

TUGAS AKHIR

**PROTOTIPE SISTEM PENGONTROLAN ENERGI LISTRIK
HYBRIDE (PLTS PLTB)**

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

Disusun Oleh:

KEVIN FAHRIAN
1707220073



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

MEDAN

2022

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh :

Nama : Kevin Fahrian
NPM : 1707220073
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Prototipe Sistem Pengontrolan Energi Listrik Hybride
(PLTS PLTB)
Bidang Ilmu : Sistem Kendali

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, 26 September 2022

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



(Faisal Irsan Nasaribu.,ST.,MT)

Dosen Pembanding I



(Rimbawati.,ST.,MT)

Dosen Pembanding II



(Elvy Sahnur Nst.,ST.,M.Pd)

Program Studi Teknik Elektro



(Faisal Irsan Nasaribu.,ST.,MT)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Kevin Fahrian
Tempat/Tanggal Lahir : KARANG REJO, 18-04-1999
NPM : 1707220073
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“PROTOTYPE SISTEM PENGONTROLAN ENERGI LISTRIK HYBRIDE (PLTS PLTB)”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

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/Mesin/Sipil, Fakultas Teknik

Medan, 26 September 2022

Saya Yang Menyatakan


Kevin Fahrian

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga angin dan matahari memiliki permasalahan ketersediaan sumber matahari dan angin yang tidak stabil. Salah satu solusi untuk menyelesaikan ketersediaan daya maka pada penelitian ini dimodelkan desain pembangkit hibrid matahari, angin dan yang dilengkapi dengan baterai sebagai penyimpan energi pada saat daya berlebih dan ikut menyuplai energi yang tersimpan pada saat kekurangan daya. Ketersediaan besaran sizing peralatan pembangkit matahari, angin, maupun banyaknya baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan daya. Oleh karena itu tujuan penelitian ini adalah Untuk mengetahui prosedur perancangan alat dioperasikan dengan sistem mikrokontroler arduino uno ATmega 328. Dalam metode penelitian ini menargetkan pada perancangan sistem control arduino uno ATmega, sensor tegangan, kemudian menghubungkan sistem control keperangkat lain yaitu relay 5v 2 *channel* sebagai perpindahan baterai 1 dan baterai 2. Dari hasil penelitian ini ketika pembangkit berfungsi untuk menghasilkan daya dan disimpan ke baterai yg memiliki 2 baterai yang satu sebagai cadangan, sensor tegangan memberi signal ke arduino uno Atmega per 3 detik didalam monitor, baterai tersebut dipakai dengan daya tersebut tersisa 10 volt maka relay bekerja sebagai perpindahan (*switch*) baterai 1 ke baterai ke 2.

Kata kunci : pembangkit *hybride*, arduino uno, baterai, sensor tegangan

Abstract

Wind and solar power plants have problems with the availability of unstable solar and wind sources. One of the solutions to solve the availability of power in this research is to model the design of a solar, wind and hybrid generator equipped with a battery as an energy store when the power is overpowered and also to supply the stored energy when there is a shortage of power. Availability of sizing equipment for solar, wind, as well as the number of batteries needed to meet power requirements. Therefore, the purpose of this study is to find out the procedure for designing tools to operate with the Arduino Uno ATmega 328 microcontroller system. In this research method, the target is to design the Arduino Uno ATmega control system, voltage sensor then connect the control system to another device, namely a 5v 2 channel relay as a switch. battery 1 and battery 2. From the results of this study, when the generator functions to generate power and is stored in a battery that has 2 batteries, one as a backup, the voltage sensor gives a signal to the Arduino Uno Atmega every 3 seconds in the monitor, the battery is used with the remaining power of 10 volts, the relay works as switching (switch) battery 1 to battery 2.

Keywords: hybride generator, arduinu uno, battery, voltage sensor

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tulisan ini. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Rasulullah Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua yang telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul dari tugas akhir ini adalah "PROTOTIPE SISTEM PENGONTROLAN ENERGI LISTRIK HYBRIDE (PLTS PLTB)".

