

TUGAS AKHIR

ANALISA PERBANDINGAN OPTIMASI PENGISIAN DAYA BATERAI (ACCU) PADA PLTB DAN PLTS MENGGUNAKAN SOLAR CHARGER CONTROLLER TIPE PWM DAN MPPT

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh :

NINO WANANDA
1407220065



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

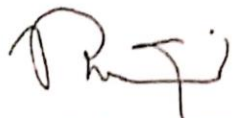
Nama : Nino Wananda
NPM : 1407220065
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Perbandingan Optimasi Pengisian Daya Baterai (*Accu*)
Pada PLTB Dan PLTS Menggunakan *Solar Charger Controller*
PWM Dan MPPT

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



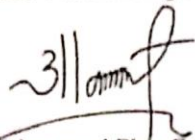
Rimbawati, ST.MT

Dosen Pembimbing II / Penguji



Noorly Evalina, ST.MT

Dosen Pembimbing I / Penguji



Dr. Muhammad Fitra Zambak, M.Sc

Dosen Pembimbing II / Penguji



Solly Aryza, ST.M.Eng

Program Studi Teknik Elektro
Ketua,



Faisal Hasan Pasaribu, S.T.M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Nino Wananda
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 29-Mei-1995
NPM : 1407220065
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro



Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisa Perbandingan Optimasi Pengisian Daya Baterai (*Accu*) Pada PLTB Dan PLTS Menggunakan *Solar Charger Controller* PWM Dan MPPT”,

Dengan sebenar-benarnya bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dari naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 21 Maret 2019

Saya Yang Menyatakan



ABSTRAK

Penggunaan *solar charge controller* yang tidak dapat bekerja dengan baik pada pembangkit listrik tenaga bayu dan matahari dengan sistem *off-grid* dapat menyebabkan proses pengisian energi listrik kedalam baterai (*accu*) menjadi tidak maksimal dan pada kondisi tertentu dapat menghentikan proses pengisian energi listrik kedalam baterai (*accu*). Penelitian terhadap analisa perbandingan *solar charge controller* PWM dan MPPT bertujuan untuk menentukan *solar charge controller* yang dapat bekerja dengan baik pada sistem *off-grid* dan mampu melakukan pengisian energi listrik dengan baik pada baterai (*accu*). Selanjutnya, data penelitian yang dihasilkan memperlihatkan bahwa *solar charge controller* MPPT mampu menghasilkan nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) maksimum sebesar 1,5Ampere, 14,48 Volt dan 21,11 Watt pada PLTB. Kemudian, *solar charge controller* MPPT mampu menghasilkan nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) maksimum sebesar 4 Ampere, 14,26 Volt, dan 57,04 Watt pada PLTS saat hubungan seri, dan menghasilkan nilai sebesar 4,46 Ampere, 14,28 Volt Dan 63,68 Watt saat hubungan paralel. Berdasarkan data penelitian yang diperoleh, diketahui bahwa *solar charge controller* MPPT dapat bekerja lebih baik pada sistem *off-grid* dan dapat mengoptimasi pengisian daya pada baterai (*accu*) lebih baik dibandingkan *solar charge controller* PWM

Kata Kunci : Sistem Pembangkit Listrik On-Grid Dan Off-grid, PLTB, PLTS
Solar charge controller PWM, Solar charge controller MPPT

ABSTRACT

The use of solar charge controller that cannot work properly on wind power and solar power plants with off-grid systems can cause the process of charging electrical energy into batteries (batteries) to be not optimal and in certain conditions can stop the process of charging electrical energy into the battery (battery).) The study of the comparative analysis of PWM and MPPT solar charge controller aims to determine the solar charge controller that can work well on the off-grid system and is capable of charging electrical energy well on batteries (batteries). Furthermore, the research data produced shows that MPPT solar charge controller is able to produce current and voltage values as well as maximum output power of 1.5 Ampere, 14.48 Volt and 21.11 Watt in PLTB. Then, MPPT solar charge controller is able to produce current and voltage values as well as maximum output power of 4 Ampere, 14.26 Volts, and 57.04 Watts in PLTS during a series connection, and produces a value of 4.46 Ampere, 14, 28 volts and 63.68 watts when parallel relations. Based on the research data obtained, it is known that MPPT's solar charge controller can work better on off-grid systems and can optimize battery charging (battery) better than PWM solar charge controller.

Keywords: *Off-grid Power Generation System, PLTB, PLTS PWM Charge Controller, MPPT Charge Controller*

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum wr.wb.

Puji syukur penulis haturkan ke hadirat ALLAH SWT yang telah memberi dan melimpahkan segala nikmat, rahmat, serta inayah-Nya kepada penulis. Berkat kuasa-Nya, penulis memiliki kekuatan dan kesabaran untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Shalawat beriring salam tak lupa penulis panjatkan kepada baginda besar Nabi Muhammad SAW yang mana beliau merupakan suri tauladan yang telah membawa begitu banyak manfaat dan mengajarkan kebaikan serta ilmu pengetahuan bagi kita semua.

Tulisan ini ditujukan sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat kelulusan dan ketentuan dalam memperoleh gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul pada tugas akhir ini adalah ***“Analisa Perbandingan Optimasi Pengisian Daya Baterai (Accu) Pada PLTB Dan PLTS Menggunakan Solar Charge Controller Type PWM (Dan MPPT)”***

Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda Suriono Dan Ibunda Suwarni tersayang serta adik-adik tercinta Desi Fitria Ramadhani Dan Nabila Azhar yang dengan tulus memberikan begitu banyak semangat dan dorongan serta doa yang tiada henti sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

2. Bapak Agussani M.AP selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansuri Siregar, ST, M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Partaonan Harahap, ST, MT. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro.
6. Ibu Rimbawati, ST, MT. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Ibu Noorly Evalina, ST, MT. Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
8. Bapak DR. M. Fitra Zambak, ST, M.Sc Selaku Dosen Pembimbing I.
9. Bapak Solly Aryza, ST, M.Eng Selaku Dosen Pembimbing II
10. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
12. Teman-teman seangkatan dan seperjuangan Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro angkatan 2014 khususnya Tubagus Jaka Suriya, ST, Yolanda Danu Putro, Muhammad Rafiq, dan Candra Saputra yang selalu dan saling memberi dukungan serta motivasi kepada penulis.
13. Dan yang terkasih Silvira Clarisha, S.Ak yang selalu memberikan semangat, motivasi, maupun dorongan dan dukungan serta doa kepada penulis, untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tulisan tugas akhir ini masih jauh dari kata baik dan sempurna, terdapat banyak kekurangan baik itu dari segi kualitas maupun dari segi kuantitas bahan observasi yang penulis tampilkan. Hal ini disebabkan karena kekurangan serta keterbatasan kemampuan yang penulis miliki, oleh sebab itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari segenap pihak yang dapat membuat tugas akhir ini menjadi lebih baik.

Akhir kata penulis berharap agar setiap bantuan yang diberikan oleh segenap pihak baik itu bantuan moral maupun bantuan material dapat menjadi ladang kebaikan. Dan semoga tulisan ini dapat memberi manfaat serta menambah wawasan pengetahuan bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Wassalamu'alakum wr.wb

Medan, 21-Maret-2019

Penulis

Nino Wananda
1407220065

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	7
2.2 Landasan Teori	14
2.3 Sistem Pembangkit Listrik <i>On-Grid</i> Dan <i>Off-Grid</i>	16
2.3.1 Sistem Pembangkit Listrik <i>On-Grid</i> Atau <i>Grid Tie</i>	16
2.3.2 Sistem Pembangkit Listrik <i>Off-Grid</i>	17
2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)	18
2.4.1 Defenisi Terjadinya Angin	18
2.4.2 Defenisi Dan Prinsip Kerja Turbin Angin	19
2.4.3 Klasifikasi Turbin Angin	21
2.4.4 Konstruksi Turbin Angin Secara Umum	26
2.4.5 Analisa Pada Turbin Angin	28
2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)	30
2.5.1 Defenisi Sel Surya (<i>Solar Cell</i>)	30
2.5.2 Prinsip Kerja Sel Surya (<i>Solar Cell</i>)	31
2.5.3 Aplikasi Panel surya (<i>Solar Cell</i>)	33
2.5.4 Kelebihan Dan Kekurangan Penggunaan Panel surya (<i>Solar Cell</i>) ...	35
2.5.5 Klasifikasi Panel surya (<i>Solar Cell</i>)	37
2.5.6 Analisa Pada Panel surya (<i>Solar Cell</i>)	37
2.6 <i>Solar Charge Controller</i>	39
2.6.1 <i>Solar Charge Controller</i> Tipe PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	40
2.6.2 <i>Solar Charge Controller</i> Tipe MPPT (<i>Maximum Power Point Tracking</i>)	42
2.7 Baterai (<i>Accu</i>)	44

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian.....	46
3.2 Alat-Alat Penelitian.....	46
3.2.1 Alat Penelitian	46
3.2.2 Alat Penelitian Pendukung	50
3.3 Metode Penelitian.....	50
3.4 Data Penelitian.....	53
3.4.1 Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Generator DC Pada PLTB	53
3.4.2 Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada PLTS.....	54
3.5 Skema Rangkaian Penggunaan <i>Solar Charge Controller</i> Pada PLTB Dan PLTS	56
3.5.1 Skema Rangkaian Penggunaan <i>Solar Charge Controller</i> Pada PLTB	56
3.5.2 Skema Rangkaian Penggunaan <i>Solar Charge Controller</i> Pada PLTS.....	57
3.6 Diagram Alir Penelitian.....	58
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	59
4.1 Analisa Perbandingan Arus Dan Tegangan Serta Daya keluaran (<i>Output</i>) Yang Dihasilkan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM dan MPPT Pada PLTB Dan PLTS	59
4.1.1 Perbandingan Arus Dan Tegangan Serta Daya keluaran (<i>Output</i>) Yang Dihasilkan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM dan MPPT Pada PLTB	59
4.1.2 Perbandingan Arus Dan Tegangan Serta Daya keluaran (<i>Output</i>) Yang Dihasilkan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM dan MPPT Pada PLTS.....	61
4.2 Analisa Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>).....	66
4.2.1 Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>) PLTB.....	66
4.2.2 Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>) PLTS	69
BAB V PENUTUP.....	72
5.1 Kesimpulan.....	72
5.2 Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	
LEMBAR ASISTENSI	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	PLTB Dan PLTS Dengan Sistem On-Grid	16
Gambar 2.2	PLTB Dan PLTS Dengan Sistem Off-Grid.....	17
Gambar 2.3	Peredaran Angin Dalam Atmosfer Bumi	18
Gambar 2.4	Area dan Arah Putaran Kipas Baling-baling PLTB	20
Gambar 2.5	Bentuk Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH).....	21
Gambar 2.6	Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis Savonius	23
Gambar 2.7	Turbin Angin Sumbu Vertikal Tiper Giromiil	24
Gambar 2.8	Turbin Angin Sumbu Vertikal Tiper Giromill	24
Gambar 2.9	Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Secara Umum.....	26
Gambar 2.10	Konstruksi Sel Surya (Solar Cell)	31
Gambar 2.11	Sel Surya Mono-Crystalline	32
Gambar 2.12	Solar Home System (SHS).....	34
Gambar 2.13	Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS).....	35
Gambar 2.14	Tahapan Pengisian Daya Baterai Pada Solar Charge Controller PWM (Pulse Width Modulation).....	40
Gambar 2.15	Bentuk Solar Charge Controller PWM.....	42
Gambar 2.16	Bentuk Solar Charge Controller MPPT.....	44
Gambar 2.17	Bentuk Baterai (Accu).....	45
Gambar 3.1	Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) jenis Vertical-Axis Savonius 6 sudu	47
Gambar 3.2	Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Jenis Panel Surya Monocrystalline Silicon (Mono-Si)	48
Gambar 3.3	Skema Penggunaan Solar Charge Controller Pada Prototype PLTB	57
Gambar 3.4	Skema Penggunaan Solar Charge Controller Pada Prototype PLTS.....	57

Gambar 3.5	Diagram Alir Penelitian.....	58
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Arus Dan Tegangan Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTB	63
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Daya Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTB	61
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Arus Dan Tegangan Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Seri Panel surya (Solar Cell).....	63
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan Daya Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Seri Panel Surya	63
Gambar 4.5	Grafik Perbandingan Arus Dan Tegangan Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Paralel Panel surya (Solar Cell)	65
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Daya Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Paralel Panel Surya	66
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Baterai (Accu) Pada PLTB.....	68
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Baterai (Accu) Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Seri Panel surya (Solar Cell)	70
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Daya Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Oleh Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Paralel Panel surya (Solar Cell)	71

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH).....	22
Tabel 2.2	Kekurangan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH).....	22
Tabel 2.3	Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV).....	25
Tabel 2.4	Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV).....	25
Tabel 2.5	Keterangan Fungsi Konstruksi PLTB Secara Umum	26
Tabel 3.1	Tabel Lama Waktu Dan Perencanaan Penelitian.....	46
Tabel 3.2	Keterangan Gambar <i>Prototype</i> Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) jenis <i>Vertical-Axis Savonius</i> 6 sudu	47
Tabel 3.3	Spesifikasi Permanen Magnet DC type GR53X58	48
Tabel 3.4	Keterangan Gambar <i>Prototype</i> Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Jenis Panel surya <i>Monocrystalline Silicon (Mono-Si)</i>	49
Tabel 3.5	Spesifikasi Panel surya (<i>Solar Cell</i>) 2x50 Wp.....	49
Tabel 3.6	Data Potensi Pada Dataran Rendah, Sedang Dan Tinggi.....	51
Tabel 3.7	Data Klimatologi Sampali.....	51
Tabel 3.8	Data Meteorologi Kualanamu	52
Tabel 3.9	Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Generator DC Pada PLTB.....	53
Tabel 3.10	Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada Rangkaian Seri Yang Mampu Diserap Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM	54
Tabel 3.11	Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada Rangkaian Paralel Yang Mampu Diserap Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM.....	54
Tabel 3.12	Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada Rangkaian Seri Yang Mampu Diserap Oleh <i>Solar Charge Controller</i> MPPT	55
Tabel 3.13	Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada Rangkaian Paralel Yang Mampu Diserap Oleh <i>Solar Charge Controller</i> MPPT.....	55

Tabel 4.1	Data Hasil Penelitian Penggunaan <i>Solar Charge Controller</i> PWM Dan MPPT Pada PLTB	59
Tabel 4.2	Data Hasil Penelitian Arus Dan Tegangan Serta Daya Keluaran (<i>Output</i>) Yang Dihasilkan <i>Solar Charge Controller</i> PWM Dan MPPT Pada Rangkaian Seri Panel surya (<i>Solar Cell</i>)	62
Tabel 4.3	Data Hasil Penelitian Arus Dan Tegangan Serta Daya Keluaran (<i>Output</i>) Yang Dihasilkan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM Dan MPPT Pada Rangkaian Paralel Panel surya (<i>Solar Cell</i>)	64
Tabel 4.4	Data Hasil Penelitian Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>) PLTB	67
Tabel 4.5	Data Hasil Penelitian Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>) PLTS Pada Rangkaian Seri ..	69
Tabel 4.6	Data Hasil Penelitian Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh <i>Solar Charge Controller</i> PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>) PLTS Pada Rangkaian Paralel.....	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan pembangkit tenaga listrik yang bekerja dengan memanfaatkan energi terbarukan (*renewable energy*) berupa tenaga angin dan matahari sebagai sumber energi [1][2][3]. Berbeda dengan pembangkit listrik lain pada umumnya, pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dapat dibangun dengan dua sistem. Sistem tersebut diantaranya ialah sistem *on-grid* atau sistem yang terintegrasi dengan jaringan PLN serta sistem *off-grid* atau yang biasa juga disebut sebagai sistem independen (*stand alone*) [4][5].

Sistem *off-grid* adalah sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan tenaga angin dan matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama [6]. Selain itu, sistem *off-grid* juga merupakan sistem pembangkit listrik alternatif yang dapat diaplikasikan untuk menyediakan energi listrik pada daerah-daerah atau pedesaan terpencil dan terisolir yang tidak dapat terjangkau oleh jaringan listrik PLN akibat sulitnya akses dan mobilisasi pada daerah-daerah atau pedesaan terpencil dan terisolir tersebut [4][5].

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan sistem *off-grid* umumnya menggunakan generator dc (*direct current*) serta panel surya (*solar cell*) untuk membangkitkan energi listrik. Energi listrik yang telah dibangkitkan tersebut selanjutnya akan disimpan atau *discharge* kedalam baterai (*accu*) agar nantinya dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan pemakaian energi listrik [7]. Dalam prosesnya, pengisian (*charging*) energi listrik

kedalam baterai (*accu*) diatur oleh *solar charge controller*. *Solar charge controller* adalah perangkat atau komponen yang berfungsi sebagai pengaman dan pengatur *over charging* bagi baterai. Selain itu, *solar charge controller* juga berfungsi serta berguna untuk menstabilkan arus maupun tegangan *charging* bagi baterai (*accu*) [8].

Namun, penggunaan *solar charge controller* yang tidak tepat untuk digunakan pada sistem *off-grid* juga dapat menyebabkan proses pengisian (*charging*) energi listrik kedalam baterai (*accu*) menjadi tidak maksimal dan tidak akan berjalan dengan baik. Hal tersebut disebabkan karena terdapat *solar solar charge controller* yang hanya dapat bekerja saat tegangan luaran (*output*) generator dc (*direct current*) serta panel surya (*solar cell*) berada diatas tegangan *charging* baterai. Sehingga pada saat terjadi fluktuasi cuaca yang menyebabkan nilai kecepatan angin dan intensitas matahari berkurang, *solar charge controller* tersebut tidak akan mampu untuk menghasilkan arus maupun tegangan *charging* dengan baik. Akibatnya, proses pengisian (*charging*) energi listrik kedalam baterai (*accu*) akan berhenti. Dampak selanjutnya yang ditimbulkan dari hal tersebut ialah, waktu yang diperlukan untuk melakukan pengisian (*charging*) energi listrik kedalam baterai (*accu*) menjadi lebih lama [9].

Oleh karena itu, perlu untuk menentukan dan juga mencari *solar charge controller* yang dapat bekerja dengan baik pada sistem *off-grid*. Misalnya pada *prototype* pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) jenis *Vertical-Axis Savonius* 6 sudu dan *prototype* pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan jenis panel surya *Monocrystalline Silicon (Mono-Si)* berkapasitas 100Wp. Selanjutnya juga dapat menghasilkan arus maupun tegangan *charging* yang baik bagi baterai

(*accu*). Kemudian dapat menjalankan proses pengisian (*charging*) energi listrik kedalam baterai (*accu*) meski terjadi kondisi cuaca yang tidak memadai. Terdapat dua jenis atau tipe *solar charge controller* yang dapat digunakan yakni, *solar charge controller* dengan tipe PWM (*Pulse Width Modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*).

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini akan membahas tentang **“Analisa Perbandingan Optimasi Pengisian Daya Baterai (*Accu*) Pada PLTB Dan PLTS Menggunakan Solar Charge Controller Tipe PWM Dan MPPT”**. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan riset atau uji penelitian pada kedua jenis atau tipe *solar charge controller* tersebut guna menemukan *solar charge controller* yang dapat bekerja dengan baik pada sistem *off-grid* serta mengetahui perbandingan optimasi pengisian daya pada baterai (*accu*) yang mampu dihasilkan oleh kedua jenis *solar charge controller* tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar perbandingan nilai arus, tegangan serta daya keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT pada PLTB dan PLTS?
2. Berapa perbandingan lama waktu yang diperlukan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*) berkapasitas 20Ah?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui secara langsung bagaimana hasil dari perbandingan kemampuan *solar charge controller* PWM dan MPPT yaitu dengan melakukan beberapa pengujian diantaranya :

1. Untuk mengetahui perbandingan nilai arus, tegangan serta daya keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT pada PLTB dan PLTS.
2. Untuk mengetahui perbandingan lama waktu yang diperlukan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*).

1.4 Batasan Masalah

Pada penulisan Tugas Akhir ini penulis melakukan analisa perbandingan optimasi pengisian daya baterai (*accu*) pada PLTB dan PLTS menggunakan *solar charge controller* tipe PWM dan MPPT dengan batasan masalah sebagai berikut :

1. Analisa yang dilakukan berupa pengamatan dan pengukuran arus maupun tegangan serta perhitungan terhadap daya keluaran (*output*) dihasilkan yang oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT.
2. Analisa yang dilakukan juga berupa perhitungan terhadap lama waktu yang diperlukan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*).
3. Tidak membahas tentang pengaruh sudu turbin angin dan kecepatan putaran yang dihasilkan serta pengaruh sudut derajat panel surya (*solar cell*) terhadap daya listrik yang dihasilkan oleh generator dc dan panel surya.

1.5 Manfaat Penelitian

A. Manfaat Teoritis

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan dan pemahaman serta memperluas wawasan setiap pengguna energi listrik tentang pemanfaatan tenaga angin dan matahari sebagai sumber energi terbarukan (*renewable energy*) bagi pembangkit listrik tenaga bayu dan matahari. Selanjutnya dapat dijadikan solusi utama untuk mengatasi krisis energi, dan dapat digunakan sebagai alternatif untuk menyediakan sumber energi listrik bagi daerah-daerah atau pedesaan terpencil dan terisolir yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik *on-grid* atau jaringan PLN.

B. Manfaat Praktis

Data-data yang diperoleh dari proses penelitian, dapat dijadikan referensi atau rujukan untuk menentukan *solar charge controller* yang dapat bekerja dengan baik pada sistem *off-grid*, dan mampu menghasilkan arus maupun tegangan serta daya keluaran (*output*) yang baik bagi baterai (*accu*), selanjutnya menghasilkan nilai efisiensi yang tinggi serta mempercepat waktu pengisian daya pada baterai (*accu*). Kemudian berdasarkan data-data yang diperoleh selama proses penelitian diharapkan dapat dijadikan referensi atau rujukan untuk membangun sebuah pembangkit listrik tenaga hibrid yakni tenaga bayu dan matahari yang dapat diaplikasikan untuk menyediakan sumber energi listrik pada daerah-daerah atau pedesaan terpencil dan terisolir yang tidak dapat terjangkau oleh jaringan listrik *on-grid* atau jaringan PLN.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan mengawali penulisan dengan menguraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat tentang kutipan dari penelitian terdahulu serta menguraikan teori dasar tentang PLTB dan PLTS sebagai hasil dari studi literatur yang berhubungan dengan studi analisis dan penelitian yang akan dilakukan.

BAB III METODELOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan tempat dan riset data dilakukan, selanjutnya menjelaskan metode-metode pemecahan masalah yang akan dibahas, dan metode-metode pengumpulan data serta cara-cara pengolahan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan menguraikan hasil pengukuran terhadap nilai arus dan tegangan yang dihasilkan, serta menguraikan hasil perhitungan daya keluaran (*output*) dan lama waktu yang diperlukan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya listrik pada baterai (*accu*).

BAB V PENUTUP

Bab ini akan berisikan kesimpulan dan saran yang dapat diambil setelah pembahasan seluruh masalah.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Energi angin dan matahari merupakan salah satu bentuk energi terbarukan (*renewable energy*) yang kini tengah dikembangkan dan dimanfaatkan sebagai sumber energi bagi pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) oleh berbagai negara didunia termasuk Indonesia [10][11]. Berdasarkan data statistik EBTKE, dan kementerian ESDM pada tahun 2016, serta data statistik stasiun Meteorologi Kualanamu pada tahun 2018. Tercatat pada wilayah Indonesia provinsi sumatera utara, potensi kecepatan angin yang dimiliki adalah rata-rata sebesar $2,6 \text{ m/s}^2$ dan potensi irradiasi matahari sebesar $208,8 \text{ W/m}^2/\text{hari}$ [12][13][1].

Selanjutnya, pada tahun 2017 juga tercatat kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional di Indonesia pada sektor pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yakni sebesar 1,12 MW dan 17,02 MW. Pesatnya perkembangan pembangunan pembangkit listrik diberbagai wilayah di Indonesia khususnya pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) membuat rasio elektrifikasi di Indonesia sampai dengan akhir tahun 2017 mencapai 95.35% . Dibandingkan dengan tahun 2016 dimana rasio elektrifikasi mencapai 91,16%, rasio elektrifikasi Indonesia naik sebesar 4,19% [14][13].

