

3.2.3 Perancangan sensor arus

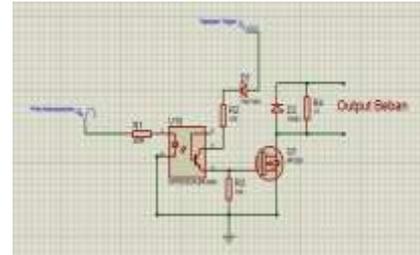
Perancangan rangkaian sensor arus pada alat kontroler *hybrid* ini dengan menggunakan *chipset* atau modul dari ACS-712 yang berkerja dengan cara *hall effect* kapasitas kuat hantar arusnya sesuai dengan toleransi nilai arus yang dihasilkan. Adapun gambar 10 merupakan gambar dari rangkaian sensor arus menuju baterai seperti berikut ini.



Gambar 10. Rangkaian Sensor Arus

3.2.4 Perancangan switching PWM charger

Perancangan rangkaian *switching* PWM *charger* ini menggunakan komponen *photocoupler* sebagai *input* pin *channel* PWM yang bersumber dari mikrokontroler ATmega 32, dalam hal ini dimaksudkan bahwa *photocoupler* digunakan sebagai pengendali mosfet yang mengisolasi kontak antara tegangan PWM yang berasal dari mikrokontroler dengan tegangan yang dibutuhkan sebagai *trigger gate* mosfet dalam menggerakan atau mengaktifkan saklar *on* atau *off*. Pada rangkaian *switching* PWM *charger* ini menggunakan komponen – komponen seperti resistor , *photocoupler*, dioda, mosfet yang saling terhubung seperti gambar 11 dibawah ini :

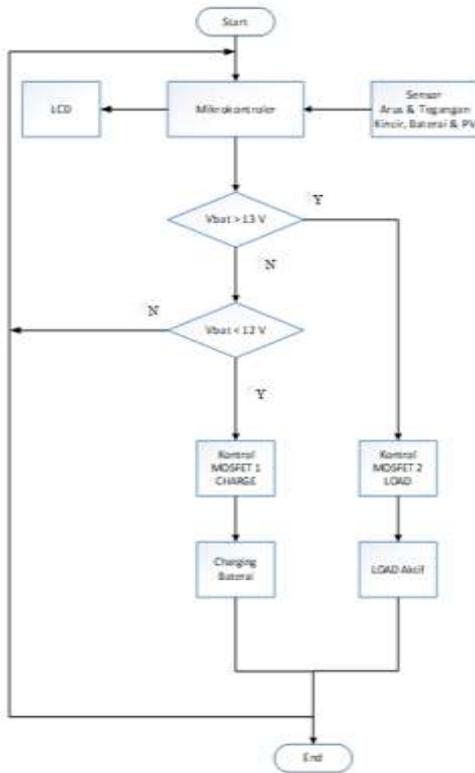


Gambar 11. Rangkaian *Switching* PWM *Charger*

Pada *switching* PWM ini perlu diatur terlebih dahulu dan pada rangkaian diatas frekuensi PWM yang digunakan sebesar 11 kHz, apabila kristal yang digunakan sebesar 12 MHz, maka dengan menggunakan nilai *prescaler* (N) = 1 dapat dihitung dengan persamaan 2.2 adalah seperti berikut. Mode PWM yang digunakan adalah *Fast* PWM, $TOP=FFh$. $F_{ocPWM} = \frac{12\text{ MHz}}{1024 \times (1+1024)} = 11,43\text{ KHz}$

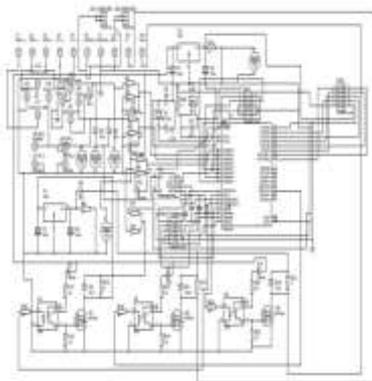
3.3 Perancangan Perangkat Lunak

Secara garis besar dalam merancang perangkat lunak ini sebagai pendukung dari perangkat keras dengan pembuatan skematik alat pada proteus 8 dan juga memprogram mikrokontroler menggunakan *software* Codevision AVR, hal ini memungkinkan mikrokontroler untuk memproses data yang diterima dari beberapa jenis sensor yang akan digunakan pada alat ini kemudian diolah sehingga dapat bekerja sesuai dengan diagram alir kerja alat kontroler *hybrid*, berikut adalah diagram alir dari perancangan kontroler *hybrid* pada gambar 12 dibawah ini :