Kelancaran proses penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan serta arahan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta, Warsito dan Nuriaty yang telah memberikan kasih sayang yang tidak ternilai serta dukungan moril dan materil dan kepada keluarga penulis, Bagus Wahyudi.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST.,MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak memberikan nasihat, bimbingan, dorongan serta pengarahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Ibu Elvy Sahnur Nasution, ST., M.Pd, selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, ST, MT selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan nasihat, bimbingan, dorongan serta pengarahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Kepada seluruh teman-teman Teknik Elektro khususnya stambuk 2017.

7. Sege nap Bapak dan Ibu Dosen Teknik Elektro dan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari sege nap pihak. Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini bermanfaat dan dapat menambah ilmu pengetahuan bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, 26 September 2022

Penulis

Kevin Fahrian

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGHANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Relevan.....	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Sejarah sel surya	6
2.2.2 Sel Surya.....	7
2.2.3 Kristalis Sel Surya	7
2.3 Panel Surya.....	8
2.3.1 Cara kerja panel surya	10
2.3.2 Faktor pengoperasian sel surya.....	11
2.3.3 Posisi modal surya terhadap gerakan arah matahari.....	13
2.3.4 Struktur sel surya	13
2.3.5 Energi listrik	15
2.3.6 Arus dan tegangan	15
2.3.7 Daya input.....	15
2.3.8 Daya output.....	16
2.3.9 Fill factor	16
2.3.10 Efisiensi sel surya	16
2.4 Macam – macam bahan pembuatan sel surya	17

2.5	Komponen – komponen pembangkit listrik tenaga surya	19
2.5.1	Relay	19
2.5.2	Arduino uno	19
2.6	Energi angin.....	21
2.6.1	Energi kinetik	21
2.6.2	Turbin angin	22
2.6.3	Prinsip kerja dan konstruksi turbin angin	23
2.7	Jenis Turbin Angin	24
2.7.1	Turbin anin sumbu horizontal.....	25
2.7.2	Turbin angin sumbu vertikal.....	25
2.7.3	Efesiensi rotor	26
2.7.4	Diameter rotor.....	27
2.7.5	Tip speed ratio	27
2.8	solar Charger Controller	28
2.9	Baterai.....	29
2.9.1	Jenis – jenis baterai	30
2.9.2	Kontruksi baterai	31
2.9.3	Prinsip kerja baterai	31
2.10	Inverter.....	32
BAB 3	METEDOLOGI PENELITIAN	35
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	35
3.1.1	Waktu.....	35
3.1.2	Tempat	35
3.2	Peralatan dan Bahan	36
3.2.1	Peralatan	36
3.2.2	Bahan	37
3.3	Bagan Rangkaian	41
3.4	Prosedur Penelitian	41
3.4.1	Metode pengambilan data.....	41
3.4.2	Metode pengolahan data	42
3.5	Bagan Aliran Penelitian.....	43
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	44

4.1 Pembahasan	44
4.2 Pengujian sistem	45
4.2.1 Pengujian Program Relay	45
4.2.1.1 Pengujian terhadap relay	46
4.2.2 Pengujian program sensor tegangan	47
4.2.2.1 pengujian terhadap sensor tegangan	49
4.2.3 Pengujian kontroler arduino uno atmega328	50
4.2.4 Pengujian program keseluruhan rangkaian	52
4.2.5 Hasil pengujian rangkaian keseluruhan	54
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59