Meskipun demikian, hingga kini sebagian besar jaringan listrik baru hanya tersedia di kota-kota besar atau daerah-daerah dengan tingkat kepadatan penduduk yang relatif tinggi dan tidak jauh dari akses transportasi publik. Adapun penduduk

yang tinggal didaerah-daerah terpencil dipelosok-pelosok daratan ataupun yang tersebar dipulau-pulau kecil yang jauh dari akses transportasi publik tidak akan mungkin untuk terjamah oleh jaringan listrik [15]. Sulitnya akses dan mobilisasi menjadikan biaya investasi pengembangan jaringan listrik atau pembangunan pembangkit konvensional (diesel generator) menjadi membengkak, ditambah lagi biaya operasional dan *maintenance* yang tidak sedikit akibat sulitnya transportasi menuju lokasi [15][16]. Contoh kasus yang terjadi yakni pada Dusun Bintang Asih Desa Rumah Sumbul Kecamatan Tigajuhar Kabupaten Deli Serdang Provinsi Sumatera Utara.

Upaya yang dilakukan telah sejauh ini untuk mengatasi permasalahan sumber energi listrik bagi daerah atau pedesaan terpencil yang jauh dari akses transportasi publik tersebut ialah dengan melakukan pembangunan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menggunakan sistem *off-grid* sebagai sumber energi alternatif [4][5]. Namun dalam penerapannya sendiri terdapat sederet kendala ataupun masalah, diantaranya ialah terjadinya fluktuasi nilai kecepatan angin dan irradiasi matahari yang akan menyebabkan nilai arus maupun tegangan listrik yang dapat dibangkitkan menjadi lebih rendah dan selanjutnya mengakibatkan daya ataupun energi listrik serta efisiensi daya yang dihasilkan menjadi tidak optimal [8].

Penelitian tentang peningkatan output arus maupun tegangan listrik pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang dibangun dengan sistem *off-grid* telah cukup banyak dilakukan di Indonesia maupun berbagai belahan dunia lainnya. Berbagai metode dan simulasi dirancang sedemikian rupa guna meningkatkan nilai output arus maupun tegangan

tersebut, untuk menghasilkan ataupun mendapatkan nilai daya atau energi listrik serta efisiensi daya yang cukup baik dan optimal untuk digunakan [17].

Sejalan dengan hal tersebut, telah dilakukan penelitian tentang optimalisasi daya pada pembangkit listrik tenaga angin turbin sumbu horizontal menggunakan metode *maximum power point tracker* untuk meningkatkan daya keluaran (output) pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Dalam pelaksanaannya, metode *maximum power point tracker* (MPPT) digunakan untuk meningkatkan rasio daya keluaran dari PLTB yang hanya berkisar 30% saja. Berdasarkan percobaan dari berbagai kecepatan angin yang berbeda didapatkan hasil rata-rata daya tanpa *maximum power point tracker* hanya sekitar 44,33%, sedangkan dengan *maximum power point tracker* rasio daya rata-rata mengalami kenaikan yaitu sebesar 49,51% [18].

Dalam penelitian lainnya juga telah dilakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dengan metode *maximum power point tracking* menggunakan *dc-dc converter* berbasis *fuzzy logic control*. Dalam pelaksanaannya, teknologi *maximum power point tracking* bertugas untuk mengatur tegangan keluaran (output) generator melalui rangkaian *dc-dc converter* jenis *cuk converter*, lalu teknik pensaklaran menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan mengatur besarnya *duty cycle*. Perubahan nilai *duty cycle* tergantung dari besar kecilnya kecepatan angin, sehingga untuk mengatur nilai *duty cycle* dan mempercepat respon pensaklaran control PWM (*Pulse Width Modulation*) digunakan sebuah algoritma modern yaitu *fuzzy logic controller* (FLC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa, dengan teknologi *maximum power point tracking* berbasis FLC mampu menaikkan presentasi efisiensi daya keluaran PLTB dari 45.5% menjadi 87% [19].

Berkaitan dengan penelitian sebelumnya, perancangan *maximum power point tracking* panel surya menggunakan *buck boost converter* serta metode *incremental conductance* untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi konversi energi panel surya. Dalam pelaksanaannya, *maximum power point tracking* (MPPT) digunakan untuk mencari titik daya maksimum dari kurva karakteristik P-V pada panel surya. Titik daya maksimum panel surya berubah-ubah ketika terdapat perubahan irradiasi dan temperatur. Selanjutnya perancangan MPPT menggunakan *buck boost converter* dengan metode algoritma *incremental conductance* untuk mencari daya maksimum panel surya. Pada pegujian sistem, didapatkan hasil sistem MPPT mampu mencari daya maksimum rata-rata panel surya sebesar 4,42 watt pada irradiasi 1000 watt/m² temperatur 29°C. Dari hasil pengujian juga didapat daya yang dihasilkan menggunakan MPPT pada resistansi 50Ω sebesar 4,17 watt, 33,3Ω sebesar 2,88 watt, 25Ω sebesar 2,37 watt, dan 20Ω sebesar 2,04 watt. Irradiasi 750 watt/m² temperatur 29°C sebesar 3,01 watt, sedangkan daya tanpa MPPT pada resistansi 50Ω sebesar 2,53 watt, 33,3Ω sebesar 1,84 watt, 25Ω sebesar 1,48 watt dan 20Ω sebesar 1,33 watt [20].

Dalam penelitian yang berhubungan dengan penelitian sebelumnya, teknologi MPPT digunakan untuk menaikkan efisiensi PLTB dengan cara mencari daya listrik maksimum pada kecepatan angin yang telah ditentukan, selanjutnya untuk menghasilkan nilai *duty cycle* dan mempercepat tanggapan sistem digunakan control PI. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa teknologi MPPT mampu menaikkan efisiensi PLTB dari 65% menjadi 80%. Dan kontrol PI yang diterapkan pada teknologi MPPT memiliki parameter *setting time* sebesar 0,1 detik dan *rise time* sebesar 0,005 detik [21].

Pada penelitian selanjutnya dilakukan sebuah perancangan konverter arus searah tipe *sepic* untuk pencarian titik daya maksimum panel surya berbasis metode *perturbation and observation* (P&O). Dalam pelaksanaannya, *converter* arus searah pada MPPT berfungsi sebagai *converter* untuk mengubah tegangan yang dibangkitkan panel surya ke level tegangan yang dibutuhkan beban dengan memodulasi *duty cycle* pada *converter*. Kemudian *sepic converter* akan menaikkan dan menurunkan tegangan dengan polaritas tegangan yang sama. Hasil pengujian daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya dengan MPPT adalah 4,6 watt untuk irradiasi 1060 w/m², 3,9 watt untuk irradiasi 950 w/m², 3,6 watt untuk irradiasi 850 w/m², 2,6 watt untuk irradiasi 650 w/m², dan 1,6 watt untuk irradiasi 400 w/m² [22].

Kemudian, pada penelitian lainnya telah dilakukan implementasi *maximum power point tracking* (MPPT) menggunakan *buck boost converter*. Selanjutnya algoritma MPPT *perturb and observe* (P&O) digunakan untuk mencari nilai daya maksimum pada pembangkit listrik tenaga angin untuk pengisian (*charging*) ke baterai. Analisa, desain dan pemodelan pada sistem konversi energi angin ini telah diselesaikan menggunakan MATLAB/Simulink. Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa MPPT yang diusulkan menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi dibandingkan sistem tanpa MPPT saat pengujian berbeban. Rata-rata efisiensi daya yang mampu ditransfer ke baterai oleh sistem yang diusulkan adalah 90,15% [23].

Dalam sebuah perancangan serta implementasi konverter pada sebuah pembangkit listrik tenaga *hybrid* yakni tenaga angin dan matahari yang akan digunakan untuk suplai arus listrik bolak-balik. Tegangan yang didapatkan dari

panel surya dan turbin angin dikontrol oleh BCU dengan menggunakan metode *synchronous buck boost converter* yang selanjutnya disimpan pada baterai atau aki. Berdasarkan pengujian BCU tersebut pada panel surya dan turbin angin, didapatkan efisiensi BCU pada panel surya sebesar 81,16% - 95,41% sedangkan efisiensi BCU pada turbin angin didapatkan sebesar 59,9% - 94,41% dengan kondisi pengisian baterai atau aki 12V/100Ah [24].

Faktor lain yang menyebabkan rendahnya nilai arus maupun tegangan yang dibangkitkan oleh generator dc (*direct current*) dan panel surya (*solar cell*) adalah karena penggunaan *solar charge controller* yang tidak dapat bekerja dengan baik pada sistem *off-grid*. *Solar charge controller* yang banyak digunakan saat ini adalah jenis regulator tegangan konvensional. Dimana proses *charging* berlangsung hanya saat tegangan luaran generator dc (*direct current*) dan panel surya (*solar cell*) berada diatas tegangan *charging* baterai. Sehingga pada saat terjadi fluktuasi cuaca yang menyebabkan nilai kecepatan angin dan intensitas matahari berkurang, *solar charge controller* tersebut tidak akan mampu untuk menghasilkan arus maupun tegangan *charging* dengan baik. Akibatnya proses pengisian (*charging*) baterai (*accu*) pada sistem tidak bekerja dengan baik dan maksimal. Selain itu, proses pengisian (*charging*) energi listrik pada baterai (*accu*) akan berhenti [25].

Sebuah studi yang telah dilakukan untuk membuat sebuah rancang bangun rangkaian *synchronous non-inverting buck boost converter* (SNIBBC) untuk *solar charge controller* guna melakukan manajemen pengisian baterai serta manajemen beban menggunakan *arduino nano v3.0 ATmega 328*. Dalam penerapannya, digunakan empat buah *mosfet* yang bekerja dan saling sinkron dengan dikontrol

oleh pulsa PWM dari *timer arduino nano v3.0 ATmega 328* dengan frekwensi 10 Khz menggunakan ic *driver mosfet IR2104*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian SNIBBC dapat mengisi baterai *lead-acid 12V 5Ah* dengan tegangan berusaha dijaga mendekati 15V dengan rata-rata tegangan keluaran 14,97V dalam rentang waktu 8 jam [26].

Penelitian tentang sistem *baterai charging* lainnya juga telah dilakukan meggunakan metode *buck boost converter*. Dalam penerapannya, sistem *baterai charging* ini merupakan sistem pengendali *close loop*, mikrokontroler sebagai pusat kendali dengan sinyal balikan dari sensor arus dan tegangan yang ada pada luaran *solar cell* maupun generator dc (*direct current*) dan masukan baterai. Hasil pengujian *baterai charging* menunjukkan efisiensi sistem 78% saat intensitas matahari tinggi yaitu pada pukul 10.00 sampai 14.00 dan secara keseluruhan tegangan *charging* rata-rata sekitar 13,6 Volt dengan arus *charging* rata-rata 1 A. Selanjutnya *charging baterai* membutuhkan waktu ± 5 jam [25].

Berkaitan dengan penelitian sebelumnya, perancangan sistem pengisian pada baterai menggunakan metode *push-pull conveter* dilakukan untuk memastikan proses pengisian baterai berlangsung pada kondisi yang baik dan aman. Dalam penerapannya, *push-pull converter* adalah *converter dc-dc* yang menggunakan transformator untuk mengubah level tegangan dc (*direct current*) yang dibutuhkan serta menghasilkan isolasi *galvanis* terhadap beban. Selanjutnya, penggunaan *Push-pull converter* karena memiliki efisiensi keluaran yang tinggi dan mampu menyediakan jangkauan daya keluaran yang lebih tinggi. Berdasarkan penelitian saklar elektronik yang dipicu oleh sinyal input sebagai bagian dari pengontrol PI, mampu mempertahankan tegangan output pada nilai 14,1 Volt [27].

2.2 Landasan Teori

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan sistem *off-grid* merupakan suatu bentuk pembangkit tenaga listrik alternatif yang dapat menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan sumber energi listrik bagi daerah-daerah ataupun pedesaan terpencil dan terisolir yang tidak dapat dijangkau oleh jaringan listrik PLN. Sistem *off-grid* memiliki beberapa kelebihan diantaranya ialah, energi listrik yang telah dihasilkan dapat langsung digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban, dan selebihnya akan disimpan didalam baterai (*accu*) agar dapat digunakan ketika malam hari maupun ketika tidak terdapat hembusan angin [28].

Kelebihan lainnya yang dimiliki sistem *off-grid* ialah, penerapannya pada daerah-daerah terpencil dipelosok-pelosok daratan ataupun yang tersebar dipulau-pulau kecil yang jauh dari akses transportasi publik. Dapat memangkas biaya investasi pengembangan jaringan listrik ataupun pembangunan pembangkit listrik konvensional (diesel generator) dan memangkas keseluruhan biaya operasional serta biaya perawatan (*maintenance*) akibatnya sulitnya akses dan mobilisasi menuju lokasi. Namun, dibalik kelebihan yang ada pada sistem *off-grid* juga terdapat permasalahan yang selalu muncul yaitu, rendahnya daya listrik yang bisa dihasilkan [15][16].

Penyebab terjadinya hal tersebut yakni karena terjadinya fluktuasi terhadap kecepatan angin dan irradiasi matahari yang tidak terkontrol. Selanjutnya karena penggunaan *solar charge controller* konvensional yang tidak mampu melakukan proses pengisian (*charging*) energi listrik kedalam baterai (*accu*) dengan baik akibat terjadinya fluktuasi cuaca tersebut. Berbagai penelitian telah dilakukan

untuk mengatasi permasalahan tersebut diantaranya adalah, perancangan MPPT *boost converter* berbasis mikrokontroler untuk mengoptimalkan kerja dari panel surya dengan cara mencari titik MPP (*Maximum Power Point*) dengan algoritma *incremental conductance*. Kemudian mengimplementasikannya menjadi tegangan output dari panel surya dan menjadi input untuk *boost converter* yang dikontrol dengan PWM (*Pulse Width Modulation*), sehingga dapat menghasilkan tegangan yang maksimal untuk selanjutnya menjadi input untuk *inverter* [29].

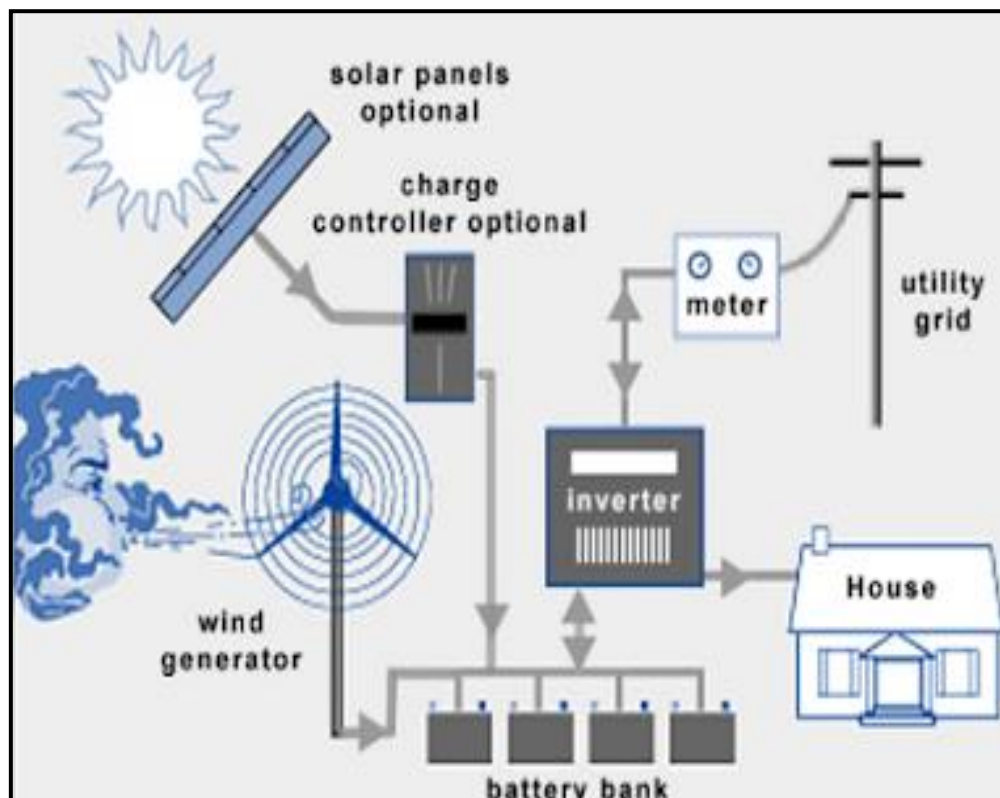
Selanjutnya sebuah studi tentang dengan algoritma MPPT dilakukan untuk mendapatkan output daya maksimum radiasi matahari dan kecepatan angin menggunakan FLC (*Fuzzy Logic Controller*) dengan 7 fungsi keanggotaan dapat meningkatkan pembangkit sel surya dalam hal fluktuasi radiasi matahari antara 100 s/d 1000 W/m². Jika dibandingkan dengan sel surya menggunakan MPPT, sel surya MPPT dilengkapi dengan algoritma FLC dapat meningkatkan pembangkit sel surya sampai 68,82% [30].

Pada prinsipnya, arus dan tegangan yang dapat dibangkitkan oleh generator dc (*direct current*) dan panel surya (*solar cell*) tidaklah stabil akibat terjadinya fluktuasi cuaca. Oleh karena itu diperlukan *solar charge controller* yang dapat bekerja dengan baik pada sistem *off-grid* dan dapat menghasilkan arus maupun tegangan *charging* yang baik. Kemudian agar proses pengisian (*charging*) energi listrik kedalam baterai (*accu*) dapat berjalan dengan baik dan maksimal. Pada penelitian ini akan membahas tentang perbandingan kemampuan *solar charge controller* tipe PWM (*Pulse Width Modulation*) dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Guna menemukan *solar charge controller* yang dapat bekerja dengan baik pada pembangkit listrik yang menggunakan sistem *off-grid*.

2.3 Sistem Pembangkit Listrik *On-Grid* Dan *Off-Grid*

2.3.1 Sistem Pembangkit Listrik *On-Grid* Atau *Grid Tie*

Sistem *on-grid* atau *grid tie* merupakan sistem pembangkit listrik yang terhubung atau terkoneksi dengan jaringan listrik PLN untuk ikut menyuplai beban pada jaringan listrik yang sama. Dalam sistem *on-grid*, pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) hanya menyuplai energi listrik ke beban pada siang hari. Sedangkan pada malam hari pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) tidak akan beroperasi atau bekerja, dan beban akan disuplai melalui jaringan listrik PLN. Penggunaan sistem *on-grid* umumnya bertujuan untuk mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya.

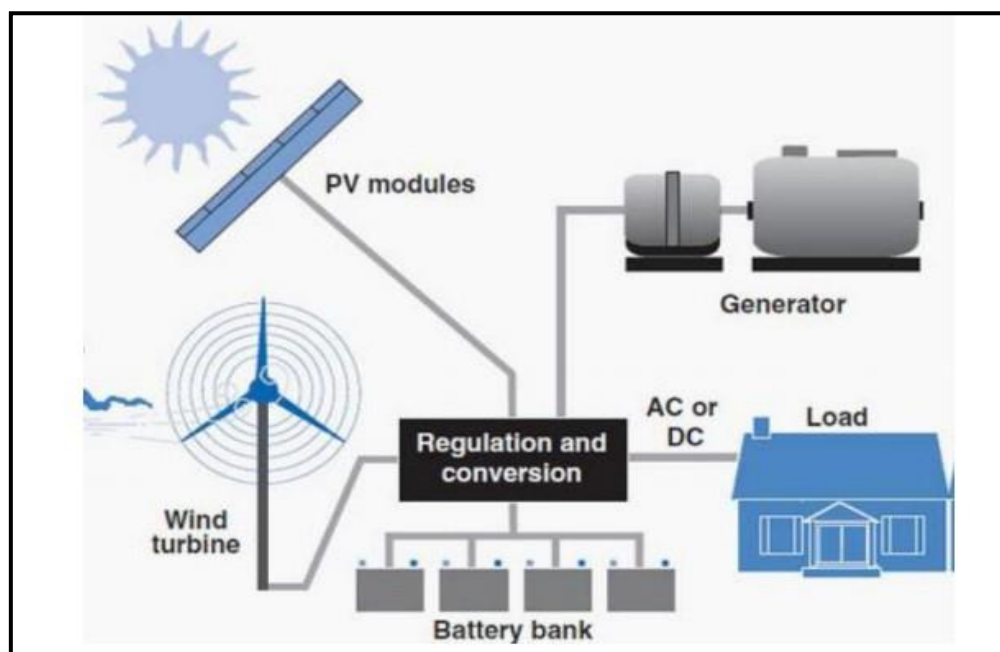


Gambar 2.1 PLTB Dan PLTS Dengan Sistem On-Grid

(Sumber : Solar Surya Indonesia.2012.Sistem On-Grid Dan Off-Grid PLTB Dan PLTS. <http://solarsuryaindonesia.com/info/sistem-off-grid-on-grid-tie->)

2.3.2 Sistem Pembangkit Listrik *Off-Grid*

Sistem *off-grid* atau biasa juga disebut sistem independen (*stand alone*) merupakan sistem pembangkit listrik yang umum digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), akan tetapi juga dapat diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB). Berbeda dengan sistem *on-grid* yang terkoneksi dengan jaringan PLN, sistem *off-grid* hanya mengandalkan tenaga angin dan matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama. Selanjutnya, menggunakan generator dc (*direct current*) dan panel surya (*solar cell*) untuk menghasilkan energi listrik sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, Sistem *off-grid* juga merupakan sistem pembangkit listrik alternatif yang dapat digunakan untuk menyediakan sumber energi listrik pada daerah-daerah terpencil ataupun pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Yang disebabkan karena sulitnya akses dan mobilisasi menuju lokasi-lokasi tersebut.



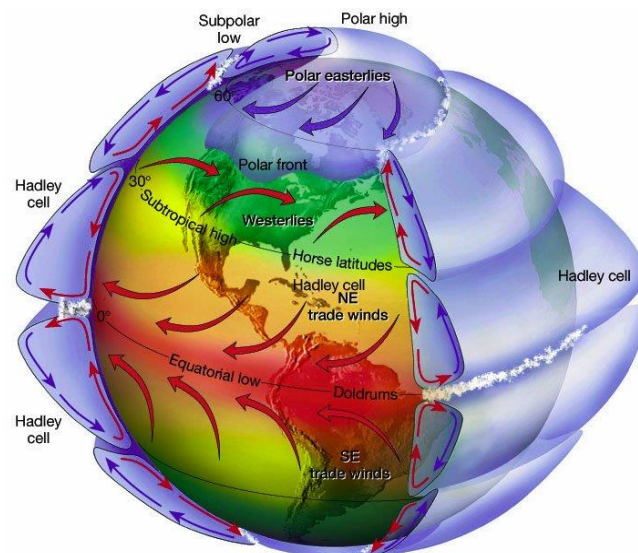
Gambar 2.2 PLTB Dan PLTS Dengan Sistem Off-Grid

(Sumber : Solar Surya Indonesia.2012.Sistem On-Grid Dan Off-Grid PLTB Dan PLTS. <http://solarsuryaindonesia.com/info/sistem-off-grid-on-grid-tie->)

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

2.4.1 Defenisi Terjadinya Angin

Angin adalah udara yang bergerak/mengalir, sehingga memiliki kecepatan, tenaga dan arah. Penyebab dari pergerakan ini adalah pemanasan bumi oleh radiasi matahari. Udara di atas permukaan bumi selain dipanaskan oleh matahari secara langsung, juga mendapat pemanasan oleh radiasi matahari bumi tidak homogen, maka energi matahari yang diserap dan dipancarkan kembali oleh bumi bervariasi berdasarkan tempat dan waktu.