Gambar 12 Diagram Alir Perancangan Kontroler *Hybrid*

Kemudian langkah berikutnya ialah membuat skematik rangkaian keseluruhan alat kontroler *hybrid* dan menjadikannya PCB layout. Skematik kontroler *hybrid* yang dapat dilihat pada gambar 13 berikut ini :



Gambar 13. Skematik Kontroler *Hybrid*

3.4 Pembuatan Prototipe Kontroler *Hybrid*

Setelah selesai merancang skematik PCB menggunakan *software* Proteus 8 serta memprogram *chip* ATmega 32 menggunakan *software* Codevision AVR. Selanjutnya adalah

proses pencetakan PCB *board*. Pencetakan PCB dilakukan di pabrikan menggunakan desain yang telah dibuat sebelumnya. Tujuannya adalah agar hasil akhir dari kontroler lebih rapi dibandingkan melarutkan PCB secara manual. Pada gambar 14 berikut ini merupakan PCB kontroler *hybrid* yang telah selesai di cetak.



Gambar 14. PCB Kontroler *Hybrid*

Setelah PCB selesai dibuat, selanjutnya adalah proses perakitan komponen - komponen pada PCB seperti pada gambar 15 berikut.



Gambar 15. Perakitan PCB

3.5 Spesifikasi Perangkat Pendukung Kontroler *Hybrid*

Kontroler *hybrid* yang telah dibuat akan digunakan bersama dengan perangkat pendukung lainnya. Dimana kontroler akan berfungsi untuk menjembatani antara sumber catu daya dengan beban. Perangkat-perangkat tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut.

3.5.1 Jenis kincir angin

Kincir Angin yang digunakan adalah merk Naier Jiangsu China dengan nomor model NE-300L. Berikut adalah gambar dari kincir angin yang digunakan :



Gambar 16. Kincir Angin Naier Jiangsu China NE-300L

Adapun spesifikasi dari kincir angin tersebut adalah :

Tabel 2. Spesifikasi Kincir Angin

Nilai Daya	300 Watt
Daya Maksimum	450 Watt
Start Kecepatan Angin	2 m/s
Maksimal	15 m/s
Nilai Kecepatan Angin	10 m/s
Jenis Generator	3 Fasa Magnet Permanen AC Generator Sinkron
Bahan Casing Generator	Casting Aluminium Alloy
Tegangan Kerja Output	12 Volt
Jumlah Blades	5 Buah
Bahan Blades	Serat Fiber

3.5.2 Jenis phovoltaic

Phovoltaic yang digunakan adalah merk Taiyo Power dengan tipe *Monocrystalline*. Gambar 17 merupakan gambar *photovoltaic* yang dipakai sebagai berikut :



Gambar 17. PV *Monocrystalline*

Adapun spesifikasi dari photovoltaic tersebut adalah :

Tabel 3. Spesifikasi Photovoltaic

Maximum Power	100 Wp
Optimum Voltage (V_{mp})	17,6 Volt
Optimum Current (I_{mp})	5,68 Ampere
Open Circuit Voltage (V_{oc})	21,09 Volt
Short Circuit Current (I_{sc})	5,08 Ampere
Nominal Operating Temperature	50° C
Operation Temperature	-40° C to 85° C
Maximum System Voltage	1.000 Volt DC

3.5.3 Jenis baterai

Baterai aki yang digunakan adalah aki mobil TITANIUM NS60-MF tipe G Force. Gambar 18 merupakan gambar dari baterai aki yang dipakai sebagai berikut :



Gambar 18. Baterai Aki G Force NS60-MF

Adapun spesifikasi dari baterai aki tersebut adalah :