DAFTAR GAMBAR

Gamabar 2.1	Panel surya	6
Gamabar 2.2	Proses perubahan energi matahari	8
Gamabar 2.3	Medan listrik di daerah pengosongan barata dari kanan dan kiri	9
Gamabar 2.4	Arah gerak difusi elektron-hole: difusi dari pembawa muatan mayoritas dan drift dari pembawa muatan minoritas	9
Gamabar 2.5	Modul panel surya	10
Gamabar 2.6	Karakteristik penurunan	11
Gamabar 2.7	Thermometer	11
Gamabar 2.8	Struktur sel surya	14
Gamabar 2.9	Solar cell jenis poly-crystalline	17
Gamabar 2.10	Solar cell mono-crystalline	18
Gamabar 2.11	Solar cell jenis gallium arsenide	18
Gamabar 2.12	Solar cell jenis copper indium diselenide	19
Gamabar 2.13	Relay	19
Gamabar 2.14	Arduino uno	20
Gamabar 2.15	Teori momentum dengan mempertimbangkan bangun rotor berputar	21
Gamabar 2.16	Struktur turbin ventilator	24
Gamabar 2.17	Prinsip kerja PLTB	24
Gamabar 2.18	Turbin angin sumbu horizontal	25
Gamabar 2.19	Turbin angin sumbu vertikal	26
Gamabar 2.20	Efisiensi rotor dan soliditas rotor	26
Gamabar 2.21	Efisiensi rotor untuk berbagai tipe turbin angin	27
Gamabar 2.22	Variasi tip speed ratio dan koefisien daya pada berbagai jenis turbin angin	27
Gamabar 2.23	Solar charger controller	28
Gamabar 2.24	Baterai	29
Gamabar 2.25	Konstruksi baterai	31
Gamabar 2.26	Proses pengosongan dan pengisian baterai	32

Gamabar 2.27	Inverter	33
Gamabar 2.28	Prinsip kerja rangkaian inverter	34
Gamabar 3.1	Panel surya jenis polycrystalline	37
Gamabar 3.2	Turbin ventilator	37
Gamabar 3.3	Motor DC	38
Gamabar 3.4	Relay	38
Gamabar 3.5	Solar charge controller	38
Gamabar 3.6	Inveter	39
Gamabar 3.7	MCB DC	39
Gamabar 3.8	Baterai	39
Gamabar 3.9	Kabel penghubung	40
Gamabar 3.10	Arduino uno	40
Gamabar 3.11	Sensor tegangan	40
Gamabar 3.12	Bagan rangkaian pada panel surya dan ventilator	41
Gambar 3.13	Perancangan rangkaian keseluruhan	41
Gambar 3.14	Bagan alir penelitian	43
Gambar 4.1	Rancangan miniatur untuk simulasi	45
Gambar 4.2	Pengujian relay pertama	47
Gambar 4.3	Pengujian relay kedua	48
Gambar 4.4	Monitor panel	50
Gambar 4.5	Monitor mikrokontroler	51
Gambar 4.6	Monitor per 3 detik dari sensor tegangan	56
Gambar 4.7	Percobaan 1	57
Gambar 4.8	Percobaan 2	58
Gambar 4.9	Percobaan 3	58
Gambar 4.10	Rangkaian keseluruhan	58
Gambar 4.11	Rangkaian dalam box	59
Gambar 4.12	Ventilator dan panel surya	59
Gambar 4.13	Miniatur prototipe	60

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	35
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Relay	46
Tabel 4.2 Hasil Pengujian sensor tegangan.....	48
Tabel 4.3 Hasil pengujian mikrokontroler arduino uno	49
Tabel 4.4 Hasil pengujian keseluruhan	55

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi yang terus meningkat dan semakin menipisnya cadangan minyak bumi memaksa manusia untuk mencari sumber energi alternatif. Negara-negara maju juga telah bersaing dan berlomba membuat terobosan-terobosan baru untuk mencari dan menggali serta menciptakan teknologi baru yang dapat menggantikan minyak bumi sebagai sumber energi. Pertumbuhan ekonomi dan permintaan kebutuhan akan tenaga listrik yang terus meningkat perlu diimbangi dengan usaha penyediaan tenaga listrik meliputi usaha pembangkitan, transmisi, distribusi dan penjualan tenaga listrik (Saputra et al., 2017).