Gambar 2.3 Peredaran Angin Dalam Atmosfer Bumi

(Sumber : Hendrik Boby Hertanto.2012. *Meteorologi Dasar*-[http: geoenviron.blogspot.com/2012/03/meteorology-dasar-](http://geoenviron.blogspot.com/2012/03/meteorology-dasar-))

Hal ini menyebabkan perbedaan temperatur pada atmosfer, sehingga terjadi perbedaan kerapatan dan tekanan atmosfer. Udara memiliki sifat selalu mencapai kesetimbangan tekanan, sehingga perbedaan kecepatan dan tekanan atmosfer menyebabkan udara bergerak dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Pada daerah yang relatif panas, partikel udara mendapat energi sehingga udara memuai. Akibat pemuaian ini, tekanan udara naik, akan tetapi

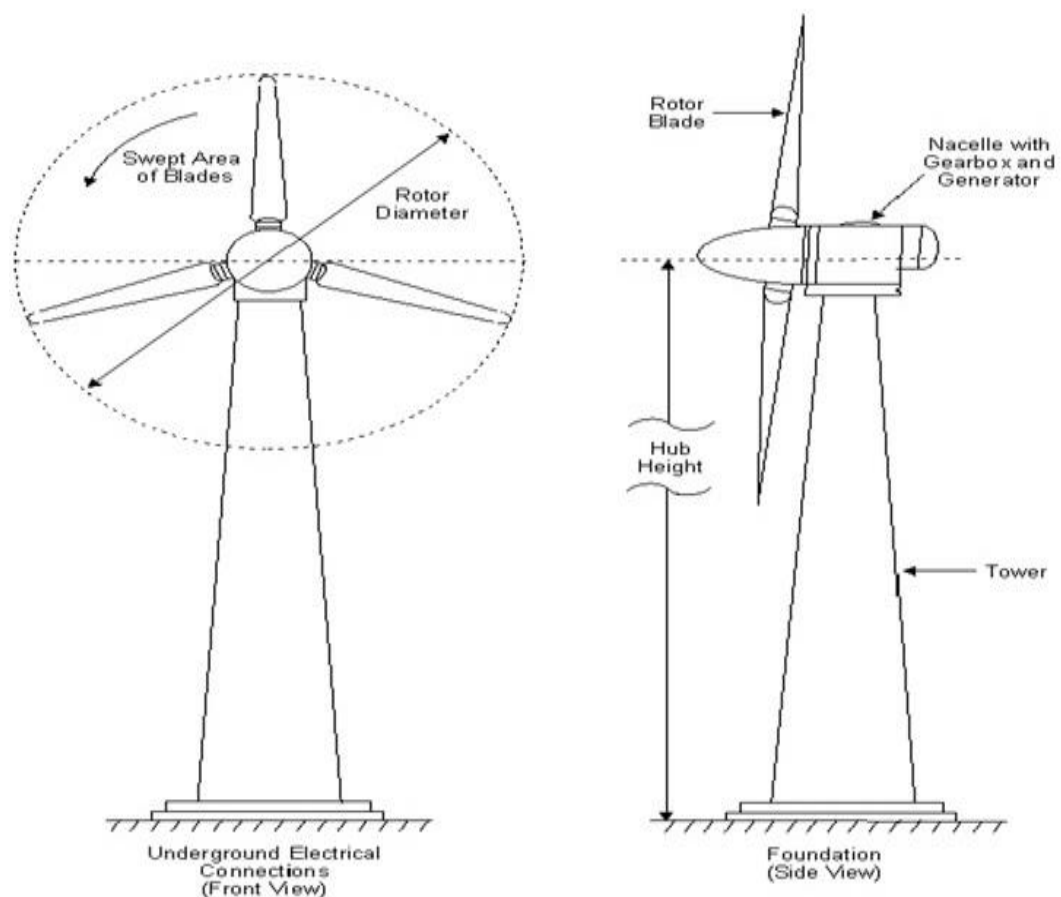
kerapatan udara menjadi berkurang, sehingga berat jenis udara di daerah tersebut menjadi relatif kecil, akibatnya udara berekspansi ke atas dan menyebabkan terjadinya penurunan tekanan di daerah yang ditinggalkannya. Daerah ini lalu diisi oleh udara dari daerah sekelilingnya yang memiliki tekanan udara dan massa jenis lebih tinggi. Udara yang berekspansi ke atas lalu mengalami penurunan suhu, sehingga terjadi penyusutan dan massa jenisnya kembali naik. Udara ini akan turun kembali di tempat lain yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Hal ini berlangsung terus menerus sepanjang waktu, sehingga pergerakan udara terus berlangsung.

2.4.2 Defenisi Dan Prinsip Kerja Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *Windmill*. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan memakai prinsip kerja konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin.

Dalam konteks produksi listrik, turbin angin ini juga dikenal sebagai generator angin. Sebuah turbin angin terdiri dari rotor, baling-baling yang melekat pada rotor, generator dan struktur menara. Rotor adalah elemen dari turbin angin yang mengumpulkan energi dari angin. Baling-baling dari turbin angin melekat pada pusat rotor. Baling-baling ini diputar oleh aliran angin dengan menggunakan desain aerodinamis yang rumit. Tingkat putaran baling-baling tergantung pada

kecepatan angin dan bentuk baling-balingnya. Agar dapat menghasilkan listrik diperlukan generator, yang mengubah energi kinetik menjadi listrik. Dalam turbin angin komersial terdapat gearbox yang ditempatkan di antara rotor dan generator, untuk mengubah kecepatan putaran rendah baling-baling ke rotasi kecepatan tinggi yang diperlukan untuk memproduksi listrik. Kecepatan rotasi turbin angin biasanya antara 40-400 rpm (rotasi per menit) sedangkan untuk menghasilkan listrik kita membutuhkan 1200-1800 rpm. Detail gambar area dan arah putaran sudu baling-baling kipas untuk menara turbin angin secara umum dapat dilihat pada gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Area dan Arah Putaran Kipas Baling-baling PLTB

(Sumber : Klik Arus Listrik. 2018. *Pengenalan Komponen Dan Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin/Bayu (PLTB)*. <http://www.klikaruslistrik.com/2018/06/pembangkit-listrik-tenaga-angin.html>)

2.4.3 Klasifikasi Turbin Angin

2.4.3.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

Turbin angin sumbu horizontal (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 yang memiliki ukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor.



Gambar 2.5 Bentuk Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

(Sumber : Pattula Rendi.2015.*Wind Turbine Design*-https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43181156/BAB_I_sd_III.doc_turbine_design.docx-)

Sebagian besar memiliki sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir atau turbin yang pelan menjadi lebih cepat berputar. Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki beberapa kekurangan serta kelebihan, yang dapat dilihat pada tabel 2.1 dan 2.2 berikut :

Tabel 2.1 Kelebihan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

No.	Kelebihan
1	Dasar menara yang tinggi membolehkan akses ke angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran. Pada beberapa area, setiap 10 meter ada kenaikan tambahan kekuatan angin 20% dan peningkatan daya 34%.
2	Efisiensi lebih tinggi, karena blades selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran.

Tabel 2.2 Kekurangan Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)

No.	Kekurangan
1	Menara yang tinggi serta bilah yang panjang sulit diangkut dan juga memerlukan biaya besar untuk pemasangannya, bisa mencapai 20% dari seluruh biaya peralatan turbin angin.
2	TASH yang tinggi sulit dipasang, membutuhkan derek yang sangat tinggi dan mahal serta para operator yangampil.
3	Ukurannya yang tinggi merintangangi jangkauan pandangan dan mengganggu penampilan <i>landskape</i> .
4	Konstruksi menara yang besar dibutuhkan untuk menyangga bilah-bilah yang berat, <i>gearbox</i> , dan generator.
5	TASH yang tinggi bisa memengaruhi radar airport.
6	Berbagai varian <i>downwind</i> menderita kerusakan struktur yang disebabkan oleh turbulensi

2.4.3.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Selain dari turbin angin dengan sumbu horizontal, klasifikasi turbin angin juga terbagi menjadi turbin angin dengan sumbu vertikal. Turbin angin dengan sumbu vertikal bekerja dengan prinsip yang sama seperti halnya kelompok horizontal. Namun, setiap sudunya berputar dalam bidang yang paralel dengan tanah. Turbin angin vertikal ini memiliki shaft rotor vertikal. Terdapat tiga jenis turbin angin sumbu vertikal yang umum digunakan diantaranya adalah sebagai berikut :

A. Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis Savonius

Turbin angin poros tegak tipe savonius kebanyakan menggunakan sudu tipe pelat lengkung. Berbagai model pelat lengkung untuk sudu tipe turbin angin savonius telah banyak dikembangkan dan di uji cobakan. Sejauh ini, kapasitas turbin angin tipe savonius baru dikembangkan untuk skala 10 kilowatt. Untuk membuat prototype dengan kapasitas yang besar diperlukan material yang lebih besar dibandingkan dengan tipe poros datar (*horizontal wind turbine*). Namun kelebihanannya, bahwa tipe turbin angin ini tidak memerlukan sistem *geeng* (*yaw system*) dan dapat beroperasi pada lokasi yang kondisi anginnya tidak laminar.



Gambar 2.6 Turbin Angin Sumbu Vertikal Jenis Savonius

(Sumber : Pattula Rendi.2015.Wind Turbine Design-https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43181156/BAB_I_sd_III.doc_turbine_design.docx-)

B. Turbin Angin Jenis Giromil

Turbin angin Girromill mempunyai konstruksi dan karakteristik yang mirip dengan tipe Darrius, bedanya hany pada posisi rotor dimana untuk turbin angin Giromill, sudu sama-sama menggunakan profil propeller dan dipasang tegak sejajar dengan poros. Sedangkan pada tipe darrius , sudu propeller dipasangkan melengkung.



Gambar 2.7 Turbin Angin Sumbu Vertikal Tiper Giromil

(Sumber : Pattula Rendi.2015.Wind Turbine Design-https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43181156/BAB_I_sd_III.doc_turbine_design.docx-)

C. Turbin Angin Jenis Darrius

Turbin angin Darrius merupakan salah satu tipe turbin angin poros tegak yang menggunakan sudu profil propeller.



Gambar 2.8 Turbin Angin Sumbu Vertikal Tiper Giromill

(Sumber : Pattula Rendi.2015.Wind Turbine Design-https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43181156/BAB_I_sd_III.doc_turbine_design.docx-)

Dalam aplikasinya turbin angin darrius umumnya memerlukan kecepatan angin awal yang lebih tinggi untuk start up. Dengan kondisi demikian, seringkali tipe turbin angin darrius memerlukan penggerak mula (*prime mover*) untuk *start up*, dan penggerak mula akan berhenti setelah dicapai batas minimum untuk

menggerakkan atau memutar turbin secara mandiri. Turbin angin sumbu vertikal (TASV) memiliki beberapa kekurangan dan kelebihan, yang diperlihatkan pada tabel 2.3 dan 2.4 berikut ini :

Tabel 2.3 Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

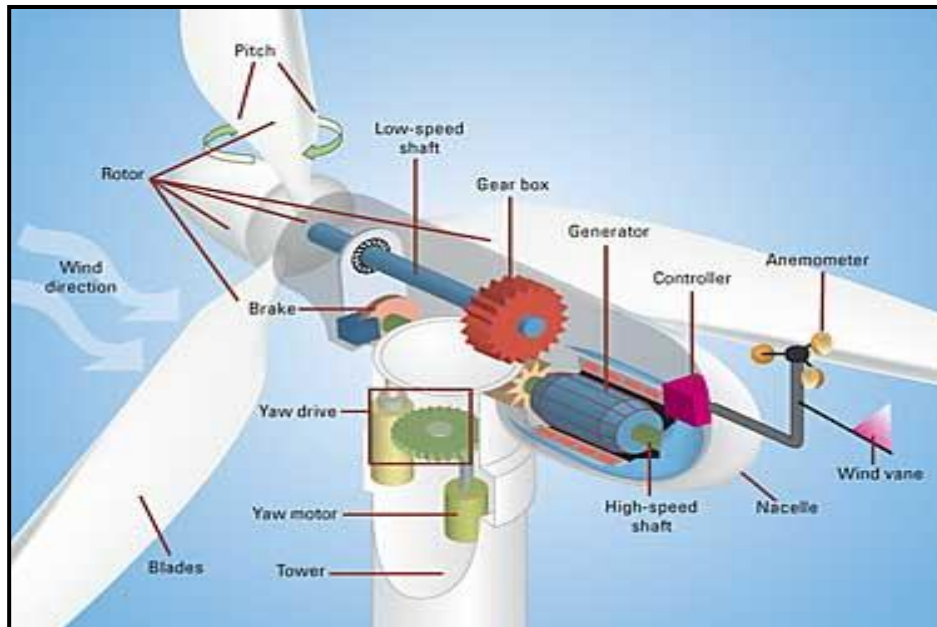
No.	Kelebihan
1	Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
2	Sebuah TASV bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
3	TASV tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
4	Kincir pada TASV mudah dilihat dan dihindari burung.yang membuatnya sangat fleksibel untuk digunakan.
5	YASV memiliki kecepatan awal angin yang lebih rendah daripada TASH. Biasanya TASV mulai menghasilkan listrik pada 10 km/jam (6 m.p.h)
6	Desain TASV berbilah lurus dengan potongan melintang berbentuk kotak atau empat persegi panjang memiliki wilayah tiupan yang lebih besar untuk diameter tertentu daripada wilayah tiupan berbentuk lingkaran TASH.
7	TASV memiliki sudut <i>airfoil</i> (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang rendah dan tinggi.
8	TASV biasanya memiliki <i>tip speed ratio</i> (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju angin sebenarnya) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak disaat angin berhembus sangat kencang.
9	TASV bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
10	TASV yang ditempatkan di dekat tanah bisa mengambil keuntungan dari berbagai lokasi yang menyalurkan angin serta meningkatkan laju angin (seperti gunung atau bukit yang puncaknya datar dan puncak bukit).

Tabel 2.4 Kekurangan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

No.	Kekurangan
1	Kebanyakan TASV memproduksi energi hanya 50% dari efisiensi TASH karena drag tambahan yang dimilikinya saat kincir angin berputar.
2	TASV tidak mengambil keuntungan dari angin yang melaju lebih kencang di elevasi yang lebih tinggi.
3	Sebuah TASV yang menggunakan kabel untuk menyangganya memberi tekanan pada bantalan dasar karena semua berat rotor dibebankan pada bantalan.
4	Kebanyakan TASV mempunyai torsi awal yang rendah, dan membutuhkan energi untuk mulai berputar.

2.4.4 Konstruksi Turbin Angin Secara Umum

Konstruksi ataupun komponen dari sebuah pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) secara umum diperlihatkan pada gambar 2.9 berikut ini :



Gambar 2.9 Konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Secara Umum
(Sumber : Andres Pramana Edward.2014.Komponen Wind Project-<http://www.getsttpln.com/2014/03/komponen-pltb.html>-)

Tabel 2.5 Keterangan Fungsi Konstruksi PLTB Secara Umum

Nama Bagian	Keterangan/Fungsi
Bilah kipas	Berfungsi untuk menangkap angin dan merubahnya menjadi putaran yang akan diteruskan ke generator.
Rotor Hub	Merupakan bagian dari rotor yang berfungsi untuk menghubungkan sudu atau baling-baling dengan poros utama.
Pitch (Kontrol Pitch Sudu)	Bagian yang dapat dikatakan sebagai pengontrol kecepatan rotor dan menjaga rotor berputar dalam angin baik angin yang terlalu tinggi ataupun rendah. Lebih tepatnya mengatur posisi sudut serang pada sudu turbin angin ketika angina bertiup pada turbin tersebut.
Brake	Fungsi utama brake adalah menjaga putara poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar.
Generator	Komponen utama dan terpenting dalam turbin angin. Hal ini dikarenakan fungsinya sebagai pengubah energi mekanik hasil putaran poros menjadi energi listrik.
Gear Box	Gear menghubungkan antara poros berkecepatan tinggi

	dengan poros berkecepatan rendah. Hal ini dikarenakan rotor hanya mampu bergerak dengan kecepatan rendah sedangkan generator membutuhkan kecepatan yang tinggi untuk menghasilkan listrik.
Low speed shaft	Merupakan poros rotor yang berfungsi memindahkan daya dari rotor ke generator. Pemindahan daya dapat secara langsung ataupun melalui mekanisme transmisi gearbox. Selain itu juga berfungsi mengubah poros rotor kecepatan rendah sekitar 30-60 rpm.
Controller	Alat pengontrol seluruh kinerja turbin. Alat ini mengontrol turbin dimulai dari angin dengan kecepatan 8-16 mph dan menutup mesin pada kecepatan angin sekitar 55 mph. alasan penutupan mesin tersebut karena dengan kecepatan yang lebih 55 mph dapat merusak turbin angin.
Anemometer	Bagian yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur kecepatan angin, sebagai inputan kepada system control untuk mengendalikan operasional pada kondisi optimum.
High speed shaft	Poros rotor putaran tinggi yang berfungsi untuk memindahkan daya dari gear box ke generator.
Wind Vane (Wind Direction Sensor)	Merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan arah angin. Biasanya juga terhubung dengan <i>yaw drive</i> untuk menggerakkan turbin sesuai dengan kondisi arah angin yang telah terdeteksi.
Nacelle	Bagian yang berbentuk kotak besar yang duduk di menara turbin angin. Berfungsi sebagai rumah tempat seluruh komponen turbin angin seperti generator, gear box, controller, kabel, yaw drive, poros, dll.
Yaw Drive	Rotor sistem geleng berfungsi untuk menempatkan komponen turbin angin yang berada di atas menara menghadap optimal terhadap arah angin mengikuti perubahan arah angin.
Yaw Motor	Fungsi utamanya hanya sebagai penggerak yaw drive.
Tower	Menara berfungsi sebagai tiang penyangga yang fungsinya untuk menopang rotor, nacel, dan semua komponen turbin angin.

2.4.5 Analisa Pada Turbin Angin

2.4.5.1 Perhitungan Daya Angin

Daya angin adalah energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin, seperti diungkapkan dengan persamaan berikut:

Energi kinetik pada turbin angin bisa dituliskan :

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Bila suatu blok udara yang mempunyai penampang A (m^2), dan bergerak dengan kecepatan v (m/s), maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah:

$$m = \rho \cdot A \cdot v \dots\dots\dots(2.2)$$

Sehingga bila persamaan (2.1) dan (2.2) digabungkan maka :

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

P_w = Daya angin (Watt)

ρ = Massa jenis angin (kg/m^3)(pada $15^\circ C$ tekanan 1 atm, $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$)

A = Luas area turbin yang dilewati angin (m^2) ($A = (\pi/4)D^2$)

V = Kecepatan angin (m/s)

2.4.5.2 Perhitungan Daya Turbin Angin

Energi mekanik pada turbin angin diperoleh dari suatu proses konversi energi angin. Energi angin sendiri merupakan energi yang berasal dari pergerakan massa udara yang bergerak dari suatu daerah bertekanan maksimum ke daerah bertekanan minimum. Massa udara yang bergerak ini disebut sebagai energi kinetik karena memiliki kecepatan gerak, sehingga daya yang menjadi *input* turbin angin tak lain berasal dari energi kinetik angin. Besarnya daya tersebut secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P_{tot} = m \frac{v_i^2}{2g_c} \dots\dots\dots(2.4)$$

Selanjutnya bila suatu blok udara yang mempunyai penampang A (m^2), dan bergerak dengan kecepatan v (m/s), maka jumlah massa yang melewati suatu tempat adalah:

$$m = \rho \cdot A \cdot v \dots\dots\dots(2.5)$$

Sehingga dari persamaan (2.4) dan (2.5) diatas didapatkan persamaan (2.6) berikut ini :

$$P_{in} = \frac{1}{2g_c} \rho A V^3 \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

P_{in} = Daya turbin angin (Watt)

g_c = Faktor konversi $1.0 \text{ Kg}/(\text{N} \cdot \text{s}^2)$

ρ = Massa jenis angin (kg/m^3)(pada 15°C tekanan 1 atm, $\rho = 1.225 \text{ kg}/\text{m}^3$)

A = Luas area turbin yang dilewati angin (m^2) ($A = (\pi/4)D^2$)

V = Kecepatan angin (m/s)

2.4.5.3 Perhitungan Daya Output Turbin Angin

Daya output turbin angin merupakan hasil dari perkalian dari tegangan dan arus keluaran yang dibangkitkan oleh turbin angin. Yang dinyatakan dalam rumus perhitungan berikut ini :

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

P_{out} = Daya output turbin angin (watt)

V_{out} = Tegangan output turbin angin (V)

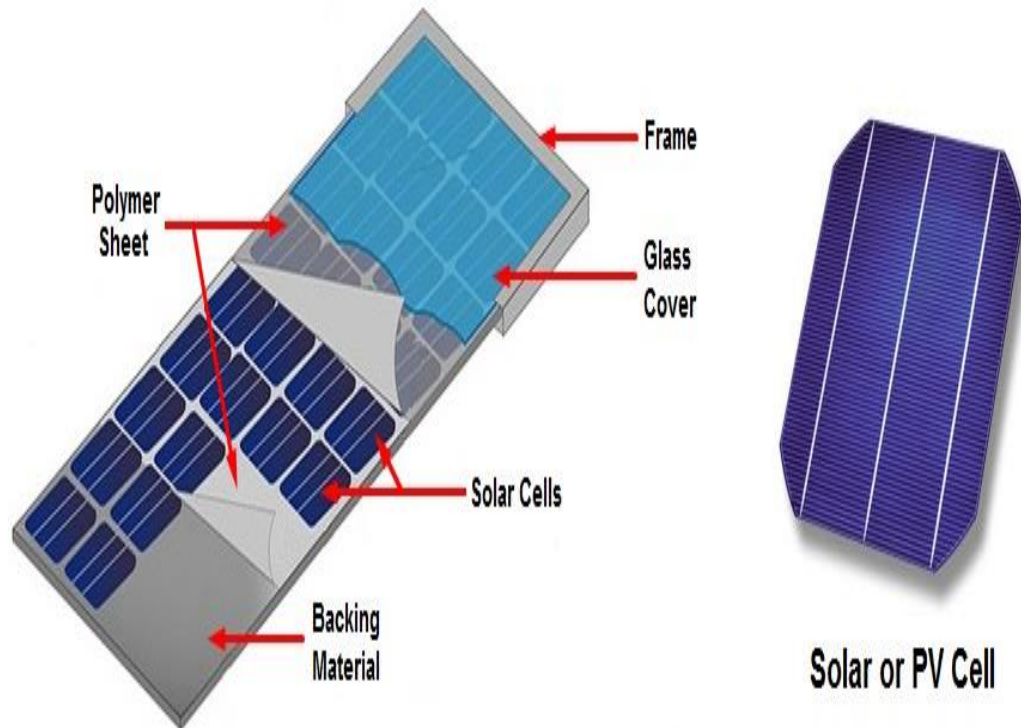
I_{out} = Arus output turbin angin (A)

2.5 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.5.1 Defenisi Sel Surya (*Solar Cell*)

Sel surya dapat berupa alat semikonduktor penghantar aliran listrik yang dapat secara langsung mengubah energi surya menjadi bentuk tenaga listrik secara efisien. Efek fotovoltaiik ini ditemukan oleh Becquerel pada tahun 1839, dimana Becquerel mendeteksi adanya tegangan foto ketika sinar matahari mengenai elektroda pada larutan elektrolit. Alat ini digunakan secara individual sebagai alat pendeteksi cahaya pada kamera maupun digabung seri maupun paralel untuk memperoleh atau mendapatkan suatu harga tegangan listrik yang dikehendaki sebagai pusat penghasil tenaga listrik. Hampir semua sel surya dibuat dari bahan *silicon* berkrystal tunggal. Bahan ini sampai saat ini masih menduduki tempat paling atas dari urutan biaya pembuatan bila disbanding energi listrik yang diproduksi oleh pembangkit konvensional. Hal ini disebabkan oleh harga *silicon* murni yang masih sangat mahal. Meskipun berbahan dasar pasir silikat (SiO_2),

tetapi untuk membuatnya diperlukan biaya produksi yang tinggi.