Tabel 4. Baterai Aki G Force TITANIUM NS60-MF

Battery	Kering
Color	Black
Voltage	12 Volt
Capacity	45 Ah

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

4.1 Pengujian Alat dengan Autotrafo

Sebelum dapat diterapkan pada PLTH yang sebenarnya, langkah awal yang dilakukan dengan mencoba atau mensimulasikan alat ini terlebih dahulu oleh karena itu pengujian alat dengan *autotrafo* dilakukan yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kerja alat kontroler *hybrid* serta berfungsi sebagai simulasi menggantikan PLTB dan PLTS sebagai sumber masukan tegangan dan arus *charging* ke baterai. Pada gambar 19 dibawah ini merupakan uji coba proses pengujian pada alat kontroler *hybrid* yang dihubungkan ke *autotrafo*, Trafo CT, dengan penyearah *full wave*.



Gambar 19. Pengujian Alat Kontroler menggunakan *Autotrafo*, Trafo CT dengan Penyearah *Full Wave*

Kemudian pada tabel 5 dibawah ini menunjukkan data yang didapat dari hasil uji coba proses pengujian pada alat kontroler *hybrid* yang dihubungkan ke rangkaian *autotrafo*, Trafo CT dengan penyearah *full wave*.

Tabel 5. Hasil Pengujian Alat dengan Rangkaian *Autotrafo*, Trafo CT dengan Penyearah *Full Wave*

Tegangan Autotrafo (V)	Tegangan AC Trafo (V)	Tegangan DC (V)	Arus Pengisian (A)	Tegangan Baterai (V)	Tegangan Load (V)
10	2,5	2,1	0	11,8	0
20	5,8	3,5	0	11,8	0
30	8,8	4,7	0	11,8	0
40	11,1	5,6	0	11,8	0
50	15,1	7	0	11,8	0
60	18,1	8,4	0,72	11,8	0
70	20,7	9,3	0,74	11,8	0
80	23,1	9,9	0,76	11,9	0
90	24,9	10,6	0,77	11,9	0
100	26,6	11,1	0,8	12	0
110	28,8	11,6	1	12,1	0
120	30,7	12	1,8	12,3	0
130	32,3	12,4	2	12,3	0
140	34	12,7	2,8	12,4	0
150	35,5	13,1	3	12,5	0
160	37,1	13,4	3,7	12,5	0
170	38,2	13,5	4	12,6	0
180	40,2	13,9	4,8	12,7	0
190	41,4	14	5	12,8	0
200	43	14,3	5,3	12,9	0
210	46,2	14,8	5,8	13	13
220	48	15,6	6,4	13	13

Bisa dilihat pada data pengujian pada tabel 5 diatas menunjukkan pada saat tegangan DC bateraibernilai 11,8 Volt maka *switch charge* akan aktif yang mana baterai akan melakukan pengisian (*charging*). Tegangan yang dijadikan parameter untuk mengaktifkan *switchcharge* dalam kontroler tersebut adalah pada saat tegangan baterai kurangdari 12 Volt.

Selanjutnya ditampilkan pula pada tabel 5 saat tegangan DC masih berada di bawah tegangan yang diatur untuk mengaktifkan *switch load* maka tegangan *load* akan terbaca 0. Pengaturan *switch load* akan aktif terjadi jika tegangan yang diberikan pada program kontroler tersebut melebihi dari 13 Volt tegangan pada baterai dan memutuskan atau menonaktifkan *switch charging* sehingga baterai berhenti *charge* baterai tidak berumur pendek bahkan rusak.

4.2 Pengujian Alat dengan Sumber Hybrid

Pada pengujian kali ini melakukan pengukuran proses pengisian baterai dengan menggunakan kontroler yang dihubungkan dari dua sumber berbedayaitu dengankincir angin dan juga *photovoltaic*. Pada gambar 20 berikut ini merupakan proses pengujian dan pengukuran pengisian kontroler dengan sumber kincir dan *photovoltaic*.