Sistem pengontrolan pembangkit listrik tenaga *hybrid* merupakan suatu alternatif energi dengan menggunakan sistem yang menggabungkan beberapa sumber energi konvensional maupun energi terbarukan. Alat prototipe pembangkit dengan sistem *hybrid* mampu mengefektifkan sistem pembangkit listrik dengan saling membeck-up saling memenuhi kekurangan dari masing-masing pembangkit listrik (Hendrayana, 2017).

Komponen utama yang membangun PLTS yaitu *solar module*. yang berfungsi sebagai perubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Komponen ini mengkonversikan energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik. *Solar cell* merupakan komponen vital yang umumnya terbuat dari bahan semikonduktor. *multicrystallinesilicon* adalah bahan yang paling banyak dipakai dalam industri *solar cell*. *Multicrystalline* dan *monocrystallinesilicon* menghasilkan efisiensi yang relatif lebih tinggi dari pada *amorphoussilicon*.” Energi listrik yang dihasilkan oleh solar sel tunggal sangat kecil sehingga dibutuhkan beberapa solar sel yang digabungkan menjadi sebuah panel yang disebut dengan panel surya atau panel solar photovoltaic” Harmini (2018) “Pada prinsipnya pemanfaatan energi surya sebagai tenaga pembangkit energi listrik bertumpu pada sebuah elemen foto listrik yang berfungsi sebagai pengubah energy cahaya menjadi energi listrik yang biasa disebut sel surya atau solar cell (Noviyanto et al., 2018).

Penelitian ini menghasilkan desain kontrol pembangkit listrik hibrid berbasis sistem kecerdasan buatan dan penelitian ini diharapkan memberikan alternatif metode desain untuk pengendalian daya dari suatu sistem pembangkit hybrid tenaga matahari (*solar panel module*), tenaga angin (*wind turbine*). Selain itu penelitian ini memberikan alternatif metode desain system kontrol berbasis system kecerdasan buatan pada sistem pembangkit hibrid tenaga matahari dan tenaga angin dalam rangka menjaga ketersediaan kebutuhan daya listrik yang konstan dan optimal (Noviyanto et al., 2018).

Prosedur penelitian ini mencakup studi pustaka, pengambilan data,, perancangan model, pengujian, analisa data dan kesimpulan. Pemanfaatan energi terbarukan terutama berbasiskan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin (PLTB) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dapat dilakukan dengan pendekatan yang berbeda (Hidayanti & Dewangga, 2020).

Maka dari itu penulis mengangkat judul “**PROTOTYPE SISTEM PENGONTROLAN ENERGI LISTRIK HYBRIDE (PLTS PLTB)**“. **Alat ini ditujukan untuk memanfaatkan udara dalam ruangan, memutar ventilator menjadi energi listrik dan solar cell yang berfungsi sebagai perubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu:

1. Bagaimana sistem pengontrolan PLTB dan PLTS.
2. Bagaimana sistem kerja arduino uno di PLTB dan PLTS.

1.3 Tujuan penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, dapat disimpulkan beberapa tujuan yaitu sebagai berikut :

1. Untuk menganalisis sistem pengontrolan PLTB dan PLTS.
2. Untuk menganalisis sistem kerja arduino uno PLTB dan PLTS.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam hal ruang lingkup penelitian, dapat dilihat sebagai berikut :

1. Membuat rangkaian kontrol energi panel surya dan turbin ventilator menjadi satu sumber ke baterai.
2. Merancang arduino uno dengan menggunakan relay/switch sebagai penggerak otomatis untuk memindahkan baterai pertama dan kedua.
3. Pengujian setting arduino uno sebagai backup untuk baterai apabila mencapai batas yaitu 10 volt dengan kapasitas baterai 12 volt akan berpindah.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penulis adalah :

1. Manfaat bagi mahasiswa
Bagi penemuan penelitian ini dapat dijadikan referensi bagi mahasiswa untuk menambah pengetahuan yang berkaitan dengan PLTS dan PLTB. Hasil penelitian ini juga dapat dijadikan landasan empiris bagi mahasiswa teknik elektro selanjutnya.
2. Manfaat bagi masyarakat
Sebagai titik acuan bahwa alat yang ditemukan ini bias digunakan bagi masyarakat luas untuk mengetahui perkembangan teknologi yang ada di Indonesia.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi tersusun atas beberapa BAB pembahasan Sistematika tulisan tersebut adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pada BAB ini menguraikan secara singkat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan metodologi penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada BAB ini berisipembahasan secara garis besar tentang PLTS dan PLTB.