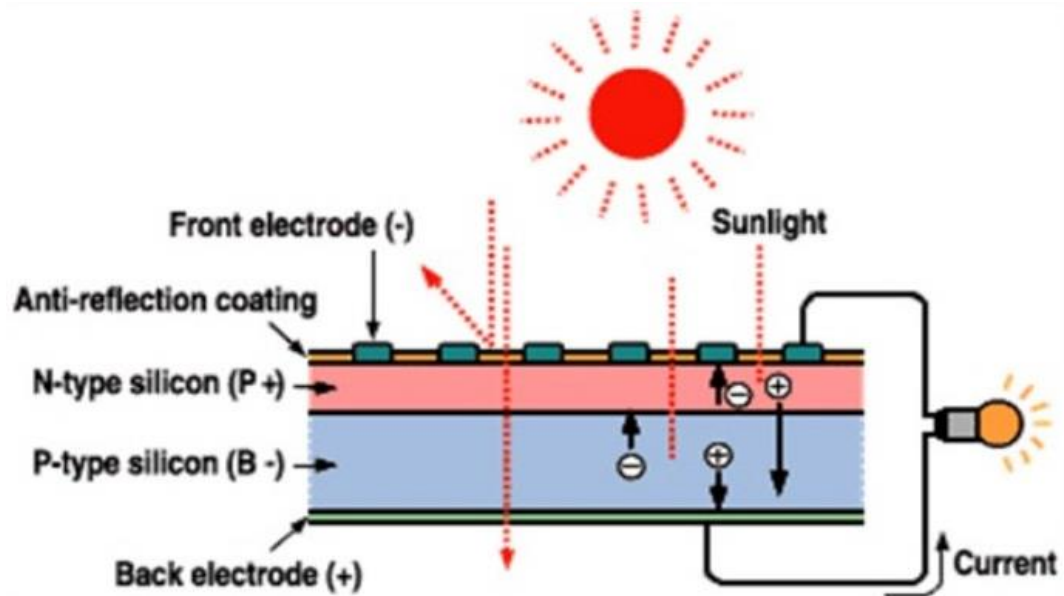
Gambar 2.10 Konstruksi Sel Surya (Solar Cell)

(Sumber : Wilman Septina.2014.*Sel Surya-Struktur Dan Cara Kerja*-<https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/>-)

2.5.2 Prinsip Kerja Sel Surya (Solar Cell)

Prinsip kerja pengonversian tenaga surya menjadi tenaga listrik melalui sel surya dapat dilihat pada gambar 2.9, yang melalui tahapan proses :

1. Absorpsi cahaya dalam semikonduktor
2. Membangkitkan serta memisahkan muatan positif dan negatif bebas ke daerah-daerah lain dari sel surya, untuk membangkitkan tegangan dalam sel surya
3. Memindahkan muatan-muatan yang terpisah tersebut ke terminal-terminal listrik dalam bentuk aliran tenaga listrik.



Gambar 2.11 Sel Surya Mono-Crystalline

(Sumber : Data Centric Teknologi.2017.*Perbedaan Panel Surya Jenis Monocrystalin, Polycrystallin, Dan Hit*. <https://www.dct.co.id/home/artikel/515-perbedaan-panel-surya-jenis-monocrystalin-polycrystalin-dan-hit.html>.)

Prinsip kerja sel surya silikon adalah berdasarkan konsep semikonduktor p-n junction. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor doping-n dan doping-p yang membentuk p-n junction, lapisan anti refleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (elektron dan tipe-p (hole)). Semikonduktor tipe-n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar. Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdifusi pada tipe-p. Sehingga area doping-n akan bermuatan positif sedangkan area doping-p akan bermuatan negatif. Medan elektrik yang terjadi pada keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan hole ke daerah-p. Pada proses ini telah terbentuk p-n junction. Dengan menambahkan kontak logam pada area p dan n maka telah

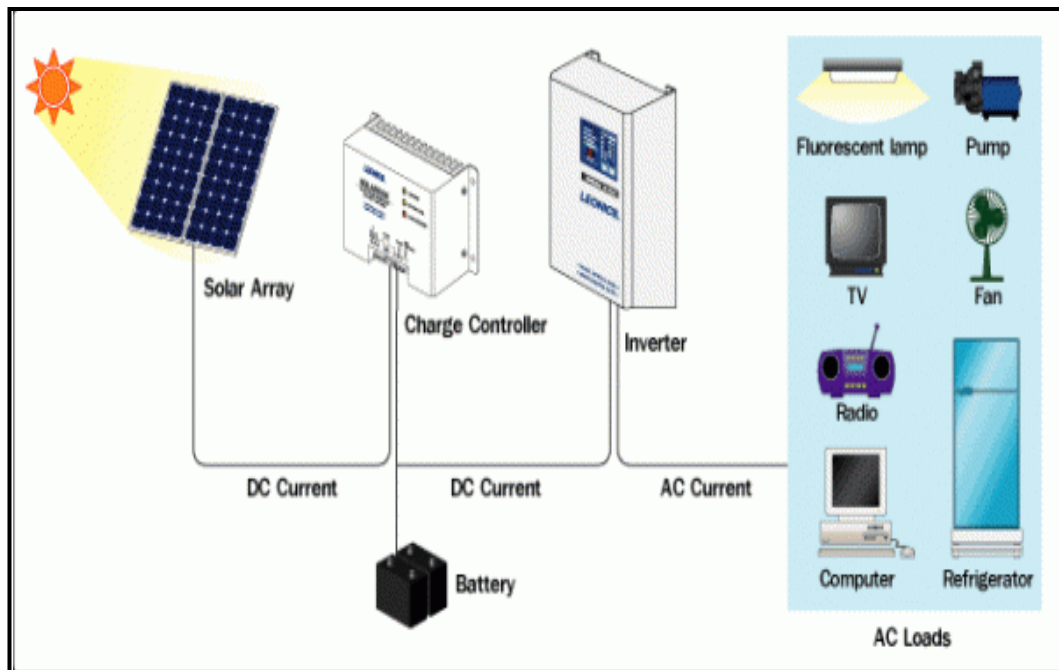
terbentuk dioda. Ketika junction disinari, photon yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan hole pada pita valensi. Elektron maupun hole ini dapat bergerak dalam material sehingga akan menghasilkan pasangan elektron-hole. Apabila diberikan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga nantinya akan menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir.

2.5.3 Aplikasi Panel surya (*Solar Cell*)

2.5.3.1 *Solar Home System (SHS)*

Solar Home System (SHS) adalah aplikasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang menawarkan solusi penyediaan sumber energi listrik yang praktis dan fleksibel untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik bagi daerah-daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN. *Solar Home System (SHS)* biasanya terdiri dari satu atau lebih panel surya (*solar cell*). Komponen atau perangkat utama pada *Solar Home System (SHS)* diantaranya ialah *Solar charge controller* yang berfungsi untuk mendistribusikan serta melakukan pengaturan arus dan tegangan *charging* untuk dapat melindungi baterai dan peralatan dari kerusakan. Kemudian, baterai (*accu*) yang berperan dan berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang telah dibangkitkan oleh panel surya (*solar cell*) untuk digunakan pada malam hari atau ketika matahari tidak bersinar. Komponen atau perangkat utama lainnya yakni sebuah inverter yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan output 220V. *Solar Home System (SHS)* dapat dikombinasi dengan sumber *backup* cadangan seperti PLN ataupun Genset dengan sistem *switching* sederhana sampai dengan otomatis. *Solar Home System (SHS)* dengan skala kecil umumnya di

desain secara *portable* dalam satu unit box, sehingga mudah dipindahkan, dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Sedangkan *Solar Home System* (SHS) dengan skala besar dapat dibangun dalam satu area terpusat yang dikenal atau disebut dengan istilah *Solar Home System* (SHS) sentralisasi atau komunal.



Gambar 2.12 *Solar Home System (SHS)*

(Sumber : Data Solar Surya Indonesia.2013.*Prangkat Solar Home Sistem* <http://solarsuryaindonesia.com/info/solar-home-system->)

2.5.3.2 Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS)

Penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) adalah penerangan jalan yang menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi listriknya. Penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) sangat cocok untuk digunakan pada daerah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN terutama pada daerah-daerah terpencil dan terisolir. Selain itu, penggunaan penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) juga tengah marak digunakan pada daerah perkotaan seperti di jalan utama, jalan perumahan, halte bis, tempat parkir, stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) dan lain sebagainya. Secara singkat, cara kerja dari

penerangan jalan umum tenaga surya (PJUTS) ialah, mulanya panel surya (*solar cell*) berfungsi menerima cahaya atau sinar matahari yang kemudian akan diubah menjadi energi listrik untuk mengisi baterai (*accu*). Kemudian, energi listrik yang tersimpan didalam baterai (*accu*) dapat digunakan untuk menghidupkan lampu penerangan mulai dari sore hari sampai dengan pagi hari.



Gambar 2.13 Penerangan Jalan Umum Tenaga Surya (PJUTS)

(Sumber : Surya Utama Putra.2016.*Lampu Jalan Tenaga Surya*.<https://surya-utamaputra.co.id/wp-content/uploads/2016/12/Lampu-Jalan-Tenaga-Matahari-min-1.jpg?x58875->)

2.5.4 Kelebihan Dan Kekurangan Penggunaan Panel surya (*Solar Cell*)

2.5.4.1 Kelebihan Penggunaan Sel Surya (*Solar Cell*)

Penggunaan panel surya (*solar cell*) sebagai pembangkit energi listrik memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Tidak Pernah Habis

Penggunaan PLTS ini tidak akan pernah habis di karenakan bahan bakar utama untuk membangkitkan energi listrik ini ialah energi matahari yang mana energi ini tidak akan pernah habis dan jumlahnya sangat berlimpah di bumi.

2. Biaya Perawatan Rendah

Ini dikarenakan sel surya (*solar cell*) sendiri hanya membutuhkan perawatan instalasi, dan tidak membutuhkan perawatan yang maksimal sebab, PLTS memproduksi energi dalam keadaan diam dan tidak menimbulkan kerusakan apapun serta bunyi yang berisik.

3. Ramah Lingkungan

Ramah lingkungan dikarenakan pembangkit ini tidak menyumbangkan polusi udara akibat proses pembangkitan energinya yang tidak menggunakan bahan bakar fosil.

4. Umur Panel Surya Yang Panjang

Hasil riset data lapangan menunjukkan bahwa penggunaan sel surya (*solar cell*) dapat bertahan hingga 25 tahun dengan perawatan yang terjaga.

2.5.4.2 Kekurangan Penggunaan Sel Surya (*Solar Cell*)

Kekurangan dari penggunaan panel surya (*solar cell*) untuk digunakan sebagai pembangkit listrik diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Biaya Awal Pembangunan Besar

PLTS membutuhkan biaya awal untuk pembangkitan ini sangat besar karena harga dari tiap komponen yang relatif mahal.

2. Daya Yang Dihasilkan Tidak Pasti

Daya yang di hasilkan oleh pembangkit ini tidaklah pasti karena bergantung pada cahaya yang di terimanya , jika cuaca mendung maka daya yang dihasilkan tidaklah banyak dan ketika malam hari maka energi yang dihasilkan tidak ada sama sekali.

2.5.5 Klasifikasi Panel surya (*Solar Cell*)

1. *Crystalline Silicon (c-Si)*

Panel surya jenis ini memanfaatkan material silikon sebagai bahan utama penyusun sel surya. Tipe *crystalline* merupakan generasi pertama dari sel surya dan memiliki 3 jenis panel utama. Tipe panel surya ini mendominasi pasar dan banyak digunakan untuk pembangkit listrik surya didunia saat ini. Tipe panel ini yaitu, *Monocrystalline Sillicone (mono-Si)*, *Multicrystalline Sillicone (multi-Si)*, dan *Ribbon Sillicone (ribbon-Si)*

2. *Thin-Film Solar Cell*

Panel surya *thin film* menggunakan banyak lapisan material sebagai bahan penyusunnya. Panel surya ini merupakan panel generasi kedua. Ketebalan lapisan materialnya mula dari nanometer hingga micrometer. Beberapa tipe panel surya *thin film* yang ada dipasaran berdasarkan material penyusunnya, yakni, *Cadmium Telluride (CdTe)*, *Copper Indium Gallium Ddiselenide (CIGS)* *Amorphuous thin-Film Sillicone (a-Si, TF-Si)* serta *Gallium Arsenide (GsAs)*.

2.5.6 Analisa Pada Panel surya (*Solar Cell*)

Daya listrik yang dihasilkan sel surya ketika mendapat cahaya diperoleh dari kemampuan perangkat sel surya tersebut untuk memproduksi tegangan ketika diberi beban dan arus melalui beban pada waktu yang sama. Menurut Green MA, dkk (2006), karakteristik dari sel surya dapat diperoleh berdasarkan tiga parameter yaitu tegangan hubung singkat (I_{sc}) dan faktor isi. Besarnya faktor isi dapat diketahui dari persamaan berikut ini:

$$FF = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

F_f = Faktor isi ,

I_{mp} = Arus maksimum (ampere)

V_{mp} = Tegangan maksimum (volt),

I_{sc} = Arus hubung singkat (ampere)

V_{oc} = Tegangan hubung terbuka (volt)

Dengan menggunakan fill faktor maka maksimum daya dari sel surya dapat dihitung, dengan persamaan 2.10 berikut :

$$P_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \dots\dots\dots(2.10)$$

Sehingga efisiensi sel surya yang didefinisikan sebagai daya yang dihasilkan dari sel (P_{max}) dibagi dengan daya dari cahaya yang datang (P_{cahaya}) :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{cahaya}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

η = Effisiensi panel surya (*solar cell*)

P_{max} = Daya maksimum panel surya (*solar cell*) (watt)

P_{cahaya} = Irradiasi matahari ($W/m^2/hari$)

Selanjutnya, untuk menghitung daya keluaran (*output*) panel surya (*solar cell*) dapat digunakan persamaan 2.12 berikut :

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

P_{out} = Daya panel surya (*solar cell*) (watt)

V_{out} = Tegangan output panel surya (*solar cell*) (volt)

I_{out} = Arus output panel surya (*solar cell*) (ampere)

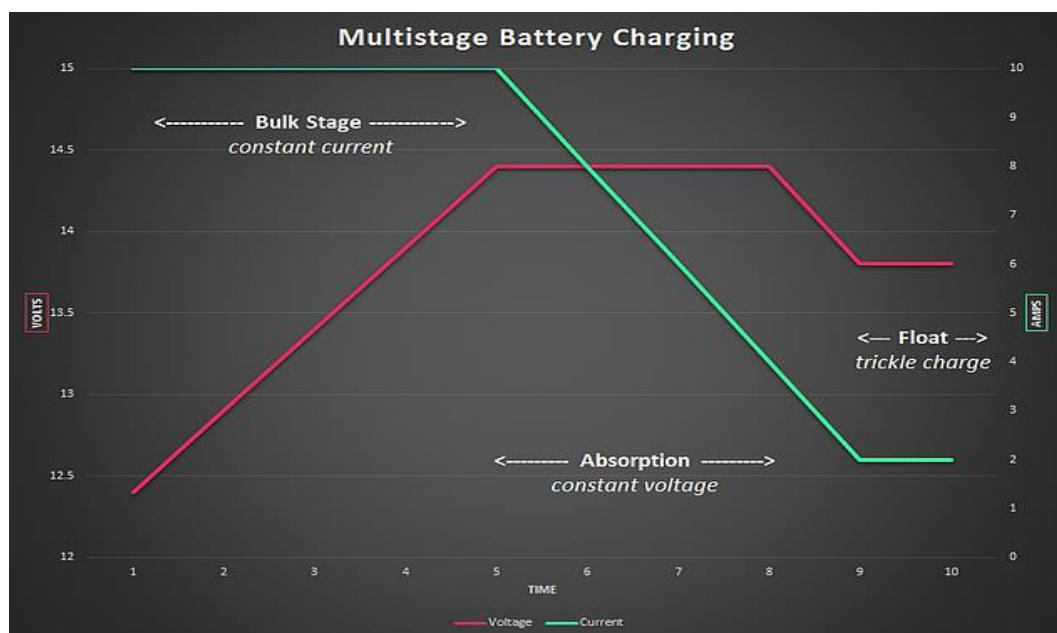
2.6 Solar Charge Controller

Solar charge controller merupakan sebuah perangkat atau komponen pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan sistem *off-grid* yang memiliki tiga terminal. Terminal tersebut diantaranya adalah terminal untuk generator dc (*direct current*) serta panel surya (*solar cell*), terminal untuk baterai, dan terminal untuk beban. Ketiga terminal tersebut dilengkapi dengan polaritas yaitu tanda negatif (-) dan tanda positif (+) yang jelas agar tidak terjadi kesalahan dalam pemasangannya. Secara umum *solar charge controller* berfungsi untuk mengatur arus maupun tegangan dari generator dc (*direct current*) serta panel surya (*solar cell*) dan menghasilkan arus maupun tegangan *charging* yang baik bagi baterai (*accu*). Jika *solar charge controller* ini tidak digunakan maka kerusakan pada baterai (*accu*) akan sangat rentan terjadi karena tegangan keluaran (*output*) yang dihasilkan oleh generator dc (*direct current*) serta panel surya (*solar cell*) pada titik daya maksimum biasanya berkisar antara 16-20 Volt. Sedangkan baterai (*accu*) hanya membutuhkan nilai tegangan pada saat pengisian (*charging*) berkisaran antara 13-14,8 Volt. Sistem kerja dari *solar charge controller* secara umum adalah sebagai berikut :

- a. Pada saat tegangan pengisian baterai telah penuh maka sistem *control* pada *solar charge controller* akan menghentikan suplai tegangan ke baterai (*accu*), selanjutnya arus maupun tegangan yang dihasilkan dapat langsung digunakan
- b. Pada saat tegangan pada baterai (*accu*) akan kosong maka sistem *control* pada *solar charge controller* akan menghentikan pengambilan arus listrik pada baterai (*accu*) yang akan digunakan oleh beban.

2.6.1 Solar Charge Controller Tipe PWM (*Pulse Width Modulation*)

PWM adalah singkatan dari *Pulse Width Modulation* yang menunjukkan bahwa pengontrol pengisian daya bekerja dengan memancarkan pulsa listrik ke baterai (*accu*) dengan panjang gelombang yang bervariasi. Di akhir setiap pulsa, pengontrol pengisian daya mati sebentar untuk mengukur kapasitas baterai dan menyesuaikan nilai keluaran (*output*) agar sesuai. Pengontrol muatan PWM pada dasarnya bertindak sebagai saklar cerdas antara baterai dan panel surya yang mengontrol tegangan dan arus yang mengalir ke baterai. Nominal tegangan baterai dapat menjadi 11V ketika 'kosong' hingga lebih dari 14V saat mengisi daya. Ini adalah tugas *solar charge controller* untuk mengambil nilai tegangan 17-19V dari panel surya dan melakukan pengisian daya dengan aman pada baterai. *solar charge controller* PWM biasanya mengintegrasikan tiga tahap pengisian berbeda yakni : tahap Massal (*Bulk Stage*), Penyerapan (*Absorption*), dan *Float*.



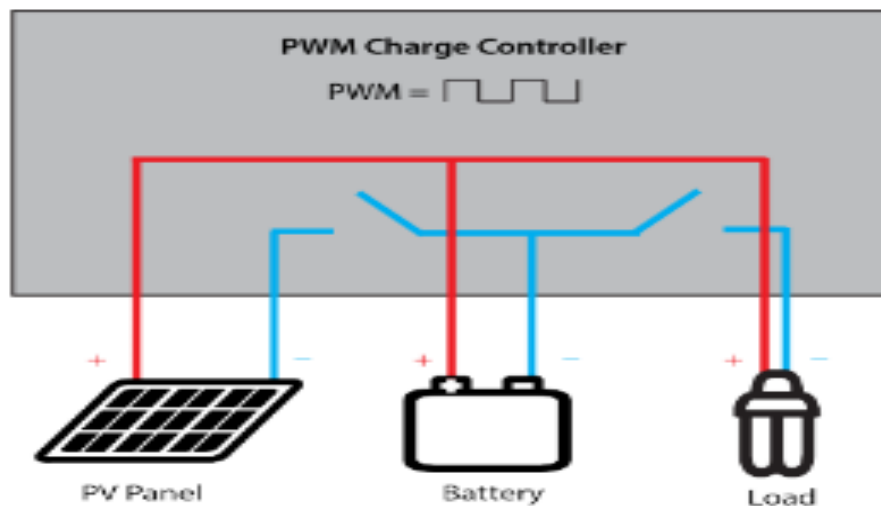
Gambar 2.14 Tahapan Pengisian Daya Baterai Pada Solar Charge Controller PWM (*Pulse Width Modulation*)

(Sumber : Zebra Energy.2016.How Do PWM Charge Controller Work-<https://zebra.energy/blog/How-do-PWM-charge-controllers-work/>)

Pada tahap pengisian daya Massal (*Bulk Stage*), pengontrol pengisian daya secara langsung menghubungkan panel surya ke baterai. Tegangan panel surya ditarik turun agar sesuai dengan tegangan baterai dan output arus penuh dari panel surya dibuang ke baterai. Tahap ini akan berkontribusi besar untuk baterai dan kadang-kadang disebut tahap arus konstan. Saat baterai diisi daya, tegangannya perlahan-lahan meningkat hingga mencapai sekitar 14,4V. Pada titik ini, baterai akan terisi sekitar 80%, namun pengisian pada tegangan ini dan arus maksimal dapat merusak baterai, sehingga pengendali muatan bergerak ke tahap berikutnya.

Pada tahap Penyerapan (*Absorption*), pengendali muatan perlahan-lahan menambah muatan yang tersisa. Ini dilakukan dengan mempertahankan tegangan konstan sekitar 14,4V, tetapi perlahan-lahan membatasi aliran arus ke baterai. Ini memungkinkan reaksi kimia yang terjadi di dalam baterai berlangsung pada tingkat yang aman dan mencegah panas berlebih. Setelah baterai hampir penuh, pengontrol pengisian daya beralih ke tahap *Float*. Ini adalah mode 'tetesan muatan' hanya dengan tetesan arus dan tegangan konstan sekitar 13,8V. Baterai dapat dipelihara dengan aman di sini pada kapasitas 100% untuk jangka waktu yang lama sementara input daya yang kecil mengimbangi laju pemakaian alami baterai.





Gambar 2.15 Bentuk Solar charge controller PWM

(Sumber : greendgoods4U.2015.20A auto solar charger https://www.newenergycoop.co.uk/20amp_pwm_solar_charge_control_cmd20.html-)

2.6.2 Solar Charge Controller Tipe MPPT (*Maximum Power Point Tracking*)

MPPT atau *Maximum Power Point Tracking* adalah algoritma yang termasuk dalam pengontrol daya yang digunakan untuk mengekstraksi daya maksimum yang tersedia dari modul PV dalam kondisi tertentu. MPPT atau *Maximum Power Point Tracking* adalah konverter DC ke DC yang beroperasi dengan mengambil input DC dari modul PV, mengubahnya ke AC dan mengubahnya kembali ke tegangan dan arus DC yang berbeda untuk secara tepat mencocokkan modul PV ke baterai.

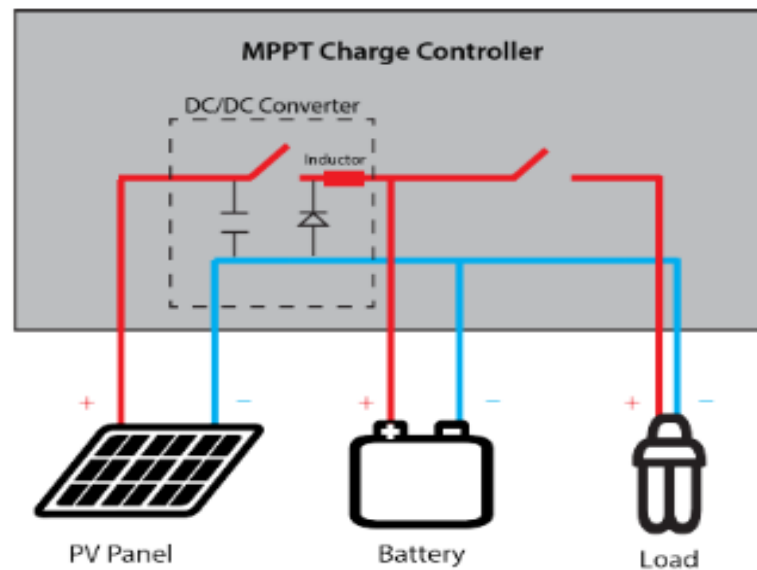
Tegangan di mana modul PV dapat menghasilkan daya maksimum disebut 'titik daya maksimum' (atau tegangan daya puncak). Daya maksimum bervariasi dengan radiasi matahari, suhu lingkungan, dan suhu sel surya. Modul PV yang khas menghasilkan daya dengan tegangan daya maksimum sekitar 17 V bila diukur pada suhu sel 25°C, dapat turun hingga sekitar 15 V pada hari yang diukur pada suhu sel 25°C, dapat turun hingga sekitar 15 V pada hari yang sangat panas

dan juga dapat naik hingga 18 V pada hari yang sangat dingin.