Gambar 20. Pengujian dan Pengukuran Kontroler dengan Sumber PV dan Kincir

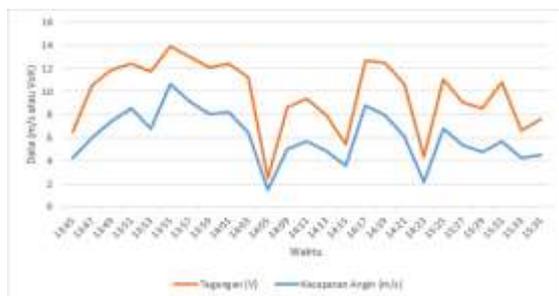
4.2.1 Pengujian dengan kincir angin

Pengujian awal menggunakan kincir angin dengan cara menghubungkan kabel keluaran generator kincir angin yang memiliki tiga buah kabel keluaran ke kontroler yang selanjutnya akan disearahkan diubah dari tegangan AC menjadi tegangan DC. Kemudian menggunakan alat bantu anemometer untuk mengetahui nilai kecepatan angin. Dari hasil yang diperoleh atas pengujian tegangan dan arus serta perhitungan daya dari kincir angin dengan menggunakan persamaan (2.3), diperoleh data seperti yang terlihat pada tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Kincir Angin dengan Kontroler

Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan Baterai (V)
13:45	4,2	6,52	0,40	2,60	11
13:47	6	10,58	0,85	8,99	11
13:49	7,4	11,85	0,96	11,37	11
13:51	8,5	12,48	1,24	15,47	11,1
13:53	6,8	11,68	0,93	10,86	11,1
13:55	10,6	13,95	2,9	40,45	11,4
13:57	9,1	13,01	2,5	32,52	11,5
13:59	8	12,10	1,02	12,34	11,6
14:01	8,2	12,40	1,20	14,88	11,7
14:03	6,4	11,24	0,91	10,22	11,7
14:05	1,5	2,5	0,00	0,00	11,7
14:09	5	8,62	0,66	5,68	11,7
14:11	5,7	9,40	0,73	6,86	11,8
14:13	4,8	7,92	0,58	4,59	11,8
14:15	3,6	5,43	0,19	1,03	11,8
14:17	8,8	12,63	1,34	16,92	11,9
14:19	7,9	12,5	1,28	16	12
14:21	6,1	10,60	0,87	9,22	12
14:23	2,1	4,32	0,05	0,21	12
15:25	6,8	11,04	0,90	10,04	12,1
15:27	5,3	9,02	0,70	6,94	12,1
15:29	4,7	8,56	0,60	5,13	12,1
15:31	5,7	10,83	0,88	9,53	12,2
15:33	4,2	6,60	0,45	1,65	12,2
15:35	4,5	7,56	0,52	2,41	12,2

Dari data pada tabel 6 dapat diketahui, bahwa kecepatan angin yang berhembus cenderung tidak stabil (fluktuatif) dan bisa mengetahui bahwa semakin tinggi kecepatan angin yang berhembus, maka semakin besar pula tegangan yang dihasilkan oleh PLTB. Pada gambar 21 merupakan grafik perbandingan antara kecepatan angin dengan tegangan yang dihasilkan.



Gambar 21. Grafik Perbandingan antara Tegangan dan Kecepatan Angin

Grafik pada gambar 21 dapat diketahui kecepatan angin yang berhembus tidak stabil. Data yang ditunjukkan oleh gambar 21 menunjukkan kecepatan angin yang cenderung fluktuatif. Kecepatan angin yang tidak stabil akan mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan, seperti yang terdapat pada tabel 6.

Dari gambar 21 dapat diketahui tegangan yang dihasilkan akan relevan jika dibandingkan dengan data kecepatan angin. Seperti data pada tabel 6 dan gambar grafik 21 Pada pukul 13.57, Saat kecepatan angin naik pada kisaran 9,1 m/s maka tegangan juga akan naik menjadi 13,01 Volt. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin angin sangat dipengaruhi oleh kondisi angin. Tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin angin akan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan angin. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan listrik yang dihasilkan oleh turbin angin berhubungan erat dengan kecepatan angin.

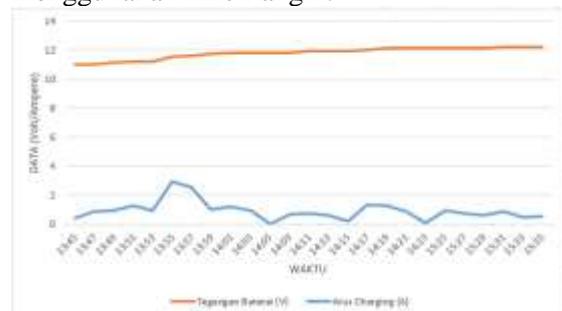
Lalu data dalam tabel 6 kemudian dapat disajikan secara grafis. Maksud dari disajikan secara grafis adalah untuk dapat mengetahui status kenaikan arus yang meningkat yang sedang berlangsung pada saat dilakukannya pengujian. Grafik arus pengisian baterai dengan kincir angin dapat dilihat pada gambar 22 dibawah ini.