BAB III : METODOLOGI

Pada BAB ini akan menerangkan tentang lokasi penelitian diagram alir/*flowchat*, diagram *ladder* serta jadwal kegiatan dan hal-hal yang berhubungan dengan proses perancangan .

BAB IV : ANALISIS DAN PENGUJIAN

Pada BAB ini berisi hasil pemrograman dan pengujian perangkat keras (*hardware*).

BAB V : PENUTUP

Pada BAB ini berisi tentang kesimpulan dan saran penulisan skripsi.

DAFTAR PUSTAKA

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Penelitian ini adalah pengembangan dari penelitian-penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh beberapa di bidang teknik elektro, yaitu:

Faizri Rahmadi Isman, Annisa Rossy Rahmatika, Budi Cahyo Suryo P., Arie Rahmadi, Ganang Ery Putranto, R. Rizal Isnanto (2015) Program Studi Sistem Komputer Fakultas Teknik Universitas Diponegoro melakukan penelitian potensi pengembangan pembangkit listrik *hybride* di PLTB sama, bantul, diy.

Rocky Alfan Fadjar Maulana, Heri Haryanto (2015) Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayata melakukan penelitian rancang bangun energi listrik *hybride* (PLTS-PLTB-PLN) untuk membantu listrik rumah tinggal.

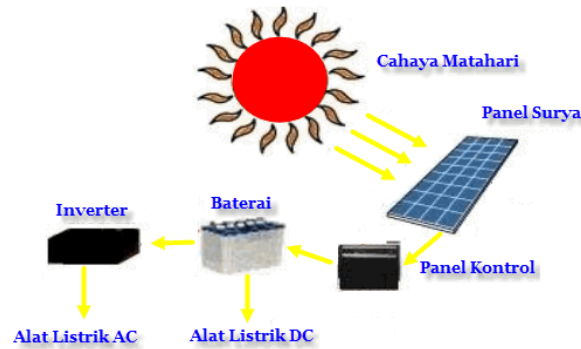
Yuda Agus Tri Sistiawan, Pamor Gunoto (2019) Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau Kepulauan melakukan penelitian perancangan pembangkit listrik *hybride* (tenaga surya dan tenaga angin) dengan kapasitas 20 w.

Suhardi Istiawan (2019) Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara melakukan penelitian pengaruh intensitas dan temperatur permukaan panel surya pada berbagai jenis sel surya.

Alfredo Gusmao (2019) Jurusan Teknik Elektro Universitas Institut Teknologi Surabaya melakukan penelitian desain kontrol pembangkit listrik *hybride* tenaga surya, tenaga angin dan batrai.

2.2 Landasan Teori

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya/energi matahari menjadi energi listrik.



Gambar 2.1 Panel Surya

Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari ini sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas langsung diambil dari matahari, tanpa ada bagian yang berputar dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya sering dikatakan bersih dan ramah lingkungan (PLTS) terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut:

- a. Modul Surya, yang berfungsi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik arus searah.
- b. Baterai, yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya.
- c. Solar Charger Controller, yang berfungsi untuk mengatur pengisian baterai.
- d. Inverter, yang berfungsi untuk mengubah listrik arus searah menjadi arus bolak-balik.