Prinsip utama MPPT adalah mengekstraksi daya maksimum yang tersedia dari modul PV dengan membuatnya beroperasi pada tegangan paling efisien (titik daya maksimum). Artinya, MPPT atau *Maximum Power Point Tracking* akan memeriksa output modul PV, membandingkannya dengan tegangan baterai, lalu memperbaiki daya apa yang dapat dihasilkan modul PV untuk mengisi daya baterai dan mengubahnya menjadi tegangan terbaik untuk mendapatkan arus maksimum ke dalam baterai. Itu juga dapat memasok daya ke beban DC, yang terhubung langsung ke baterai. MPPT paling efektif bekerja pada kondisi berikut ini :

1. Cuaca dingin, berawan atau hari berawan: Biasanya, modul PV bekerja lebih baik pada suhu dingin dan MPPT digunakan untuk mengekstraksi daya maksimum yang tersedia dari mereka.
2. Ketika baterai sangat habis: MPPT dapat mengekstrak lebih banyak arus dan mengisi baterai jika kondisi pengisian baterai lebih rendah.





Gambar 2.16 Bentuk Solar charge controller MPPT

(Sumber : greendgoods4U.2015.20A auto solar charger https://www.newenergycoop.co.uk/20amp_mppt_solar_charge_control_cmt20.html-)

2.7 Baterai (Accu)

Baterai (*accu*) merupakan sebuah alat yang memiliki dua bahkan lebih sel elektrokimia yang mana dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Setiap baterai (*accu*) memiliki dua buah terminal yang saling berlawanan, dimana yang satu terminal positif (*katoda*) dan yang satu terminal negatif (*anoda*) serta terdapat elektrolit sebagai penghantar. Output dari baterai (*accu*) ini sendiri merupakan arus searah atau arus DC (*Direct Current*). Baterai (*accu*) memiliki peranan terpenting dalam sistem pembangkitan energi listrik tenaga bayu dan tenaga surya. Hal tersebut disebabkan karena baterai (*accu*) berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang telah dibangkitkan oleh pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang menggunakan sistem *off-grid*.

Untuk menghitung lama waktu pengisian daya pada baterai (*accu*) dapat digunakan persamaan 2.13 sebagai berikut :

$$\text{Kapasitas Baterai (mAh)} = \text{Output Arus Charger (mA)} \times \text{Waktu Pengisian (h)} \dots\dots\dots(2.13)$$

Sehingga dari persamaan diatas didapat persamaan 2.14 berikut ini :

$$\text{Lama Waktu Pengisian (h)} = \frac{\text{Kapasitas Baterai (mAh)}}{\text{Output Arus Charger (mA)}} \dots\dots\dots(2.14)$$



Gambar 2.17 Bentuk Baterai (*Accu*)

(Sumber : Panel Sinar Surya.2016.*Penjelasan Tentang Baterai*. <https://panel.sinarsurya.wordpress.com/2016/09/20/penjelasan-tentang-bateraiacuaki-/>)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian

Penelitian dan riset data terhadap kinerja *solar charge controller* PWM dan MPPT ini telah dilaksanakan pada bulan Desember 2018 - Januari 2019 Laboraturium Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jalan Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan. Lama waktu penelitian yang telah dilakukan dipaparkan dalam tabel 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Tabel Lama Waktu Dan Perencanaan Penelitian

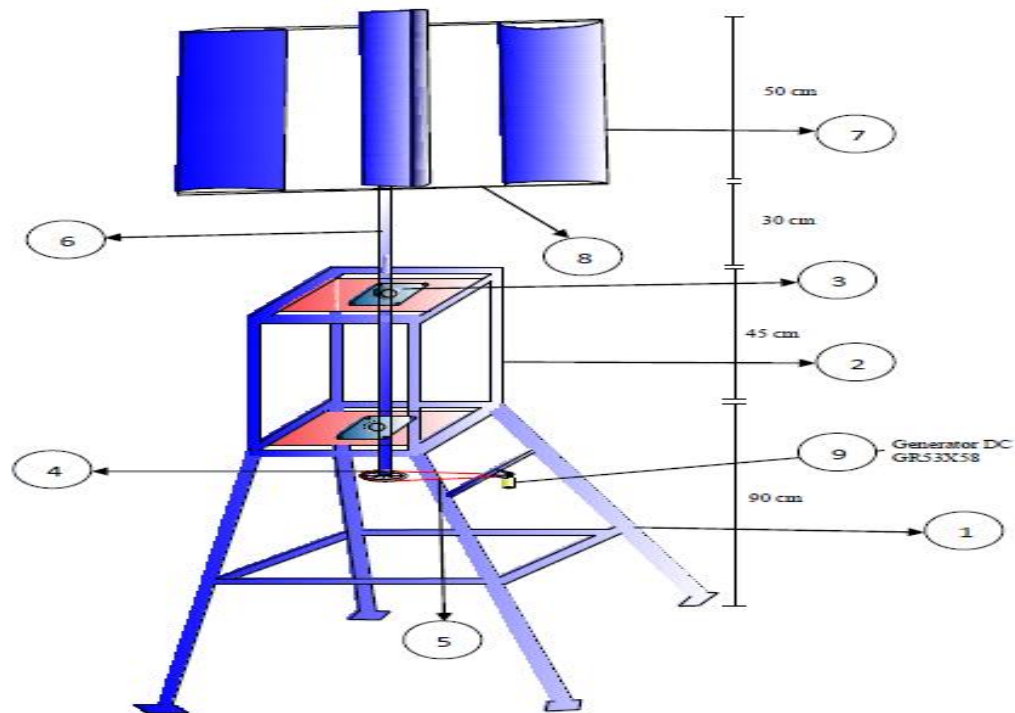
Keterangan	Tanggal/Waktu Penelitian					
	Des, 01	Des, 15	Des, 16	Des, 31	Jan, 01	Jan, 15
Tahap Persiapan/Obeservasi						
Tahap Pengumpulan Data						
Tahap Pengolahan Data						

3.2 Alat-Alat Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Adapun alat eksperimen utama yang digunakan sebagai bahan uji dan riset data dasar dalam penelitian Perbandingan Optimalisasi Daya Pada PLTB Dan PLTS Menggunakan *Solar charge controller* Tipe PWM (*Pulse Width Modulation*) Dan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) ini adalah menggunakan *prototype* PLTB jenis *Vertical-Axis Savonius* 6 sudu dengan *Buck Boost Converter* XL 6009 dan Permanen Magnet DC type GR53X58 sebagai generator DC serta *prototype* PLTS dengan jenis panel surya *Monocrystalline Silicon (Mono-Si)* berkapasitas 100 Wp. Dan secara lengkap telah dipaparkan pada gambar 3.1 dibawah ini :

A. *Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)*



Gambar 3.1 *Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) jenis Vertical-Axis Savonius 6 sudu*

Keterangan gambar *prototype* pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) diatas, serta spesifikasi generator dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan 3.3 berikut :

Tabel 3.2 Keterangan Gambar *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) jenis *Vertical-Axis Savonius* 6 sudu

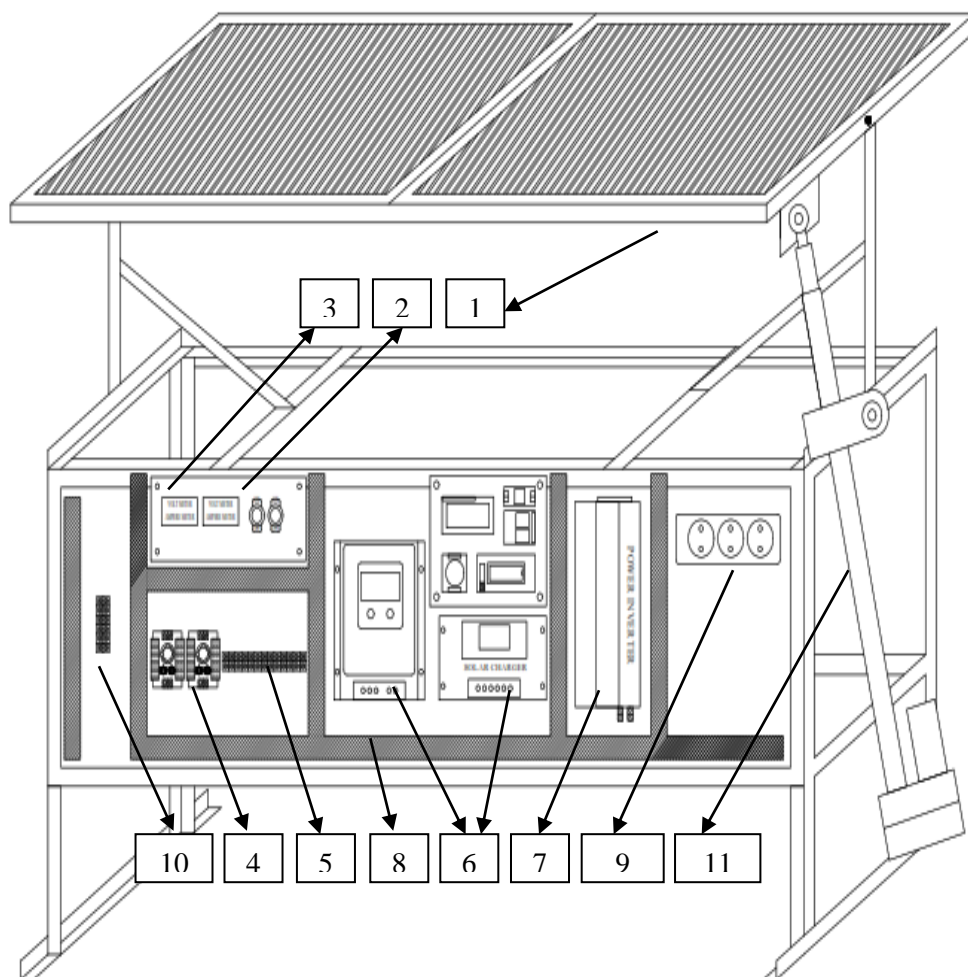
No.	Keterangan	Fungsi Dan Kegunaan
1	Kaki Penyangga	Sebagai penyangga turbin yang terbuat dari besi siku 30.
2	Bodi Turbin	Sebagai tempat dudukan plat bearing dan juga as rotor turbin, serta dudukan bantalan plat bearing bagian atas dan bawah
3	Plat Bearing	Sebagai bantalan as rotor turbin.
4	Pulley	sebagai alat kopel as turbin ke generator.
5	Belting	sebagai penghubung dari pulley ke generator
6	As Rotor Turbin	Terbuat dari pipa galvanis ½ inci dengan panjang 135 cm.
7	Sudu atau Kincir	Terdiri dari dua jenis sudu dengan ukuran 8 inci dan 4 inci.
8	Dudukan Turbin	Terbuat dari plat strip 4 x 19 sebanyak 12 buah

Tabel 3.3 Spesifikasi Permanen Magnet DC type GR53X58

Permanen Magnet DC type GR53X58	
Voltage : DC 12 – 40 VDC	Type Motor brushed
Current : In : 1,9A . Ifm : 20A	No load current : 0,2A
Torque : 17 Ncm	Demagnetisation current : 31A
Maximum Output : 120 W	Rotational speed: 3000 rpm (18849.56 -1) max 3300 rpm (20734.51 -1)
Torque constant : 6,2 Ncm/A (6,2KgCm)	Panjang Motor 12.5cm + Poros 2cm, Total 14.5cm
Starting current : 0,2A	Diameter 5.2 cm

B. *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Adapun komponen-komponen yang terpasang pada *prototype* PLTS pada gambar 3.2 dapat dilihat pada tabel 3.4.



Gambar 3.2 *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Jenis Panel Surya Monocrystalline Silicon (Mono-Si)

Tabel 3.4 Keterangan Gambar *Prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Dengan Jenis Panel surya *Monocrystalline Silicon (Mono-Si)*

No.	Keterangan	Fungsi Dan Kegunaan
1	Panel surya/Photovoltaic	Sebagai media pengubah energi matahari menjadi energi listrik.
2	Saklar	Sebagai media pengubah energi matahari menjadi energi listrik.
3	Volt meter dan ampere meter	Sebagai alat pengukur tegangan dan arus pada penelitian.
4	Buck converter	Sebagai pengatur tegangan.
5	Terminal blok	Sebagai media penghubung komponen komponen penelitian.
6	Charger controller	Sebagai Pengatur tegangan dan arus listrik keluaran dari sel surya menuju baterai
7	Power inverter	Sebagai pengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC)
8	<i>Cable Duct</i> atau jalur kabel	Sebagai jalur kabel penghubung tiap komponen.
9	Stop kontak	Sebagai media penghubung ke beban percobaan
10	Baterai,	Sebagai media penyimpanan energi listrik.
11	Aktuator	Sebagai pengatur posisi atau sudut <i>solar cell</i> .

Tabel 3.5 Spesifikasi Panel surya (*Solar Cell*) 2x50 Wp

Keterangan	Spesifikasi
Max. Power (Pmax)	50W
Max. Power Voltage (Vmp)	16.5V
Max. Power Current (Imp)	3.34A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.1V
Short Circuit Current (Isc)	4.23A
Nominal Operating Cell Temp (NOCT)	45±2°C
Max. System Voltage	1000V
Max. Series Fuse	16A
Max. Power Voltage (Vmp)	16.5V
Max. Power Current (Imp)	3.34A
Weight	6.5Kg
Dimension	775 x 680 x 28 mm

3.2.2 Alat Penelitian Pendukung

Adapun alat-alat penelitian lainnya yang digunakan untuk mendukung jalannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. XL6009 Compact Adjustable, berfungsi sebagai alat untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan oleh generator dc (*direct current*).
2. Anemometer, berfungsi untuk mengukur kecepatan angin.
3. Multitester, berfungsi sebagai alat untuk mengukur tegangan.
4. Tang kombinasi, sebagai media jepit.
5. Tang potong, untuk memotong kabel.
6. Obeng plus (+) minus (-), untuk mengunci skrup.
7. Laptop merk Acer-Aspire E1-470, sebagai alat penunjang untuk menginput dan mencatat data-data penelitian.

3.3 Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan penelitian ataupun riset data penelitian guna memperoleh hasil penelitian sesuai seperti yang diharapkan.

A. Tahap Persiapan/Observasi

Dilakukan pengamatan dan obeservasi lapangan serta wawancara dengan berbagai pihak terkait khususnya pihak BMKG guna mengetahui secara pasti data-data cuaca yang berkaitan dengan suhu, curah hujan, kecepatan angin dan intensitas cahaya matahari pada titik sampel yang telah ditentukan.

B. Tahap Pengumpulan Data

Beberapa data penting yang berkaitan dengan penelitian ini yang telah diperoleh yaitu data-data terkait kondisi cuaca di sumatera utara yang diambil dari

Tabel 3.8 Data Meteorologi Kualanamu

Lokasi Pengamatan / Stasiun		:	Stasiun Meterorologi Kelas 1 Kualanamu										
Koordinat		:	03'38'25 LU ; 098'52'43' BT										
Curah Hujan (mm)													
Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des	
2016			6.8	5.9	140.3	68.7	171.7	112.2	536.6	347.3	96.6	112.5	
2017	91.9	63.5	69.7	73.8	131.3	111.8	93.4	200.7	280.2	386.9	282.2	290.7	
2018	248.1	60.6	55.5										
Intensitas Penyinaran Matahari (W/m ²)													
Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des	
2016			180.7	179.5	205.4	178.2	175.4	188.7	234.3	181.2	153.9	170.5	
2017	166.9	199.9	205.4	186.3	165.6	187.3	181.9	178.4	193.1	207.1	160.3	149.1	
2018	169.9	222.5	208.8										
Kecepatan Angin (Knot)													
Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des	
2016			5	5	5	5	5	5	5	12	4	11	
2017	4	5	4	4	4	4	4	4	4	5	5	5	
2018	4	5	5										
Kecepatan Angin (m/s)													
Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust	Sep	Okt	Nop	Des	
2016			2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	6.2	2.1	5.7	
2017	2.1	2.6	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.6	2.6	2.6	
2018	2.1	2.6	2.6										

C. Tahap Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data berdasarkan informasi dan data riset yang diperoleh. Pengolahan data yang telah dilakukan meliputi:

- Menghitung arus dan tegangan serta daya listrik keluaran (*output*) rata-rata yang dihasilkan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT
- Menghitung efisiensi dan lama waktu yang diperlukan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya listrik pada baterai (*accu*).

- Melakukan perbandingan data terhadap nilai arus dan tegangan serta daya listrik keluaran yang dihasilkan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT
- Melakukan perbandingan data terhadap nilai efisiensi dan lama waktu yang diperlukan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya listrik pada baterai (*accu*).

3.4 Data Penelitian

3.4.1 Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Generator DC Pada PLTB

Berdasarkan pengujian dan riset data yang telah dilakukan selama kurun waktu 5 hari, diperoleh hasil penelitian berupa data rata-rata arus dan tegangan yang dibangkitkan oleh generator dc (*direct current*) tiap jam yang dapat dilihat pada tabel 3.9 berikut:

Tabel 3.9 Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Generator DC Pada PLTB

Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)(Volt)	Arus Generator (Igen)(Ampere)	Daya Input Generator (Pgen)(Watt)
09.00	0,856	14,58	0,358	5,21964
10.00	1,388	15,225	0,424	6,4554
11.00	2,066	16,18	0,526	8,51068
12.00	2,29	16,45	0,56	9,212
13.00	2,158	16,346	0,534	8,728764
14.00	2,3	16,46	0,546	8,98716
15.00	2,138	16,28	0,544	8,85632
16.00	1,564	15,74	0,466	7,33484
17.00	1,53	15,36	0,424	6,51264

3.4.2 Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada PLTS

A. Data Penggunaan *Solar Charge Controller* PWM

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh data penelitian yang dapat dilihat pada tabel 3.10 dan 3.11 berikut ini :

Tabel 3.10 Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada Rangkaian Seri Yang Mampu Diserap Oleh *Solar Charge Controller* PWM

Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
Jam	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)(Volt)	Arus Panel Surya (Ip.s)(Ampere)	Daya Input Panel Surya (Pp.s)(Watt)
09.00	20,9	26,08	0,376	9,80608
10.00	22,4	27,86	0,384	10,69824
11.00	25,6	29,92	0,388	11,60896
12.00	30,8	34,9	0,906	31,6194
13.00	31,18	33,16	0,75	24,87
14.00	30,1	33,1	0,626	20,7206
15.00	28,6	32,12	0,56	17,9872
16.00	25,06	32,8	0,554	18,1712
17.00	22,3	31,98	0,464	14,83872

Tabel 3.11 Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada Rangkaian Paralel Yang Mampu Diserap Oleh *Solar Charge Controller* PWM

Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
Jam	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)(Volt)	Arus Panel Surya (Ip.s)(Ampere)	Daya Input Panel Surya (Pp.s)(Watt)
09.30	20,9	15,92	0,266	4,23472
10.30	22,4	15,98	0,432	6,90336
11.30	25,6	16,52	0,482	7,96264
12.30	30,8	19,4	0,752	14,5888
13.30	31,18	18,7	0,642	12,0054

14.30	30,1	18,4	0,46	8,464
15.30	28,6	16,52	0,454	7,50008
16.30	25,06	16,52	0,436	7,20272
17.30	22,3	16,06	0,436	7,00216

B. Data Penggunaan *Solar charge controller* MPPT

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan menggunakan *solar charge controller* MPPT, pada *prototype* pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) diperoleh data hasil penelitian yang dapat dilihat pada tabel 3.12 dan 3.13 berikut:

Tabel 3.12 Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada Rangkaian Seri Yang Mampu Diserap Oleh *Solar Charge Controller* MPPT

Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
Jam	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)(Volt)	Arus Panel Surya (Ip.s)(Ampere)	Daya Input Panel Surya (Pp.s)(Watt)
09.00	20,9	34,6	0,54	18,684
10.00	22,4	34,6	0,56	19,376
11.00	25,6	34,8	1,06	36,888
12.00	30,8	36,4	1,62	58,968
13.00	31,18	36,4	1,3	47,32
14.00	30,1	36,2	1,2	43,44
15.00	28,6	35,2	1,16	40,832
16.00	25,06	34,8	1,14	39,672
17.00	22,3	34,8	1,04	36,192

Tabel 3.13 Data Arus, Tegangan Dan Daya Input Yang Dihasilkan Panel Surya Pada Rangkaian Paralel Yang Mampu Diserap Oleh *Solar Charge Controller* MPPT

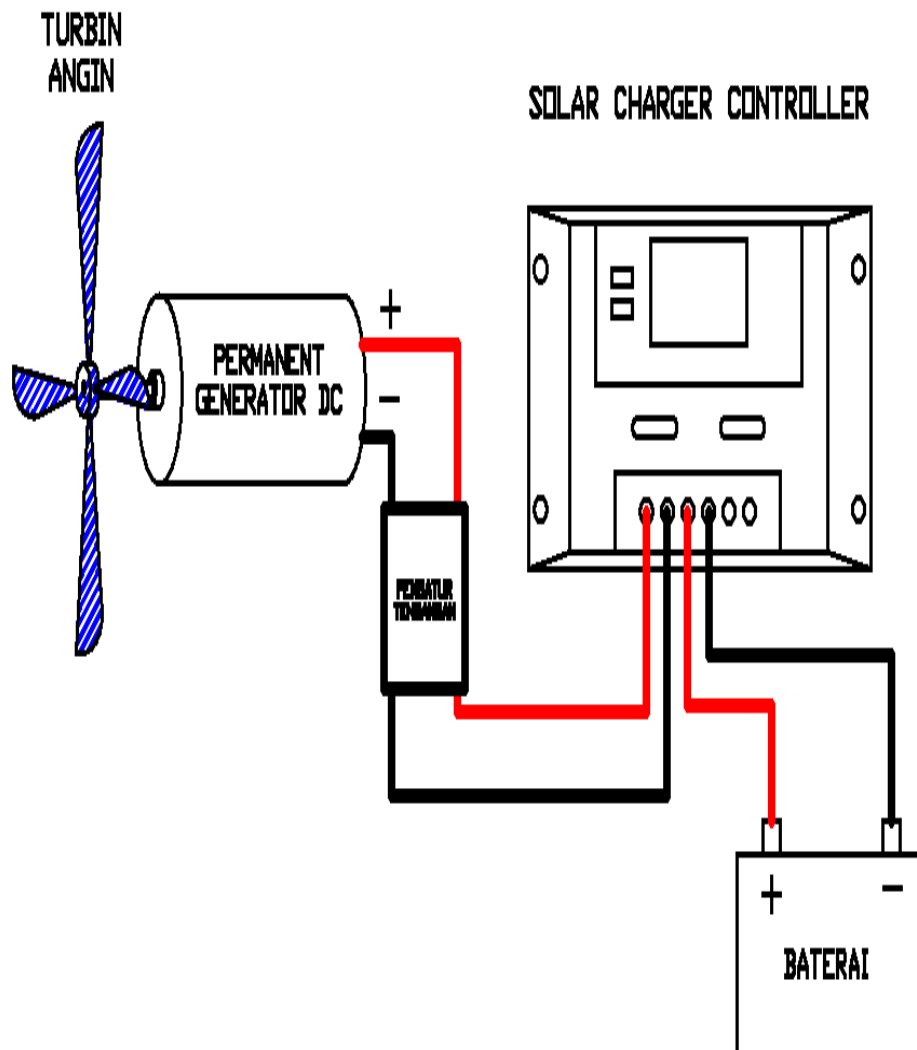
Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
Jam	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)(Volt)	Arus Panel Surya (Ip.s)(Ampere)	Daya Input Panel Surya (Pp.s)(Watt)
09.00	20,9	16,6	1,58	26,228

10.00	22,4	16,8	1,64	27,552
11.00	25,6	17,2	2	34,4
12.00	30,8	17,8	3,94	70,132
13.00	31,18	17,8	3,94	70,132
14.00	30,1	17,2	1,86	31,992
15.00	28,6	17	1,26	21,42
16.00	25,06	16,6	1,12	18,592
17.00	22,3	16	0,78	12,48