Gambar 22 Grafik Arus Pengisian Baterai dengan Menggunakan Kincir

Dapat dilihat bentuk grafik dengan jelas pada gambar 22 bahwa arus pengisian ke baterai dari kincir angin pada umumnya akan berubah - ubah. Hal ini disebabkan bahwa keluaran arus listrik kincir angin dipengaruhi juga oleh peningkatan tegangan yang disebabkan kecepatan angin yang menggerakkan bilah turbin pada kincir angin. Dengan menggunakan data pada tabel 6 Saat tegangan naik menjadi 13,95 Volt, besar arus yang dihasilkan pun ikut naik menjadi 2,9 ampere. Maka dapat diketahui bahwa tegangan yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan arus yang dihasilkan. Jika kecepatan angin semakin tinggi, maka kinerja generator akan meningkat dan tegangan serta arus yang dihasilkan akan meningkat pula. Hal ini membuktikan bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan besaran tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator.

Dan pada gambar 23 berikut ini merupakan grafik perbandingan arus pengisian baterai 12 Volt dengan kenaikan tegangan baterai menggunakan kincir angin.



Gambar 23. Grafik Tegangan Baterai 12 Volt terhadap Arus Charging Menggunakan Kincir Angin

Terlihat jelas dari data grafik pada gambar 23 bahwa seiring meningkatnya tegangan dan arus pengisian yang bersumber dari kincir angin demikian pula tegangan baterai akan ikut meningkat. Pada pukul 13:49 saat

tegangan pengisian (*charging*) kincir angin 11,85 Volt dan masih dibawah tegangan baterai yang bernilai 12 Volt, maka status tegangan pada baterai relative biasa – biasa saja tidak ada pengisian dan peningkatan. Hal ini terjadi akibat tegangan *charging* pada kincir angin baru bisa mengisi baterai ketika tegangannya lebih tinggi dari tegangan baterai. Seperti pada pukul 13:51 saat tegangan *charging* 12,48 Volt, tegangan baterai akan ikut naik menjadi 11,1 Volt. serta arus *charging* bisa masuk ke dalam baterai.

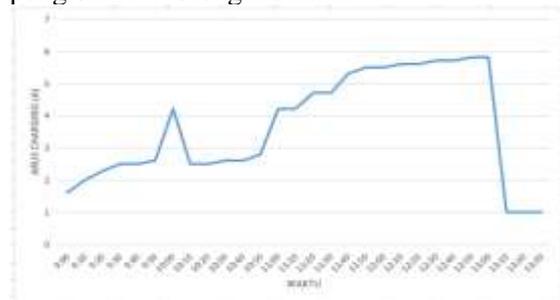
4.2.2 Pengujian dengan photovoltaic

Pada tahap ini, pengisian daya baterai 12 Volt akan diuji menggunakan energi listrik yang bersumber dari panel surya. Panel surya yang digunakan ialah dengan tegangan Open Circuit (Voc) sebesar 21,9 Volt dan tegangan *maximum operation* (Vmp) sebesar 17,6 Volt ~ 18 Volt untuk pengisian baterai 12 Volt. Dalam pengujian ini digunakan dua PV dengan kapasitas yang sama yaitu 100 Wp. Dua PV ini dihubungkan secara paralel agar tegangan PV menjadi lebih stabil dan melebihi tegangan nominal baterai sehingga dapat mengisi masuk kedalam baterai dan tidak melebihi range baterai. Kemudian dalam memparalel PV harus diperhatikan dalam penyambungan kabel dan penggabungan PV yang mana tidak boleh PV yang spesifikasinya berbeda atau dalam artian spesifikasi PV harus sama. Data tegangan dan arus diperoleh dari hasil pengujian sedangkan nilai daya diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan (2.3). Berikut ini merupakan data pengujian PV yang ditunjukkan oleh tabel 7.