2.2.1 Sejarah Sel Surya

Aliran listrik matahari (surya) pertamakali ditemukan oleh *Aleander Edmond Beequerel* yang merupakan seorang ahli fisika yang berasal dari Jerman pada abad ke-19. Ia menangkap peristiwa dimana secara kebetulan berkas sinar matahari mengenai larutan elektron kimia yang mengakibatkan peningkatan muatan elektron. Setelah satu abad berlalu yakni pada awal abad ke-20, *Albert Einstein* mulai mengembangkan penemuan tersebut. Einstein menamai penemuan *Alexander Admond Beequerel* dengan nama "*Photoelectric effect*" yang menjadi dasar pengertian "*Photovoltaic effect*". Einstein melakukan pengamatan pada

sebuah lempeng metal yang melepaskan foton partikel energi cahaya ketika energi matahari mengenainya. Foton-foton tersebut secara terus-menerus mendesak atom metal, sehingga terjadi partikel energi foton bersifat gelombang energi cahaya (Suhardi, 2019).

Dari hasil pengamatan *Einstein* tersebut, maka sekitar tahun 1930, ditemukan konsep baru *Quantum mechanics* yang digunakan untuk mencitakan teknologi *solid state*. Teknologi tersebut dimanfaatkan oleh *Bell Telephone Research Laboratories* untuk membuat sel surya padat pertama. Berkembang zaman pemanfaatan dan desain sel surya semakin berkembang. Hal ini terjadi pada tahun 1950-1960 dimana sel surya siap diaplikasikan ke pesawat ruang angkasa. Perkembangan sel surya semakin pesat pada tahun 1970-an sel surya diperkenalkan secara besar-besaran diseluruh dunia sebagai energi alternatif yang terbarukan dan ramah lingkungan (Pahlevi, 2014).

2.2.2 Sel Surya

Sel surya adalah peralatan yang mengkonversi energi matahari menjadi listrik arus searah *Direct Current*. Bentuk sel surya yang paling umum didasarkan pada efek *photovoltaic* PV. Bila sel surya ditempatkan di bawah cahaya matahari maka foton-foton yang dipancarkan oleh matahari mengenai permukaan sel surya dan terus menembus sambungan p-n. Foton matahari terus menggerakkan elektron bebas dan lubang *hole* tersebut. Di daerah p-n inilah terjadi produksi listrik. Elektron dan hole selanjutnya mengalir melalui kontak-kontak listrik yang dibuat pada bagian atas dan bawah sel (Akhinov & Handaya, 2019).

2.2.3 Kristalis Sel Surya

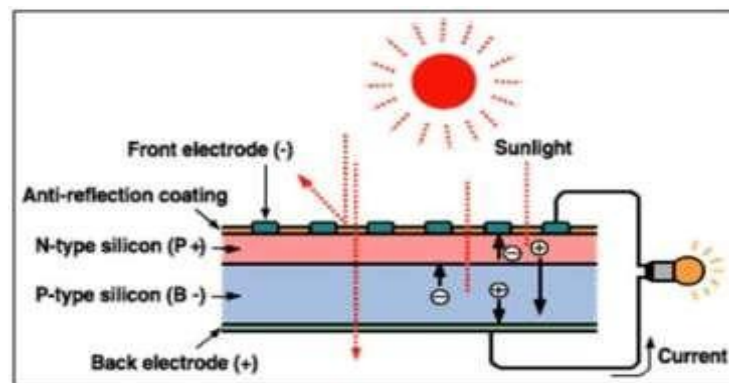
Sel-sel surya yang dapat dibuat dari berbagai macam bahan semikonduktor dengan jenis *kristal* yang berbeda-beda antara lain:

- a. Silikon (Si) – termasuk diantaranya Si *monokristalin*, Si *polikristalin*, dan Si *amorph*.
- b. Lapisan tipis polikristalin – diantaranya adalah, *copper indium diselenida* (CIS), Cadmium tellurida, dan lapisan tipis silikon.

Lapisan tipis *thin film monokristalin* termasuk diantaranya, bahan berefisiensi tinggi seperti gallium arsenida (GaAs) (Saputro & Yandri & Khwee, 2017).