3.5 Skema Rangkaian Penggunaan *Solar Charge Controller* Pada PLTB Dan PLTS

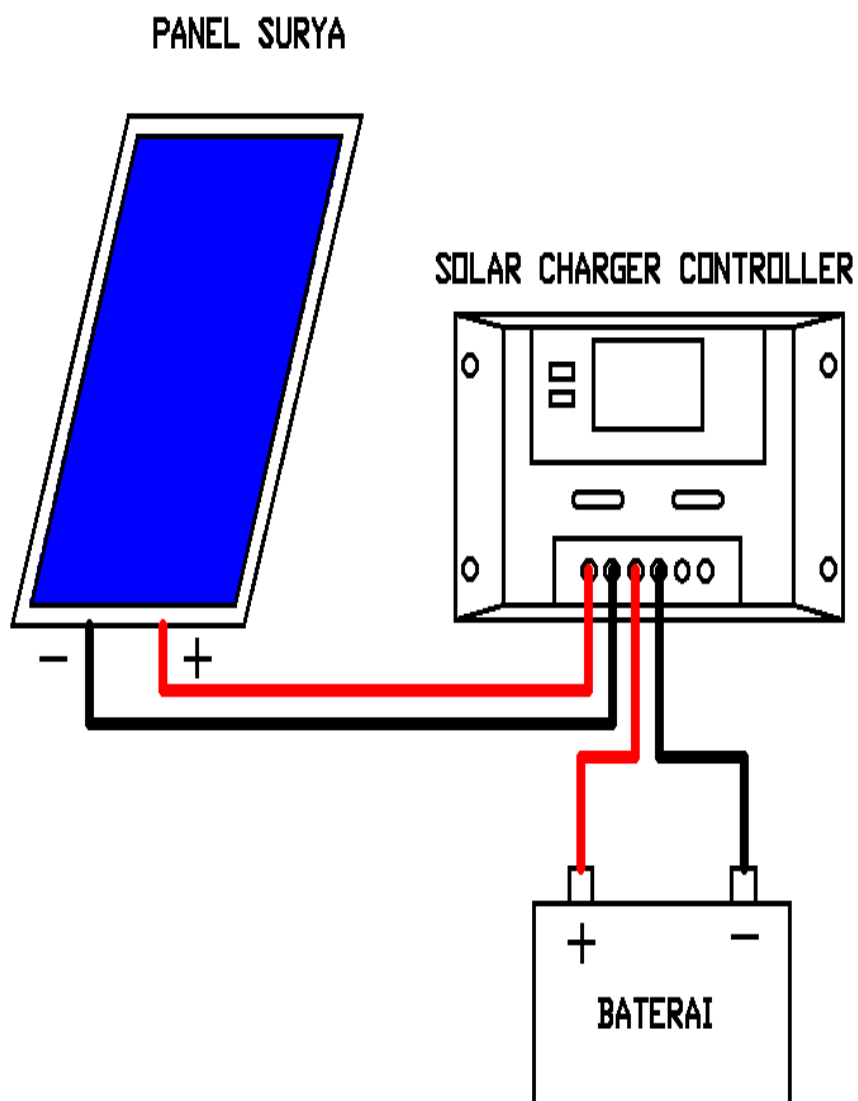
Berikut ini adalah skema rangkaian penggunaan *solar charge controller* pada *prototype* pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan *prototype* pembangkit listrik tenaga surya (PLTS)

3.5.1 Skema Rangkaian Penggunaan *Solar Charge Controller* Pada PLTB



Gambar 3.3 *Skema Penggunaan Solar charge controller Pada Prototype PLTB*

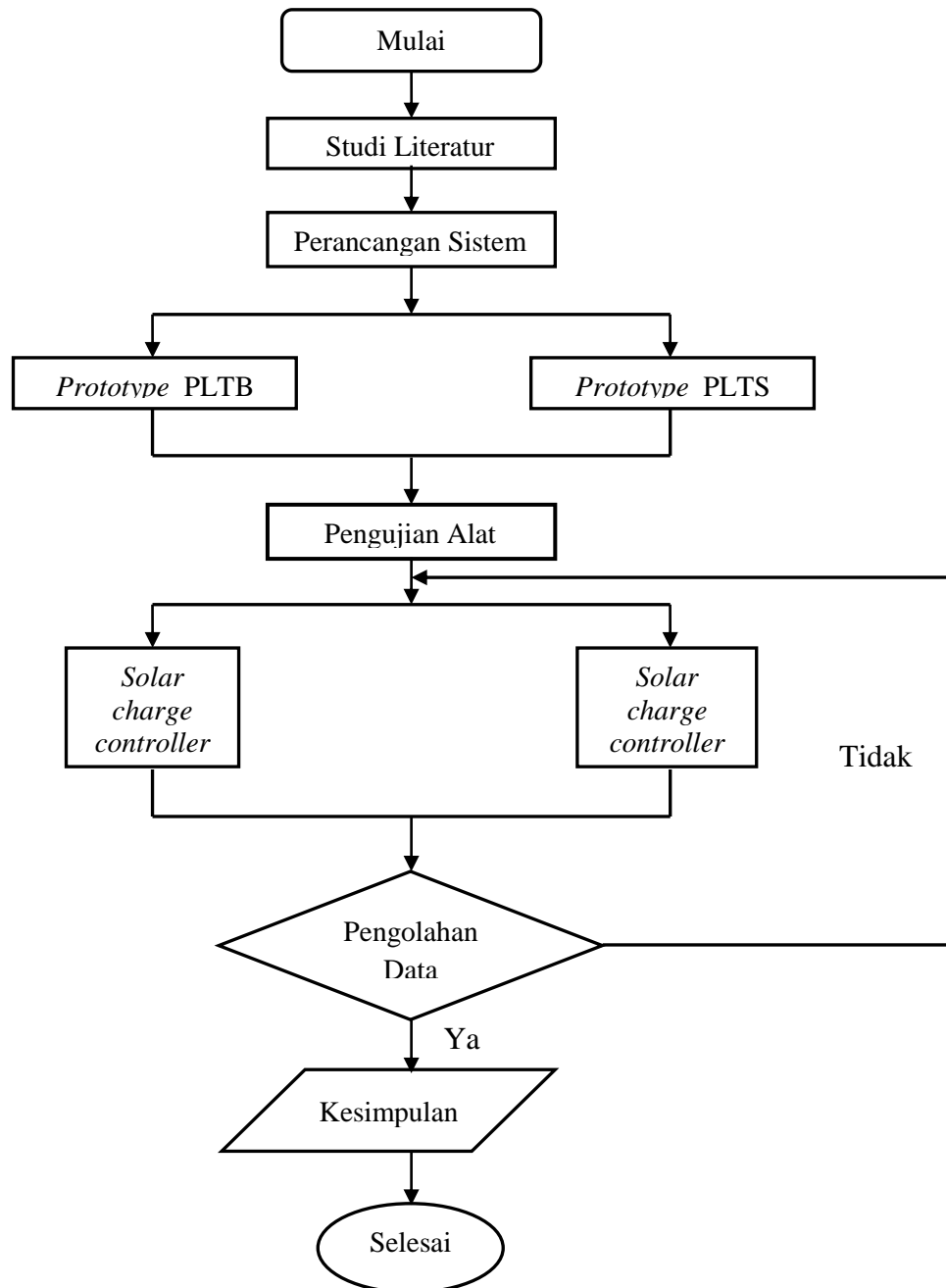
3.5.2 Skema Rangkaian Penggunaan Solar Charge Controller Pada PLTS



Gambar 3.4 *Skema Penggunaan Solar charge controller Pada Prototype PLTS*

3.6 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini adalah prosedur penyusunan tugas ini akhir yang dituangkan dalam suatu bentuk diagram alir penelitian.



Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Perbandingan Arus Dan Tegangan Serta Daya keluaran (*Output*) Yang Dihasilkan Oleh *Solar Charge Controller* PWM dan MPPT Pada PLTB Dan PLTS

Berdasarkan penelitian dan pengujian yang telah dilakukan selama kurun waktu 5 hari di lapangan atau tempat penelitian, diperoleh hasil penelitian sebagai berikut :

4.1.1 Perbandingan Arus Dan Tegangan Serta Daya keluaran (*Output*) Yang Dihasilkan Oleh *Solar Charge Controller* PWM dan MPPT Pada PLTB

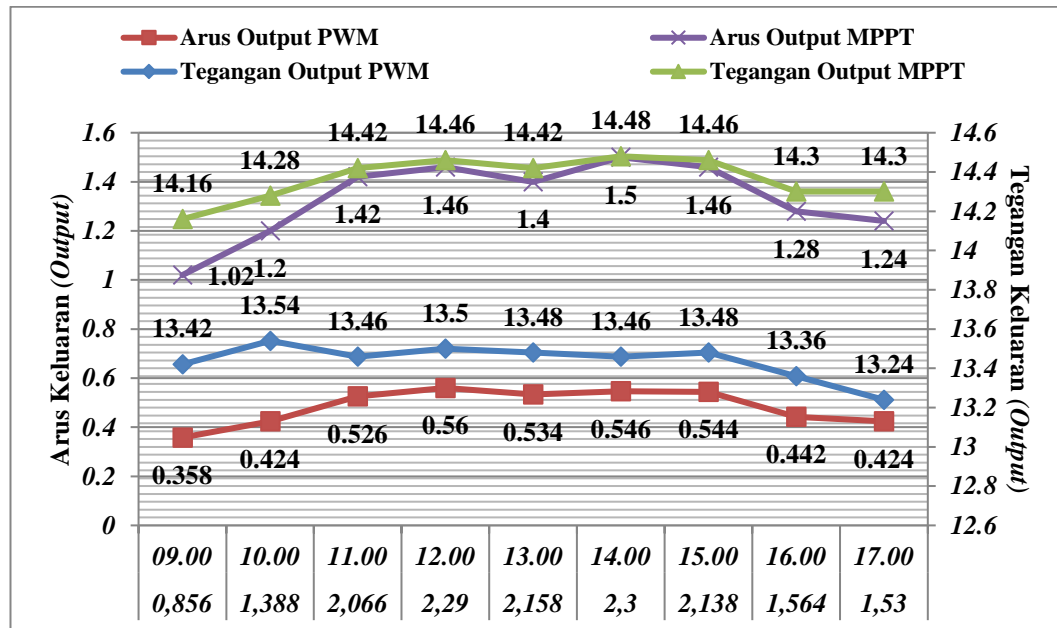
Data hasil penelitian berikut, merupakan data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran menggunakan alat ukur berupa *voltmeter* dan *amperemeter*. Serta perhitungan daya keluaran (*output*) menggunakan persamaan 2.7. Adapun data hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Penelitian Penggunaan *Solar Charge Controller* PWM Dan MPPT Pada PLTB

Jam	Kecepatan Angin (m/s)	<i>Solar Charge Controller</i> PWM			<i>Solar Charge Controller</i> MPPT		
		Tegangan Output (Vout)	Arus Output (Iout)	Daya Output (Pout)	Tegangan Output (Vout)	Arus Output (Iout)	Daya Output (Pout)
09.00	0,856	13,42	0,358	4,80436	14,16	1,02	14,4432
10.00	1,388	13,54	0,424	5,74096	14,28	1,2	17,136
11.00	2,066	13,46	0,526	7,07996	14,42	1,42	20,4764
12.00	2,29	13,5	0,56	7,56	14,46	1,46	21,1116
13.00	2,158	13,48	0,534	7,19832	14,42	1,4	20,188
14.00	2,3	13,46	0,546	7,34916	14,48	1,5	21,72
15.00	2,138	13,48	0,544	7,33312	14,46	1,46	21,1116

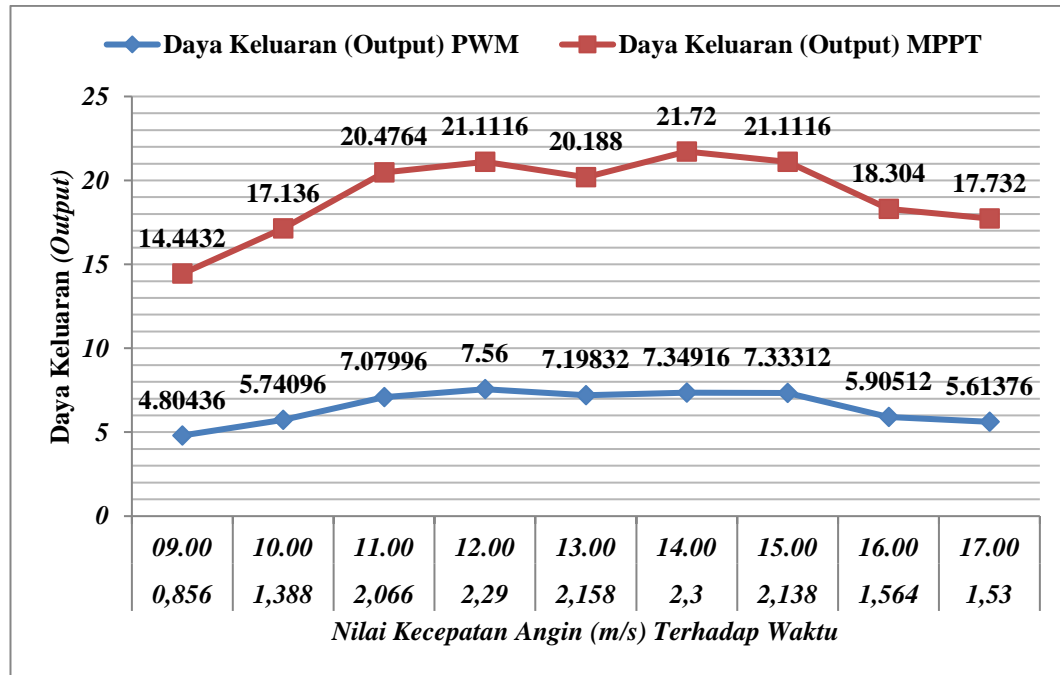
16.00	1,564	13,36	0,442	5,90512	14,3	1,28	18,304
17.00	1,53	13,24	0,424	5,61376	14,3	1,24	17,732

Berdasarkan data hasil penelitian pada tabel 4.1 tersebut diperoleh grafik perbandingan terhadap nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan *solar charge controller* PWM dan MPPT pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) yang dapat dilihat pada gambar 4.1 dan 4.2 berikut :



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Arus Dan Tegangan Keluaran (*Output*) Yang Dihasilkan *Solar Charge Controller* PWM Dan MPPT Pada PLTB

Berdasarkan data grafik perbandingan yang diperlihatkan oleh gambar 4.1, terlihat bahwa *solar charge controller* MPPT mampu menghasilkan arus keluaran (*output*) yang lebih tinggi dibandingkan *solar charge controller* PWM. Data yang diperoleh dari hasil penelitian menunjukkan bahwa arus arus keluaran (*output*) rata-rata yang mampu dihasilkan oleh *solar charge controller* PWM hanya berkisar pada 0,358A hingga 0,56A. Nilai tersebut berbanding jauh dengan nilai arus keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan oleh *solar charge controller* MPPT yang berkisar 1,02A sampai 1,5A.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Daya Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTB

Berdasarkan gambar 4.2 diatas terlihat bahwa *solar charge controller* MPPT mampu menghasilkan daya keluaran yang lebih tinggi dengan nilai yang berkisar dari 14,4432 Watt sampai dengan 21,72 Watt dibandingkan *solar charge controller* PWM yang hanya mampu menghasilkan nilai yang berkisar dari 4,8 Watt sampai dengan 7,56 Watt.

4.1.2 Perbandingan Arus Dan Tegangan Serta Daya keluaran (Output) Yang Dihasilkan Oleh Solar Charge Controller PWM dan MPPT Pada PLTS

Data penelitian berikut, merupakan data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran menggunakan alat ukur berupa *voltmeter* dan *amperemeter*. Serta perhitungan daya keluaran (*output*) menggunakan persamaan 2.7. Adapun data hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

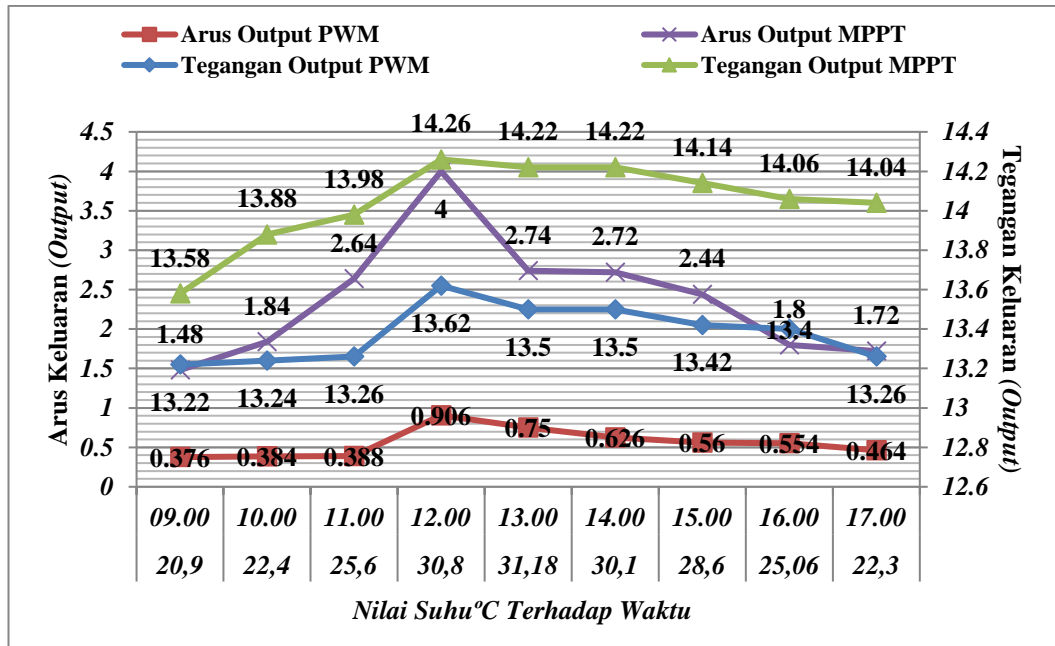
A. Hasil Pengujian *Solar Charge Controller* PWM Dan MPPT Pada Rangkaian Seri Panel surya (*Solar Cell*)

Data penelitian berikut, merupakan data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran menggunakan alat ukur berupa *voltmeter* dan *amperemeter*. Serta perhitungan daya keluaran (*output*) menggunakan persamaan 2.7. Adapun data hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

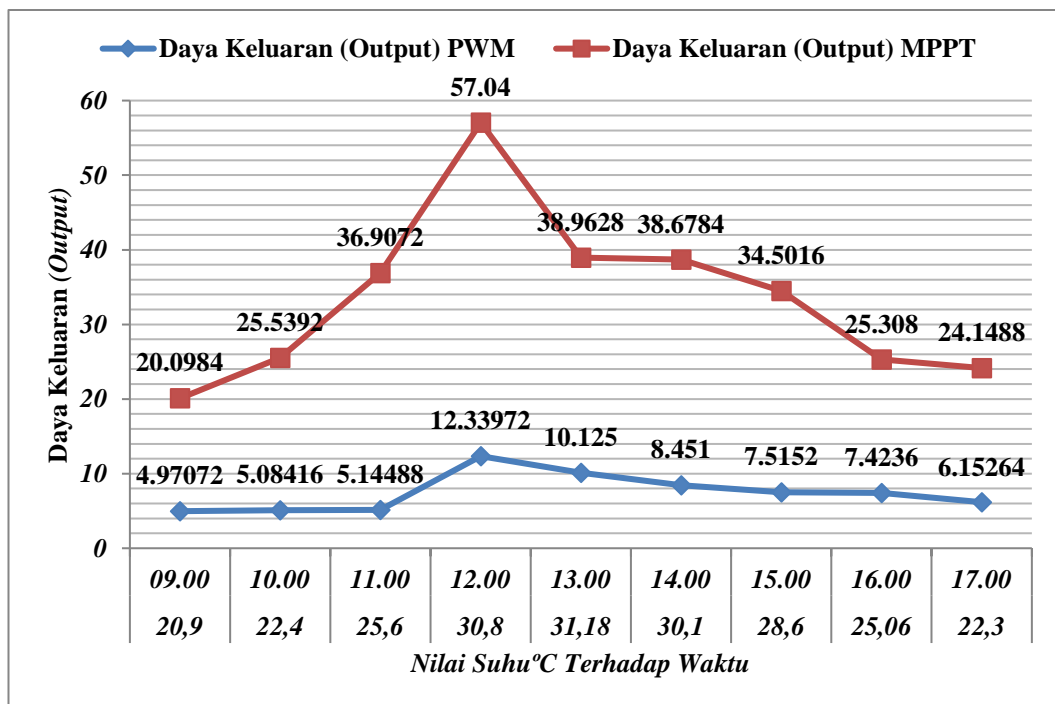
Tabel 4.2 Data Hasil Penelitian Arus Dan Tegangan Serta Daya Keluaran (*Output*) Yang Dihasilkan *Solar Charge Controller* PWM Dan MPPT Pada Rangkaian Seri Panel surya (*Solar Cell*)

Jam	Suhu °C	<i>Solar Charge Controller PWM</i>			<i>Solar Charge Controller MPPT</i>		
		Tegangan Output (Vout)	Arus Output (Iout)	Daya Output (Pout)	Tegangan Output (Vout)	Arus Output (Iout)	Daya Output (Pout)
09.00	20,9	13,22	0,376	4,97072	13,58	1,48	20,0984
10.00	22,4	13,24	0,384	5,08416	13,88	1,84	25,5392
11.00	25,6	13,26	0,388	5,14488	13,98	2,64	36,9072
12.00	30,8	13,62	0,906	12,33972	14,26	4	57,04
13.00	31,18	13,5	0,75	10,125	14,22	2,74	38,9628
14.00	30,1	13,5	0,626	8,451	14,22	2,72	38,6784
15.00	28,6	13,42	0,56	7,5152	14,14	2,44	34,5016
16.00	25,06	13,4	0,554	7,4236	14,06	1,8	25,308
17.00	22,3	13,26	0,464	6,15264	14,04	1,72	24,1488

Berdasarkan data hasil penelitian pada tabel 4.2 tersebut diperoleh grafik perbandingan terhadap nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT yang dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4 berikut ini:



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Arus Dan Tegangan Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Seri Panel surya (Solar Cell)



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Daya Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Seri Panel Surya

B. Hasil Pengujian Pada Rangkaian Paralel Panel Surya (*Solar Cell*)

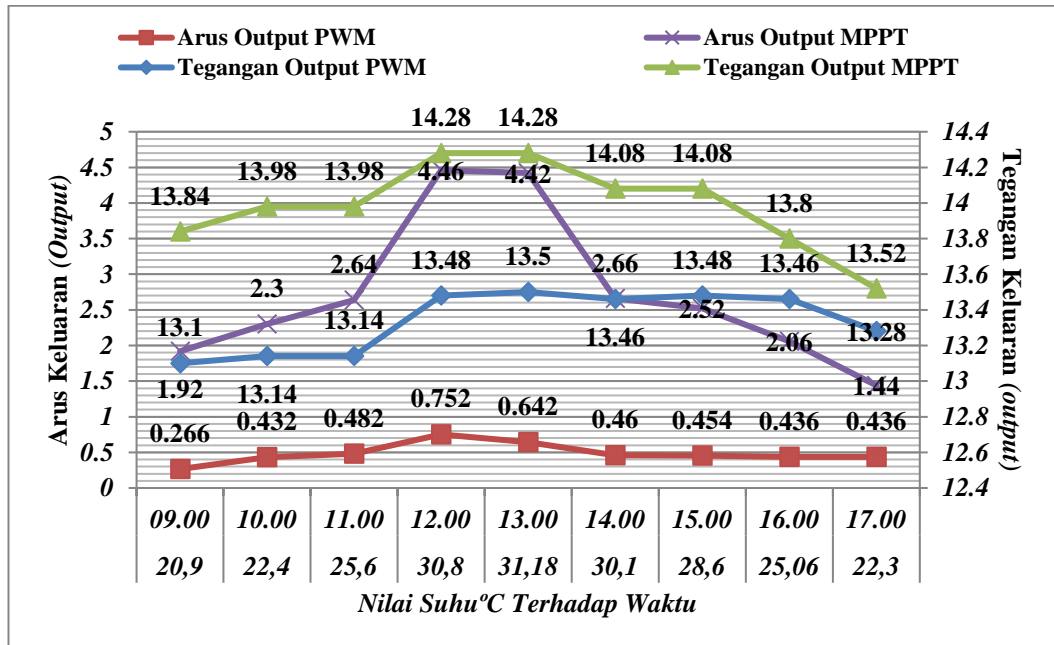
Data penelitian berikut, merupakan data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran menggunakan alat ukur berupa *voltmeter* dan *amperemeter*. Serta perhitungan daya keluaran (*output*) menggunakan persamaan 2.7. Adapun data hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Data Hasil Penelitian Arus Dan Tegangan Serta Daya Keluaran (*Output*) Yang Dihasilkan Oleh *Solar Charge Controller* PWM Dan MPPT Pada Rangkaian Paralel Panel surya (*Solar Cell*)