Tabel 7. Data Pengujian PV dengan Kontroler

Waktu	Tegangan Charging (V)	Arus Charging (A)	Daya (W)	Tegangan Baterai (V)	Kondisi Cuaca
9:00	13,1	1,6	34	11,4	Berawan
9:10	13,3	2	26,6	11,6	Berawan
9:20	13,4	2,3	30,8	11,6	Berawan
9:30	13,5	2,5	33,7	11,7	Berawan
9:40	13,5	2,5	33,7	11,7	Berawan
9:50	13,6	2,6	35,3	11,8	Berawan
10:00	14	4,2	58,8	12	Cerah
10:10	13,5	2,5	27,8	12,1	Berawan
10:20	13,5	2,5	33,7	12,1	Berawan
10:30	13,6	2,6	35,3	12,3	Berawan
10:40	13,6	2,6	35,3	12,3	Berawan
10:50	13,8	2,8	38,6	12,4	Berawan
11:00	14	4,2	58,8	12,5	Cerah
11:10	14	4,2	58,8	12,6	Cerah
11:20	14,1	4,7	66,2	12,7	Cerah
11:30	14,1	4,7	66,2	12,8	Cerah
11:40	14,2	5,3	75,2	13	Cerah
11:50	14,3	5,5	78,6	13	Cerah
12:00	14,3	5,5	78,6	13	Cerah
12:10	14,3	5,6	80	13	Cerah
12:20	14,3	5,6	80	13	Cerah
12:30	14,4	5,7	82	13	Cerah
12:40	14,4	5,7	82	13	Cerah
12:50	14,5	5,8	84,1	13	Cerah
13:00	14,5	5,8	84,1	13	Cerah
13:10	13	1	13	13	Mendung
13:20	13	1	13	13	Mendung
13:30	13	1	13	13	Mendung

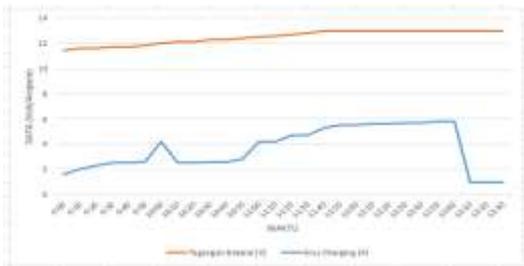
Berdasarkan data pada tabel 7 dapat dilihat bahwa arus pengisian yang dihasilkan oleh PV semakin bertambah besar seiring berjalannya waktu menuju siang hari dan jumlah intensitas penyinaran cahaya matahari yang semakin tinggi. Gambar 24 menampilkan data arus pengisian PV sebagai berikut :



Gambar 24. Grafik Arus Pengisian Baterai Menggunakan PV

Berdasarkan data hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa semakin siang dan cerah cuaca, maka akan semakin besar pula arus pengisian baterai. Hal ini dikarenakan besar arus pengisian dipengaruhi oleh cerahnya intensitas sinar matahari oleh karena itu peletakan panel surya harus secara tepat agar bisa mendapat intensitas cahaya matahari secara maksimal. Arus peak atau puncak dari pengisian senilai 5,8 A dilihat dari data hasil pengujian.

Tegangan dan Arus yang dihasilkan dari PV berbanding lurus dengan intensitas cahaya matahari apabila tegangan dan arus semakin besar berkesinambungan karena intensitas cahaya matahari yang semakin tinggi dan ini akan mempengaruhi tegangan baterai. Grafik hubungan antara tegangan baterai terhadap arus pengisian ditunjukkan pada gambar 25 dibawah ini:



Gambar 25. Grafik Perbandingan Tegangan Baterai 12 Volt terhadap Arus Charging Menggunakan PV

Terlihat dari data grafik pada gambar 25 bahwa tegangan dan arus *charging* yang dihasilkan dari PV akan meningkatkan tegangan baterai. kondisi tegangan baterai relative biasa-biasa saja ketika tegangan dan arus *charging* PV masih dibawah tegangan baterai. Hal ini disebabkan karena tegangan dan arus *charging* pada PV akan mengisi baterai ketika tegangannya lebih tinggi tegangan baterai, sehingga arus *charging* dapat masuk kedalam baterai.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses pengujian dan penelitian yang digunakan untuk merancang alat ini yang ada Bab IV, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian kontroler hybrid yang mencakup simulasi autotransformator dan rangkaian penyearah gelombang penuh (*full wave*), kontroler bekerja sesuai dengan parameter yang ditentukan dimana sakelar switch charging akan melakukan pengisian apabila baterai kurang dari 12 V sampai baterai terisi penuh yaitu 13 volt dan barulah

mengalihkan beban dengan aktifnya atau bekerjanya switch load.