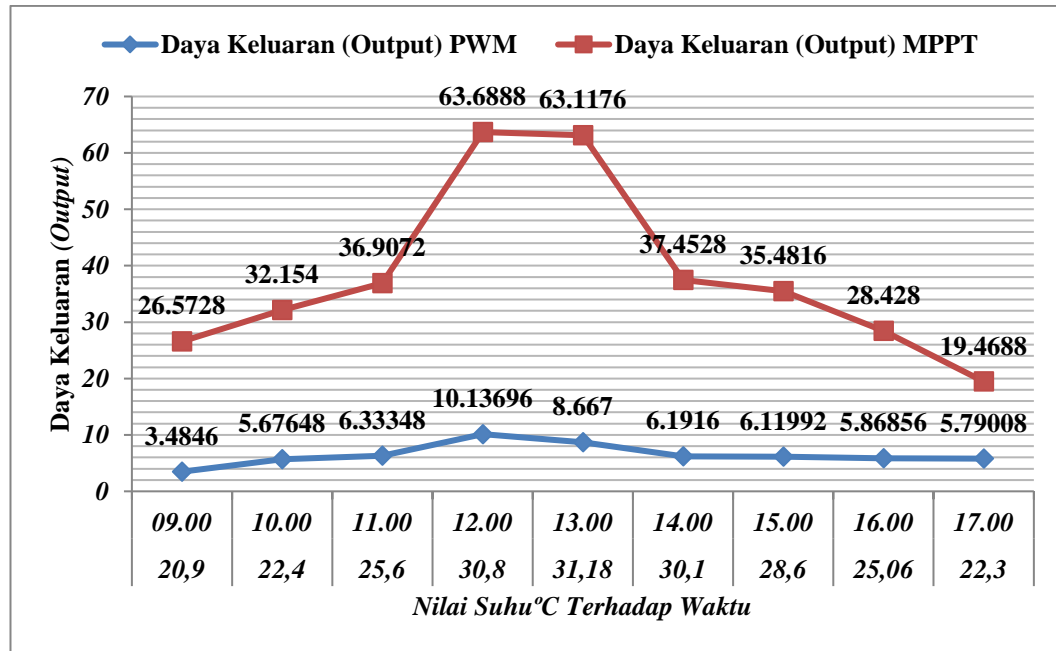
Jam	Suhu°C	<i>Solar Charge Controller PWM</i>			<i>Solar Charge Controller MPPT</i>		
		Tegangan Output (Vout)	Arus Output (Iout)	Daya Output (Pout)	Tegangan Output (Vout)	Arus Output (Iout)	Daya Output (Pout)
09.00	20,9	13,1	0,266	3,4846	13,84	1,92	26,5728
10.00	22,4	13,14	0,432	5,67648	13,98	2,3	32,154
11.00	25,6	13,14	0,482	6,33348	13,98	2,64	36,9072
12.00	30,8	13,48	0,752	10,13696	14,28	4,46	63,6888
13.00	31,18	13,5	0,642	8,667	14,28	4,42	63,1176
14.00	30,1	13,46	0,46	6,1916	14,08	2,66	37,4528
15.00	28,6	13,48	0,454	6,11992	14,08	2,52	35,4816
16.00	25,06	13,46	0,436	5,86856	13,8	2,06	28,428
17.00	22,3	13,28	0,436	5,79008	13,52	1,44	19,4688

Berdasarkan data hasil penelitian pada tabel 4.3 tersebut diperoleh grafik perbandingan terhadap nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT yang dapat dilihat pada gambar 4.5 dan 4.6. Data hasil penelitian pada tabel 4.3 yang telah direpresentasikan pada gambar 4.5 dan 4.6, menunjukkan perbandingan terhadap nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) yang sangat besar. Terlihat bahwa *solar charge controller* PWM hanya mampu menghasilkan arus dan daya keluaran (*output*) maksimum sebesar 0,752A dan 10,13 Watt yang terjadi pada

pukul 12.00. Pada waktu yang sama *solar charge controller* MPPT mampu menghasilkan arus keluaran (*output*) maksimum yang lebih besar yakni 4,46 A dan 63,68 Watt.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Arus Dan Tegangan Keluaran (*Output*) Yang Dihasilkan Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Paralel Panel surya (*Solar Cell*)



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Daya Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Solar charge controller PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Paralel Panel Surya

4.2 Analisa Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (Accu)

Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, dimana nilai daya masukan (*input*) dan daya keluaran (*output*) telah didapatkan, maka berikut ini merupakan data hasil penelitian efisiensi daya yang dihasilkan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT.

4.2.1 Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (Accu) PLTB

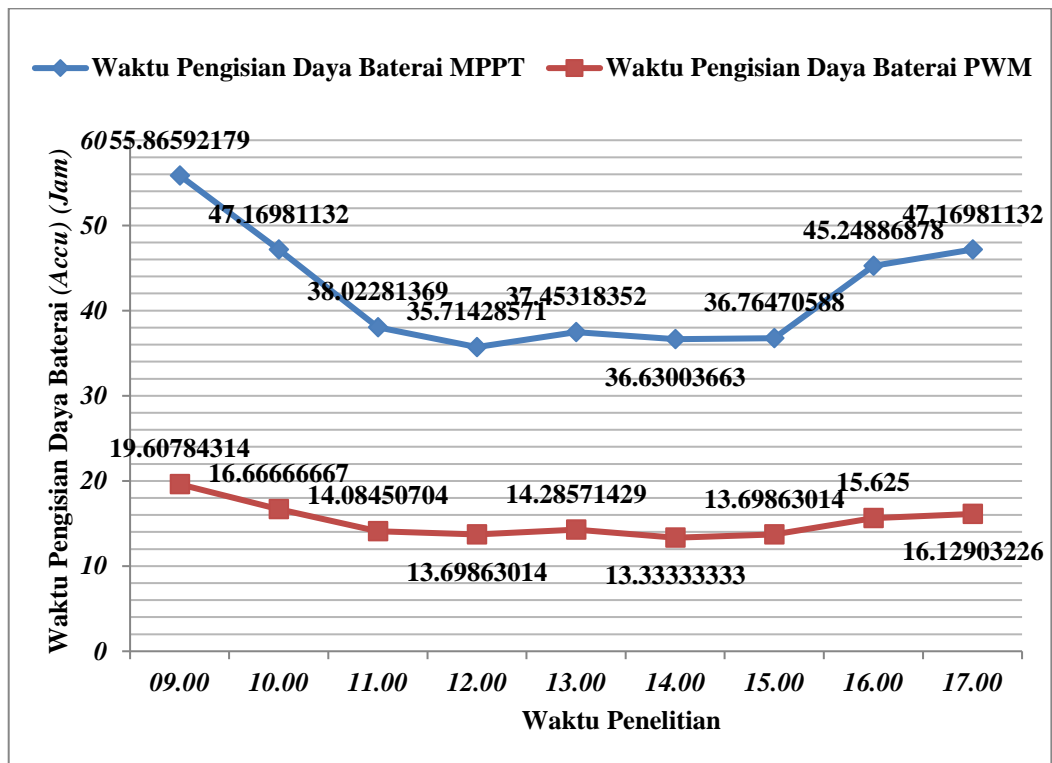
Data hasil penelitian berikut, merupakan data yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.14. Data-data berikut merupakan data

rata-rata tiap jam yang didapat selama 5 hari penelitian. Adapun data hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 4.4 Data Hasil Penelitian Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh *Solar Charge Controller* PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (*Accu*) PLTB

Jam	Kapasitas Baterai (Ah)	<i>Solar Charge Controller PWM</i>		<i>Solar Charge Controller MPPT</i>	
		Arus Output (Iout)	Waktu Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>) (Jam)	Arus Output (Iout)	Waktu Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>) (Jam)
09.00	20	0,358	55,86592179	1,02	19,60784314
10.00	20	0,424	47,16981132	1,2	16,66666667
11.00	20	0,526	38,02281369	1,42	14,08450704
12.00	20	0,56	35,71428571	1,46	13,69863014
13.00	20	0,534	37,45318352	1,4	14,28571429
14.00	20	0,546	36,63003663	1,5	13,33333333
15.00	20	0,544	36,76470588	1,46	13,69863014
16.00	20	0,442	45,24886878	1,28	15,625
17.00	20	0,424	47,16981132	1,24	16,12903226

Berdasarkan data hasil penelitian pada tabel 4.4, diperoleh grafik perbandingan terhadap lama waktu yang diperlukan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*) yang ditunjukkan pada gambar 4.7 berikut :



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Solar charge controller PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Baterai (*Accu*) Pada PLTB

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah direpresentasikan pada gambar 4.7 diatas, terlihat perbandingan yang begitu besar terhadap waktu yang diperlukan oleh *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya kedalam baterai (*accu*). Terlihat bahwa *solar charge controller* MPPT mampu melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*) lebih cepat dibandingkan *solar charge controller* PWM.

4.2.2 Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh *Solar Charge Controller* PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (*Accu*) PLTS

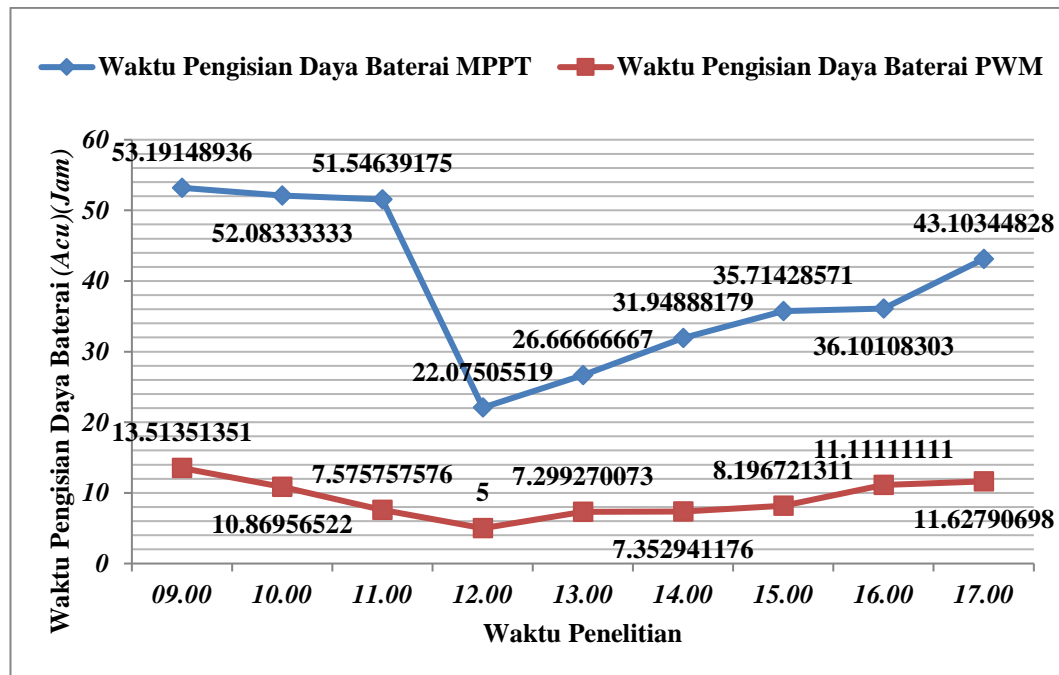
Data hasil penelitian berikut, merupakan data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan perhitungan menggunakan persamaan 2.14. Data-data berikut merupakan data rata-rata tiap jam yang didapat selama 5 hari penelitian. Adapun data hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

A. Hasil Pengujian Pada Rangkaian Seri Panel surya (*Solar Cell*)

Tabel 4.5 Data Hasil Penelitian Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh *Solar Charge Controller* PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (*Accu*) PLTS Pada Rangkaian Seri

Jam	Kapasitas Baterai (Ah)	<i>Solar Charge Controller PWM</i>		<i>Solar Charge Controller MPPT</i>	
		Arus Output (Iout)	Waktu Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>) (Jam)	Arus Output (Iout)	Waktu Pengisian Daya Pada Baterai (<i>Accu</i>) (Jam)
09.00	20	0,376	53,19148936	1,48	13,51351351
10.00	20	0,384	52,08333333	1,84	10,86956522
11.00	20	0,388	51,54639175	2,64	7,575757576
12.00	20	0,906	22,07505519	4	5
13.00	20	0,75	26,66666667	2,74	7,299270073
14.00	20	0,626	31,94888179	2,72	7,352941176
15.00	20	0,56	35,71428571	2,44	8,196721311
16.00	20	0,554	36,10108303	1,8	11,11111111
17.00	20	0,464	43,10344828	1,72	11,62790698

Berdasarkan data hasil penelitian pada tabel 4.5 tersebut dihasilkan grafik perbandingan terhadap lama waktu yang diperlukan *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya listrik pada baterai (*accu*) yang diperlihatkan pada gambar 4.8 berikut ini :



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Lama Waktu Yang Diperlukan Solar charge controller PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Baterai (Accu) Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Seri Panel surya (Solar Cell)

B. Hasil Pengujian Pada Rangkaian Paralel Panel surya (Solar Cell)

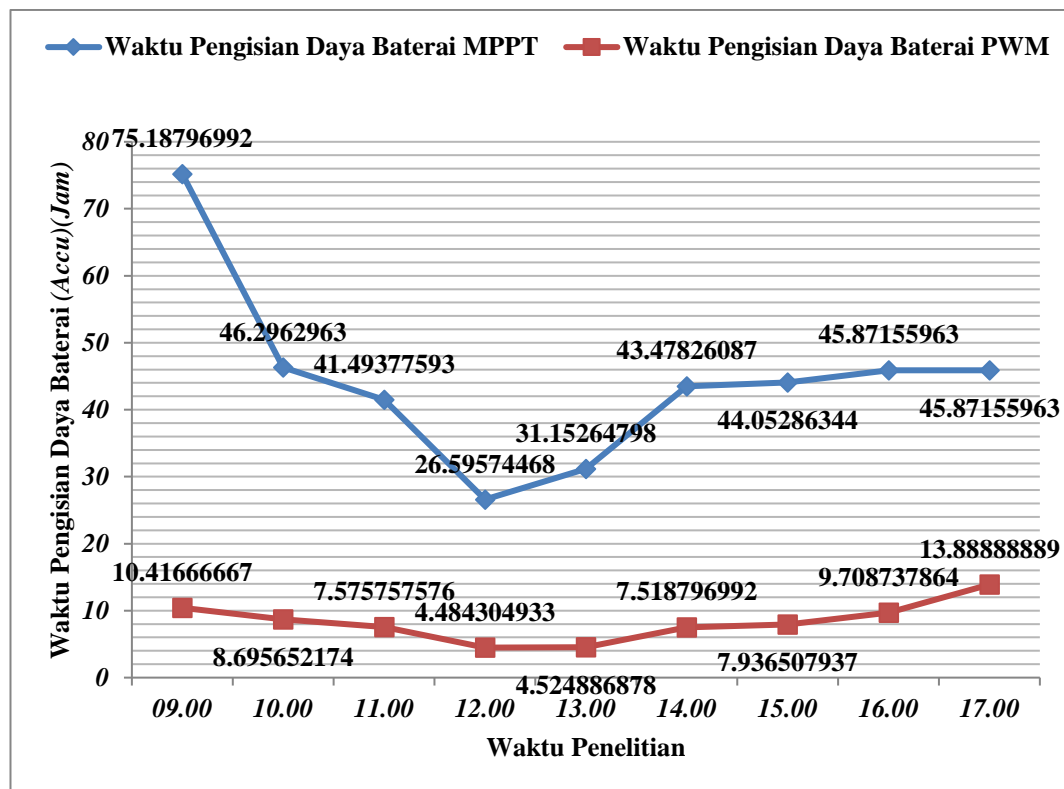
Data hasil pengujian atau penelitian pada rangkaian paralel panel surya (*solar cell*) dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut :

Tabel 4.6 Data Hasil Penelitian Lama Waktu Yang Diperlukan Oleh Solar Charge Controller PWM Dan MPPT Untuk Melakukan Pengisian Daya Pada Baterai (Accu) PLTS Pada Rangkaian Paralel

Jam	Kapasitas Baterai (Ah)	Solar Charge Controller PWM		Solar Charge Controller MPPT	
		Arus Output (Iout)	Waktu Pengisian Daya Pada Baterai (Accu) (Jam)	Arus Output (Iout)	Waktu Pengisian Daya Pada Baterai (Accu) (Jam)
09.00	20	0,266	75,18796992	1,92	10,41666667
10.00	20	0,432	46,2962963	2,3	8,695652174
11.00	20	0,482	41,49377593	2,64	7,575757576
12.00	20	0,752	26,59574468	4,46	4,484304933
13.00	20	0,642	31,15264798	4,42	4,524886878
14.00	20	0,46	43,47826087	2,66	7,518796992
15.00	20	0,454	44,05286344	2,52	7,936507937
16.00	20	0,436	45,87155963	2,06	9,708737864

17.00	20	0,436	45,87155963	1,44	13,88888889
-------	----	-------	-------------	------	-------------

Berdasarkan data hasil penelitian pada tabel 4.6 tersebut dihasilkan grafik perbandingan terhadap lama waktu yang diperlukan *solar charge controller* PWM dan MPPT untuk melakukan pengisian daya listrik pada baterai (*accu*) yang diperlihatkan pada gambar 4.9 berikut ini :



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Daya Keluaran (Output) Yang Dihasilkan Oleh *solar charge controller* PWM Dan MPPT Pada PLTS Saat Pengujian Rangkaian Paralel Panel surya (Solar Cell)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah dilakukan pada bab-bab sebelumnya maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Percobaan yang dilakukan pada PLTB memperlihatkan bahwa *solar charge controller* PWM mampu menghasilkan nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) maksimum sebesar 0,56 Ampere, 13,54 Volt dan 7,56 Watt. Sementara itu *solar charge controller* MPPT mampu menghasilkan nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) maksimum sebesar 1,5Ampere, 14,48 Volt dan 21,11 Watt. Selanjutnya percobaan yang dilakukan pada PLTS dengan rangkaian seri memperlihatkan bahwa *charge controller* PWM mampu menghasilkan nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) maksimum sebesar 0,906 Ampere, 13,62 Volt, dan 12,33 Watt. Sementara itu *solar charge controller* MPPT mampu menghasilkan nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) maksimum sebesar 4 Ampere, 14,26 Volt, dan 57,04 Watt. Kemudian percobaan yang dilakukan pada PLTS dengan rangkaian paralel memperlihatkan bahwa *charge controller* PWM mampu menghasilkan nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) maksimum sebesar 0,752 Ampere, 13,5 Volt dan 10,13 Watt. Sementara itu *solar charge controller* MPPT mampu menghasilkan nilai arus dan tegangan serta daya keluaran (*output*) maksimum sebesar 4,46 Ampere, 14,28 Volt dan 63,68 Watt.

2. Percobaan yang dilakukan pada PLTB memperlihatkan bahwa *solar charge controller* PWM pada arus keluaran (*output*) maksimum yang bernilai 0,56 Ampere, dapat melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*) dengan kapasitas 20 Ah selama 35,7 Jam. Sementara itu *solar charge controller* MPPT pada arus keluaran (*output*) maksimum yang bernilai 1,5Ampere, dapat melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*) dengan kapasitas 20 Ah selama 13,3 Jam. Selanjutnya percobaan yang dilakukan pada PLTS dengan rangkaian seri memperlihatkan bahwa *solar charge controller* PWM pada arus keluaran (*output*) maksimum yang bernilai 0,906 Ampere, dapat melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*) dengan kapasitas 20 Ah selama 22.07 Jam. Sementara itu *solar charge controller* MPPT pada arus keluaran (*output*) maksimum yang bernilai 4 Ampere, dapat melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*) dengan kapasitas 20 Ah selama 5 Jam. Kemudian percobaan yang dilakukan pada PLTS dengan rangkaian paralel memperlihatkan bahwa *solar charge controller* PWM pada arus keluaran (*output*) maksimum yang bernilai 0,752 Ampere, dapat melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*) dengan kapasitas 20 Ah selama 26,59 Jam. Sementara itu *solar charge controller* MPPT pada arus keluaran (*output*) maksimum yang bernilai 4,46 Ampere, dapat melakukan pengisian daya pada baterai (*accu*) dengan kapasitas 20 Ah selama 4,48 Jam.

5.2 Saran

1. Pada pembangunan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menggunakan sistem *off-grid* pada daerah-daerah atau pedesaan terpencil dan terisolir sangat dianjurkan untuk menggunakan *solar charge controller* MPPT. Karena *solar charge controller* MPPT memiliki sistem kerja yang jauh lebih baik dibandingkan *solar charge controller* PWM.
2. Pada penggunaan *solar charge controller* MPPT pada panel surya (*solar cell*) dianjurkan untuk menggunakan rangkaian seri pada panel surya (*solar cell*) untuk menghasilkan nilai tegangan yang tinggi. Dan selanjutnya kelebihan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya (*solar cell*) dapat diubah oleh *solar charge controller* MPPT untuk menghasilkan arus *charging* yang tinggi.
3. Penulis berharap agar penelitian ini dapat memunculkan ide penelitian yang lain terkait untuk mengatasi permasalahan akan fluktuasi cuaca yang terjadi yang menyebabkan berkurangnya nilai arus maupun tegangan yang dapat dibangkitkan atau dihasilkan generator dc maupun panel surya (*solar cell*).
4. Penulis sangat mengharapkan kritik beserta saran yang membangun guna memperbaiki dan menyempurnakan tulisan ini dimasa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rimbawati, A. A. Hutasuhut, dan Y. Chaniago, “Analysis of Hybrid Power Plant Technology Using Data Weather in North Sumatera,” vol. 7, hal. 481–485, 2018.
- [2] M. M. Rifadil, E. Purwanto, A. Jaya, dan G. Prabowo, “Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Kincir Angin Sumbu Vertikal untuk Beban Rumah Tinggal,” hal. 2–6, 2013.
- [3] I. N. S. Kumara, “Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga Urban Dan Ketersediaannya Di Indonesia,” no. January, 2017.
- [4] K. Kananda dan R. Nazir, “Konsep Pengaturan Aliran Daya Untuk PLTS Tersambung Ke Sistem Grid Pada Rumah Tinggal,” no. 2, hal. 65–71, 2013.
- [5] J. Pradityo, B. Winardi, dan A. Nugroho, “Evaluasi Dan Optimasi Sistem Off Grid Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Plth) Bayu Baru , Bantul, D.I. Yogyakarta.”
- [6] M. F. Hakim, “Perancangan Rooftop Off Grid Solar Panel Pada Rumah Tinggal,” vol. 8, no. 1, hal. 1–11, 2017.
- [7] W. Setiawan, “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Tipe Horizontal Dua Kipas Delapan Bilah Dengan Generator Axial.,” 2012.
- [8] Ruskardi, “Kajian Teknis dan Analisis Ekonomis PLTS Off-grid Solar System sebagai Sumber Energi Alternatif (Studi Kasus : Dusun Sedayu Desa Pulau Limbung Kecamatan Sungai Raya Kabupaten Kubu Raya),” vol. 7, no. 1, hal. 1–6, 2015.
- [9] C. G. I. Partha, I. W. A. Wijaya, I. G. N. Janardana, N. Budiastara, dan A. I. Weking, “Sistem On Grid Pembangkit Listrik Tenaga Matahari Menggunakan Maximum Power Point Tracking,” hal. 1–9.
- [10] I. Kholiq, “Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi Bbm,” hal. 75–91.
- [11] H. Desrizal dan I. H. Rosma, “Analisis Ketersediaan Sistem Pembangkit Berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) Dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” hal. 1–8, 2014.
- [12] D. Kusdiana dan Sekretaris Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi, *Statistik ebtke 2016*. 2016.
- [13] K. E. D. S. D. M. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, “Program Strategis EBTKE Dan Ketenagalistrikan,” 2016.
- [14] K. E. D. S. D. M. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, “Statistik Ketenagalistrikan 2017,” 2017.

- [15] Rekasurya Prima Daya, "Sistem PLTS Off Grid Komunal," no. 342.
- [16] TML Energy, "Sistem PLTS Off-Grid," no. 541.
- [17] T. N. Reksoatmodjo, "Vertical-Axis Differential Drag Windmill," vol. 7, no. April, hal. 1–6, 2005.
- [18] N. A. Hidayatullah, H. Nur, dan K. Ningrum, "Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker," *J. Electr. Electron. Control Automot. Eng. JEECAE*, vol. 1, no. 1, hal. 7–12, 2016.
- [19] M. Effendy, "Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Metoda Maximum Power Point Tracking Memakai Dc-Dc Converter Berbasis Fuzzy Logic Efficiency Improvement Of Wind Power Plant By Maximum Power Point Tracking," vol. 13, no. 2, hal. 79–88, 2014.
- [20] B. Nugroho, S. Handoko, dan T. Andromeda, "Perancangan Maximum Power Point Tracking Panel Surya Menggunakan Buck Boost Converter Dengan Metode Incremental Conductance," vol. 3, hal. 8, 2016.
- [21] M. Effendy, "Penggunaan Teknologi Mppt (Maximum Power Point Tracker) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB)," vol. 4, hal. 5, 2006.
- [22] A. R. Zainal, T. Andromeda, dan M. Facta, "Perancangan Konverter Arus Searah Tipe Sepic Yang Dioperasikan Untuk Pencarian Titik Daya Maksimum Panel Surya Berbasis Metode Perturbation And Observation (P & O)," vol. 6, no. 1, hal. 8, 2017.
- [23] M. Otong dan R. M. Bajuri, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter," vol. 5, no. 2, hal. 8, 2016.
- [24] N. Sabbaha, E. Susanto, E. Kurniawan, F. T. Elektro, U. Telkom, dan T. Angin, "Perancangan Dan Implementasi Konverter Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Surya Dan Angin Untuk Suplai Listrik Arus Bolak-Balik," vol. 4, no. 2, hal. 9, 2016.
- [25] Suwito, Suhanto, dan Kustori, "Sistem Baterai Charging pada Solar Energy System dengan Buck Boost Converter untuk Berbagai Tingkat Pencahayaan Di Bandar Udara."
- [26] I. Mahrubu, J. Bintoro, dan W. Djatmiko, "Rancang Bangun Solar Charge Controller Menggunakan Synchronous Non-Inverting Buck-Boost Converter Pada Panel Surya 50 Watt Peak (Wp) Berbasis Arduino Nano V3.0," vol. I, no. 1, hal. 2016–2019, 2018.
- [27] H. Alnubli dan Budhi Anto, "Design dan Analisis Solar Battery Charger Berbasis Push-Pull Converter," vol. 4, no. 1, 2017.

- [28] M. Suyanto, “Pengaruh Penggunaan Solar Charger Controler Terhadap Stabilitas Solar Cell Sebagai Pempunyai Pompa Air Pada Kebun Salak Dimusim Kemarau,” hal. 12–17.
- [29] E. A. Suri, E. Kurniawan, dan K. B. Adam, “Rancang Bangun Mppt Boost Converter Pada Pompa Air Tenaga Surya,” vol. 3, no. 3, hal. 4065–4073, 2016.
- [30] Effendy Machmud, “Rancang Bangun Maximum Power Point Tracking (Mppt) Solar Sel Untuk Aplikasi Pada Sistem Grid Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Pltag),” no. September, hal. 170–178, 2013.

Lampiran 1

**Data Penelitian Harian Pengujian *Solar charge controller* PWM Dan MPPT
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)**

Data Penelitian Harian Pengujian *Solar charge controller* PWM Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Jam	Pengujian-1					Pengujian-2					Pengujian-3				
	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	0,84	14,5	0,32	13,3	0,32	0,89	14,8	0,39	13,5	0,39	0,87	14,7	0,38	13,5	0,38
10.00	1,57	15,8	0,45	13,7	0,45	0,87	14,7	0,38	13,5	0,38	1,5	15,2	0,43	13,6	0,43
11.00	2,4	16,5	0,58	13,4	0,58	1,57	15,8	0,45	13,3	0,45	1,55	15,6	0,44	13,5	0,44
12.00	2,4	16,5	0,58	13,2	0,58	2,43	16,6	0,59	13,6	0,59	2,44	16,8	0,59	13,7	0,59
13.00	2,52	16,6	0,59	13,5	0,59	2,55	16,63	0,59	13,6	0,59	1,59	15,9	0,45	13,4	0,45
14.00	2,56	16,9	0,59	13,6	0,59	2,54	16,7	0,59	13,5	0,59	2	16	0,5	13,3	0,5
15.00	2,32	16,4	0,57	13,6	0,57	2,3	16,4	0,57	13,5	0,57	2,4	16,5	0,58	13,3	0,58
16.00	1,59	15,9	0,45	13,3	0,45	1,56	15,8	0,44	13,3	0,44	1,57	15,8	44	13,4	0,44
17.00	1,55	15,5	0,44	13,3	0,44	1,57	15,8	0,45	13,3	0,45	1,51	15,2	0,41	13,4	0,41
Jam	Pengujian-4					Pengujian-5					Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	0,85	14,6	0,36	13,5	0,36	0,83	14,3	0,34	13,3	0,34	0,856	14,58	0,358	13,42	0,358
10.00	1,5	15,2	0,43	13,5	0,43	1,5	15,2	0,43	13,4	0,43	1,388	15,225	0,424	13,54	0,424
11.00	2,41	16,5	0,58	13,5	0,58	2,4	16,5	0,58	13,6	0,58	2,066	16,18	0,526	13,46	0,526
12.00	1,58	15,9	0,45	13,5	0,45	2,6	16,9	0,59	13,5	0,59	2,29	16,45	0,56	13,5	0,56
13.00	1,59	15,9	0,45	13,3	0,45	2,54	16,7	0,59	13,6	0,59	2,158	16,346	0,534	13,48	0,534

14.00	2,1	16,3	0,52	13,5	0,52	2,3	16,4	0,53	13,4	0,53	2,3	16,46	0,546	13,46	0,546
15.00	2,1	16,3	0,56	13,6	0,56	1,57	15,8	0,44	13,4	0,44	2,138	16,28	0,544	13,48	0,544
16.00	1,58	15,9	0,45	13,5	0,45	1,52	15,3	0,43	13,3	0,43	1,564	15,74	9,154	13,36	0,442
17.00	1,5	15	0,4	13	0,4	1,52	15,3	0,42	13,2	0,42	1,53	15,36	0,424	13,24	0,424

Data Penelitian Harian Pengujian *Solar Charge Controller* MPPT Pada Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Jam	Pengujian-1					Pengujian-2					Pengujian-3				
	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	0,84	14,5	0,32	14,1	1	0,89	14,8	0,39	14,2	1,1	0,87	14,7	0,38	14,2	1,1
10.00	1,57	15,8	0,45	14,3	1,3	0,87	14,7	0,38	14,2	1,1	1,5	15,2	0,43	14,3	1,2
11.00	2,4	16,5	0,58	14,5	1,5	1,57	15,8	0,45	14,3	1,4	1,55	15,6	0,44	14,3	1,2
12.00	2,4	16,5	0,58	14,5	1,5	2,43	16,6	0,59	14,5	1,5	2,44	16,8	0,59	14,5	1,6
13.00	2,52	16,6	0,59	14,5	1,5	2,55	16,63	0,59	14,5	1,4	1,59	15,9	0,45	14,3	1,3
14.00	2,56	16,9	0,59	14,5	1,5	2,54	16,7	0,59	14,5	1,5	2	16	0,5	14,4	1,5
15.00	2,32	16,4	0,57	14,5	1,5	2,3	16,4	0,57	14,5	1,5	2,4	16,5	0,58	14,5	1,5
16.00	1,59	15,9	0,45	14,3	1,3	1,56	15,8	0,44	14,3	1,3	1,57	15,8	0,44	14,3	1,3
17.00	1,55	15,5	0,44	14,3	1,2	1,57	15,8	0,45	14,3	1,3	1,51	15,2	0,41	14,3	1,2
Jam	Pengujian-4					Pengujian-5					Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Generator (Igen)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	0,85	14,6	0,36	14,2	1	0,83	14,3	0,34	14,1	0,9	0,856	14,58	0,358	14,16	1,02
10.00	1,5	15,2	0,43	14,3	1,2	1,5	15,2	0,43	14,3	1,2	1,388	15,225	0,424	14,28	1,2
11.00	2,41	16,5	0,58	14,5	1,5	2,4	16,5	0,58	14,5	1,5	2,066	16,18	0,526	14,42	1,42
12.00	1,58	15,9	0,45	14,3	1,3	2,6	16,9	0,59	14,5	1,4	2,29	16,45	0,56	14,46	1,46
13.00	1,59	15,9	0,45	14,3	1,3	2,54	16,7	0,59	14,5	1,5	2,158	16,346	0,534	14,42	1,4

14.00	2,1	16,3	0,52	14,5	1,5	2,3	16,4	0,53	14,5	1,5	2,3	16,46	0,546	14,48	1,5
15.00	2,1	16,3	0,56	14,5	1,5	1,57	15,8	0,44	14,3	1,3	2,138	16,28	0,544	14,46	1,46
16.00	1,58	15,9	0,45	14,3	1,3	1,52	15,3	0,43	14,3	1,2	1,564	15,74	0,466	14,3	1,28
17.00	1,5	15	0,4	14,3	1,2	1,52	15,3	0,42	14,3	1,3	1,53	15,36	0,424	14,3	1,24

Lampiran 2

**Data Penelitian Harian Pengujian *Solar charge controller* PWM Dan MPPT
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Menggunakan Rangkaian
Seri Modul Sel Surya (*Solar Cell*)**

Data Penelitian Harian Charge Controller PWM Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Percobaan Rangkaian Seri Modul Sel Surya (Solar Cell)

Jam	Pengujian-1					Pengujian-2					Pengujian-3				
	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	21,5	25,7	0,5	13,3	0,5	20	25,9	0,3	13,2	0,3	22	28,3	0,54	13,4	0,54
10.00	25	29,2	0,53	13,2	0,53	23	21,9	0,43	13,2	0,43	24	35,2	0,36	13,2	0,36
11.00	28	23,2	0,41	13,1	0,41	25	35,5	0,4	13,2	0,4	25	29,2	0,38	13,4	0,38
12.00	30,5	31,8	1,2	13,5	1,2	31	39,6	0,9	13,5	0,9	30	32	0,85	13,8	0,85
13.00	31,4	29,1	0,57	13,5	0,57	30,5	31,6	0,82	13,5	0,82	31	34,2	0,9	13,5	0,9
14.00	30	27	0,56	13,5	0,56	29	32,5	0,52	13,5	0,52	30,5	40	1,02	13,5	1,02
15.00	30	31,9	0,7	13,5	0,7	28	25,1	0,6	13,5	0,6	29	30,4	0,5	13,5	0,5
16.00	25,6	37	0,25	13,3	0,25	24,7	24,1	0,37	13,4	0,37	28	37,2	0,6	13,4	0,6
17.00	22,5	40,2	0,48	13,1	0,48	21,5	29,6	0,42	13,4	0,42	23	26,6	0,47	13,4	0,47
Jam	Pengujian-4					Pengujian-5					Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Generator (Vgen)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	20	26,1	0,37	13,2	0,37	21	24,4	0,17	13	0,17	20,9	26,08	0,376	13,22	0,376
10.00	20	20,8	0,31	13,3	0,31	20	32,2	0,29	13,3	0,29	22,4	27,86	0,384	13,24	0,384
11.00	25	34,5	0,39	13,3	0,39	25	27,2	0,36	13,3	0,36	25,6	29,92	0,388	13,26	0,388
12.00	29,5	34,4	0,75	13,8	0,75	33	36,7	0,83	13,5	0,83	30,8	34,9	0,906	13,62	0,906
13.00	30	31,7	0,77	13,5	0,77	33	39,2	0,69	13,5	0,69	31,18	33,16	0,75	13,5	0,75

14.00	30	37	0,55	13,5	0,55	31	29	0,48	13,5	0,48	30,1	33,1	0,626	13,5	0,626
15.00	28	40,9	0,5	13,3	0,5	28	32,3	0,5	13,3	0,5	28,6	32,12	0,56	13,42	0,56
16.00	22	39	0,82	13,6	0,82	25	26,7	0,73	13,3	0,73	25,06	32,8	0,554	13,4	0,554
17.00	21,5	29,2	0,5	13,2	0,5	23	34,3	0,45	13,2	0,45	22,3	31,98	0,464	13,26	0,464

Data Penelitian Harian *Charge Controller* MPPT Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Percobaan Rangkaian Seri Modul Sel Surya (*Solar Cell*)

Jam	Pengujian-1					Pengujian-2					Pengujian-3				
	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	21,5	36	0,6	13,7	1,4	20	35	0,6	13,6	1,4	22	37	0,6	13,2	1,4
10.00	25	35	0,5	14,3	1,7	23	37	0,6	14,3	1,3	24	38	0,6	13,2	1,5
11.00	28	36	1,1	13,5	3,9	25	35	1	13,7	3,2	25	30	1,2	14,2	2,9
12.00	30,5	33	1,6	14,3	4,1	31	32	1,5	14,2	3,7	30	37	1,3	14,2	3,3
13.00	31,4	38	1,6	14,3	2,8	30,5	38	1,5	14,3	3,1	31	37	1,3	14	3,3
14.00	30	35	1,7	14,2	3,8	29	32	1,3	14,2	1,9	30,5	33	1,1	14,1	3,4
15.00	30	40	1,1	14,3	2,7	28	37	1,2	14,3	2,6	29	36	1,3	14,3	2,5
16.00	25,6	37	1,2	14,3	2,1	24,7	38	1,3	13,8	2,5	28	28	0,8	13,8	1,2
17.00	22,5	35	1,2	14,3	2,1	21,5	36	1,1	14,2	1,7	23	37	1	14,3	1,5
Jam	Pengujian-4					Pengujian-5					Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)

09.00	20	32	0,5	13,7	1,5	21	33	0,4	13,7	1,7	20,9	34,6	0,54	13,58	1,48
10.00	20	36	0,6	13,3	2,7	20	27	0,5	14,3	2	22,4	34,6	0,56	13,88	1,84
11.00	25	39	1	14,3	1,7	25	34	1	14,2	1,5	25,6	34,8	1,06	13,98	2,64
12.00	29,5	38	1,8	14,3	4,4	33	42	1,9	14,3	4,5	30,8	36,4	1,62	14,26	4
13.00	30	38	1,1	14,2	3,2	33	31	1	14,3	1,3	31,18	36,4	1,3	14,22	2,74
14.00	30	41	1	14,3	3,1	31	40	0,9	14,3	1,4	30,1	36,2	1,2	14,22	2,72
15.00	28	22	1,2	13,5	2,3	28	41	1	14,3	2,1	28,6	35,2	1,16	14,14	2,44
16.00	22	35	1,1	14,2	1,5	25	36	1,3	14,2	1,7	25,06	34,8	1,14	14,06	1,8
17.00	21,5	34	0,5	13,9	1	23	32	1,4	13,5	2,3	22,3	34,8	1,04	14,04	1,72

Lampiran 3

**Data Penelitian Harian Pengujian *Solar charge controller* PWM Dan MPPT
Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Menggunakan Rangkaian
Paralel Modul Sel Surya (*Solar Cell*)**

Data Penelitian Harian *Charge Controller* PWM Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Percobaan Rangkaian Paralel Modul Sel Surya (*Solar Cell*)

Jam	Pengujian-1					Pengujian-2					Pengujian-3				
	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	21,5	15,8	0,39	13,1	0,39	20	13,4	0,47	13,2	0,47	22	13,6	0,23	13	0,23
10.00	25	16,1	0,44	13,1	0,44	23	15,7	0,47	13,1	0,47	24	14,4	0,4	13,1	0,4
11.00	28	17,7	0,25	13,1	0,25	25	15,3	0,28	13,2	0,28	25	19,1	0,64	13,1	0,64
12.00	30,5	20	0,3	13,5	0,3	31	19,7	0,8	13,3	0,8	30	18,6	0,86	13,5	0,86
13.00	31,4	15,7	0,75	13,5	0,75	30,5	19,9	0,7	13,5	0,7	31	18,9	0,4	13,5	0,4
14.00	30	20,3	0,46	13,5	0,46	29	18,2	0,48	13,4	0,48	30,5	19,1	0,45	13,4	0,45
15.00	30	16,2	0,29	13,5	0,29	28	17,3	0,58	13,5	0,58	29	15,5	0,45	13,5	0,45
16.00	25,6	19,1	0,31	13,4	0,31	24,7	17,7	0,29	13,5	0,29	28	16,2	0,42	13,4	0,42
17.00	22,5	13,4	0,29	13,3	0,29	21,5	15,9	0,63	13,3	0,63	23	16,6	0,31	13,3	0,31
Jam	Pengujian-4					Pengujian-5					Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	20	18,8	0,12	12,9	0,12	21	18	0,12	13,3	0,12	20,9	15,92	0,266	13,1	0,266
10.00	20	16,6	0,39	13,2	0,39	20	17,1	0,46	13,2	0,46	22,4	15,98	0,432	13,14	0,432
11.00	25	16,2	0,57	13,1	0,57	25	14,3	0,67	13,2	0,67	25,6	16,52	0,482	13,14	0,482

12.00	29,5	19,1	1,05	13,6	1,05	33	19,6	0,75	13,5	0,75	30,8	19,4	0,752	13,48	0,752
13.00	30	19,5	0,36	13,5	0,36	33	19,5	1	13,5	1	31,18	18,7	0,642	13,5	0,642
14.00	30	19	0,44	13,5	0,44	31	15,4	0,47	13,5	0,47	30,1	18,4	0,46	13,46	0,46
15.00	28	14,6	0,42	13,5	0,42	28	19	0,53	13,4	0,53	28,6	16,52	0,454	13,48	0,454
16.00	22	14,3	0,53	13,5	0,53	25	15,3	0,63	13,5	0,63	25,06	16,52	0,436	13,46	0,436
17.00	21,5	16	0,42	13,2	0,42	23	18,4	0,53	13,3	0,53	22,3	16,06	0,436	13,28	0,436

Data Penelitian Harian *Charge Controller* MPPT Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Percobaan Rangkaian Paralel Modul Sel Surya (*Solar Cell*)

Jam	Pengujian-1					Pengujian-2					Pengujian-3				
	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya (Vp.s)	Arus Panel Surya (Ip.s)	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)
09.00	21,5	17	2,4	13,6	2,8	20	16	1,2	13,5	1,5	22	15	0,9	14,1	1,3
10.00	25	19	2,1	14,3	3,1	23	17	1,2	13,4	1,4	24	14	1,7	14,3	2,1
11.00	28	15	2,1	13,6	2,8	25	16	1,9	14,2	2,7	25	17	2	14,2	2,6
12.00	30,5	19	5	14,3	5,3	31	17	4,3	14,3	4,7	30	19	3,8	14,3	4,5
13.00	31,4	20	5	14,3	5,3	30,5	19	3,8	14,3	4,5	31	18	4,3	14,3	4,5
14.00	30	15	3,3	14,2	3,7	29	17	1,7	13,8	2,3	30,5	16	1,6	14,1	2,8
15.00	30	16	0,9	14	3,5	28	19	0,8	14	2,7	29	18	2,2	14	2,5
16.00	25,6	16	1,2	14,1	3,1	24,7	15	0,9	14,1	1,5	28	18	1,1	13,8	1,2
17.00	22,5	16	0,6	13,5	1	21,5	17	0,7	13,8	1,2	23	15	0,8	13,7	1,5
Jam	Pengujian-4					Pengujian-5					Nilai Rata-Rata Tiap Jam				
	Suhu°C	Tegangan Panel Surya	Arus Panel Surya	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya	Arus Panel Surya	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)	Suhu°C	Tegangan Panel Surya	Arus Panel Surya	Teg. CC (Vcc)	Arus. CC (Icc)

		(Vp.s)	(Ip.s)				(Vp.s)	(Ip.s)				(Vp.s)	(Ip.s)		
09.00	20	15	1,2	14,3	1,5	21	20	2,2	13,7	2,5	20,9	16,6	1,58	13,84	1,92
10.00	20	16	1,4	13,8	2	20	18	1,8	14,1	2,9	22,4	16,8	1,64	13,98	2,3
11.00	25	18	2,2	13,8	2,7	25	20	1,8	14,1	2,4	25,6	17,2	2	13,98	2,64
12.00	29,5	16	3,5	14,3	4,3	33	18	3,1	14,2	3,5	30,8	17,8	3,94	14,28	4,46
13.00	30	17	3,5	14,3	4,3	33	15	3,1	14,2	3,5	31,18	17,8	3,94	14,28	4,42
14.00	30	18	1,2	14,1	2,5	31	20	1,5	14,2	2	30,1	17,2	1,86	14,08	2,66
15.00	28	15	1,4	14,1	1,8	28	17	1	14,3	2,1	28,6	17	1,26	14,08	2,52
16.00	22	19	1	13,4	1,5	25	15	1,4	13,6	3	25,06	16,6	1,12	13,8	2,06
17.00	21,5	14	1	13,4	2	23	18	0,8	13,2	1,5	22,3	16	0,78	13,52	1,44

Lampiran 4

**Dokumentasi Pelaksanaan, Dan Pengujian Sistem Pada *Prototype* PLTB Dan
Prototype PLTS Serta Pengukuran Pada *Solar Charger Controller* PWM Dan
MPPT**



Gambar 1 Pengukuran Dan Pengujian Sistem Pada PLTS



Gambar 2 Pengukuran Dan Pengujian Sistem Sinkronisasi PLTB Dan PLTS



Gambar 3 Pengujian Sistem Pada *Prototype* PLTS



Gambar 4 Hasil Pengukuran Arus Masukan (*Input*) Yang Dihasilkan Oleh Panel Surya Dan Generator DC



Gambar 5 Hasil Pengukuran Arus Keluaran (*output*) Yang Dihasilkan Oleh Solar Charger Controller MPPT



Gambar 6 Hasil Pengukuran Arus Keluaran (*output*) Yang Dihasilkan Oleh Solar Charger Controller PWM



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

Kampus Utama Umsu, Jln. Kapt. Mucktar Basri no. 3 Medan 20238, Telp (061) 661059

Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : NINO WANANDA

NPM : 1407220065

Judul Tugas Akhir : ANALISIS PERBANDINGAN OPTIMALISASI
DAYA PADA PLTB DAN PLTS
MENGUNAKAN CHARGE CONTROLLER
TYPE PWM (PULSE WIDTH MODULATION)
DAN MPPT (MAXIMUM POWER POINT
TRACKING)

No.	Tanggal	Catatan	Paraf
1.	18-OKT-2018	~ Perbaiki Bab I	
2.	2-NOV-2018	~ Penulisan Tinjauan Pustaka Harus Jelas	
3.	20-NOV-2018	~ Penulisan Bahasa Inggris Harus Miring	
4.	6-DES-2018	~ Tinjauan Pustaka Relevan Lebih Banyak	
5.	22-DES-2018	~ Gambar Harus profesional, Tidak Bergandeng	
6.	3-JAN-2018	~ Perbaiki Bab III	
7.	15-JAN-2018	~ Analisa Data Di perjelas.	
8.	20-FEB-2018	~ Grafik kurva harus Jelas.	
		Acc seminar 1/3 2019	

Pembimbing I

(RIMBAWATI, S.T.M.T)



Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir (Skripsi)

Nama : NINO WANANDA
NPM : 1407220065
Judul Tugas Akhir : ANALISA OPTIMALISASI DAYA PADA PLTB DAN PLTS MENGGUNAKAN CHARGE CONTROLLER PWM (PULSE WIDTH MODULATION) DAN MPPT (MAXIMUM POWER POINT TRACKING)

No	Tanggal	Catatan	Paraf
1.	13-okt-2018	~ Perbaiki Bab I	
2.	2-nov-2018	~ Penulisan Tinjauan Pustaka Harus Jelas	
3.	20-nov-2018	~ Penulisan B. Inggris Harus miring.	
4.	6-des-2018	~Tinjauan pustaka Relevan lebih Banyak.	
5.	20-des-2018	~Gambar Harus Profesional, Tidak Berbandeng	
6.	3-jan-2018	~ Perbaiki Bab III	
7.	15-jan-2018	~ Analisa Data Di Perjelas.	
8.	20-feb-2018	~ Grafik Kurva Harus Jelas.	

Fee Saniar
1/3 2019

Pembimbing II

(NOORLY EVALINA, S.T,M.T)