2. Berdasarkan hasil pengujian *Phovoltaic* tipe monocrystalline 100 Wp yang dipakai dengan cara disusun secara parallel sehingga PV menjadi berkapasitas 200 Wp Namun pada pengujian sesungguhnya didapatkan tegangan ketika waktu peak atau cuaca cerah mencapai 14,5 Volt dan arus mencapai 5,8 Ampere dengan daya yang dihasilkan sebesar 84,1 Watt.
3. Kincir angin yang diuji menghasilkan daya listrik sebesar 40,45 watt. Menurut spesifikasi kincir angin yang digunakan dapat menghasilkan daya hingga 300 W. Daya yang diperoleh tidak optimal dikarenakan adanya beberapa faktor yang mempengaruhi. Salah satunya adalah faktor ketidaksesuaian lokasi pengujian dan faktor penempatan. Di lokasi pengujian yang berada di daerah perkotaan Rata-rata kecepatan angin hanyalah 2-6 m/s. Sementara jika dilihat secara spesifik kincir angin akan bekerja ideal pada kecepatan angin 8 – 10 m/s.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dari perancangan ini, masih terdapat beberapa hal yang harus dikembangkan, antara lain :

1. Untuk penerapan pada pembangkit listrik dengan kapasitas yang lebih besar, diperlukan kajian untuk menentukan kebutuhan komponen yang diperlukan.
2. Dalam penerapan PLTH antara PLTB dan PLTS alangkah baiknya dilakukan analisa terhadap lokasi terlebih dahulu agar PLTH menghasilkan daya output yang maksimal dan beroperasi secara optimal

DAFTAR PUSTAKA

- [1]Kementerian ESDM, 2016, *Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan*. Jakarta.

- [2] Hongxing Yang, Lin Lu, Wei Zhou, 2007, *A Novel Optimization Sizing for Hybrid Solar-Wind Power Generation*. RERG Sciene Dirrect, Elsevier.
- [3] Yong Yin, Xing Luo, Shen Guo, Zude Zhou and Jihong Wang, 2008, *A Battery Charging Control Strategy for Renewable Energy Generation Systems*, London, UK.
- [4] M.H Nehrir, dkk, 2011, *A Review of Hybrid Renewable/Alternative Energy System for Electric Power Generation*, *IEEE Transaction*.Amerika Serikat. 393-403.
- [5] Boxwell, Michael, 2017, *Solar Electricity Handbook 11 Edition*. United Kingdom : Greenstream Brimingham. 11 , dan 12-13.
- [6] Bachtiar, Antonov, dan Hayatul, 2018, *Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAS) Ciheras*, Padang : Institut Teknologi Padang.
- [7] Andrianto, H., 2013, *Pemrograman Mikrokontroler AVR Atmega 16 menggunakan Bahasa C (CodeVision AVR)*, Informatika, Bandung.
- [8] Yosef, Yeremias, 2018, *Control Charger Baterai untuk Panel Surya atau Generator Kincir Angin*, Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.
- [9] Alfizeri, Fadhli Palaha. 2017. *Pengujian Prototipe Proteksi Instalasi Rumah Menggunakan ACS 758 Berbasis Arduino*. Jurnal STT Pekanbaru, 5(2), 67 – 74.

PENULIS

1. **UbaedyRachmat, S.T.**
Alumni (2020) Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor.
Email:ubaedyrachmat17@gmail.com
2. **Prof. Dr. Ir. H. Didik Notosudjono, M.Sc.**
Guru Besar Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor.
Email:dnotosudjono@gmail.com
3. **Ir. Dede Suhendi, MT**
Staf Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor.
Email:suhendetri23@gmail.com