2.3 Panel Surya

Panel surya terdiri dari beberapa sel surya yang di susun sedemikian rupa sehingga didapatkan output sesuai dengan yang diinginkan. Dari kumpulan sel surya ini dapat dikonversi cahaya matahari menjadi listrik arus searah. Dengan menambahkan baterai yang dihubungkan dengan panel surya, maka daya hasil konversi cahaya matahari menjadi listrik dapat disimpan sebagai cadangan energilistrik. Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe P dan N *P-N junction semiconductor* yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam Gambar 2.2 di bawah ini.

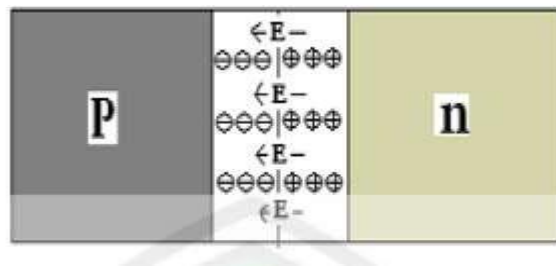


Gambar 2.2 proses Pengubahan Energi Matahari menjadi Energi Listrik pada Sel Surya

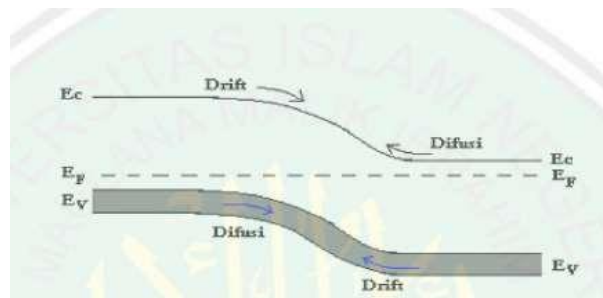
Bagian utama pengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah penyerapan *absorber*, meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari sel surya. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik, oleh karena itu penyerap disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi sinar yang berasal dari cahaya matahari (Rimbawati Rimbawati et al., 2021).

Hole secara kontinyu meninggalkan tipe-p dan menyebabkan ion negatif akseptor tertinggal di dekat sambungan. Begitupun dengan elektron yang meninggalkan tipe-n akan menyebabkan beberapa ion positif donor tertinggal di dekat sambungan. Bagitupun dengan elektron yang meninggalkan tipe-n akan menyebabkan beberapa ion positif donor tertinggal didekat

sambungan Gambar 2.3 Sebagai konsekuensinya ruang muatan negatif terbentuk didaerah tipe-p dan ruang muatan positif terbentuk didaerah tipe-n dekat sambungan sampai tepat pada sambungan p-n terjadi daerah tanpa muatan nenas yang daerah pengosongan *depletion regio* (Rimbawati Rimbawati et al., 2021).



Gambar 2.3 Medan listrik di daerah pengosongan berarah dari kanan ke kiri

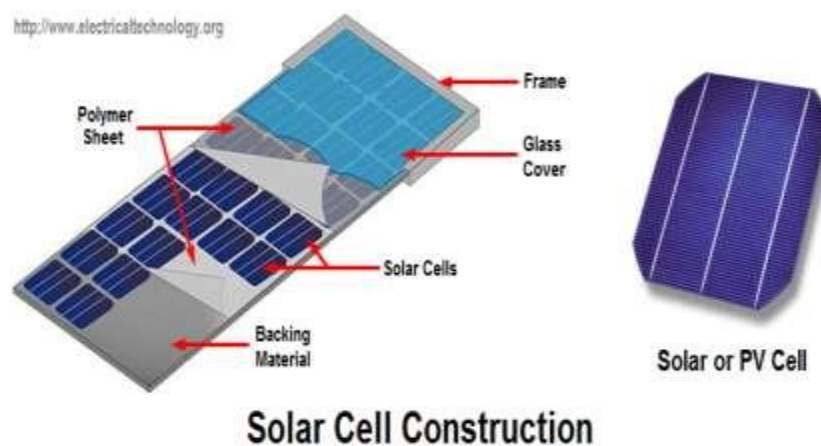


Gambar 2.4 Arah gerak difusi elektron-hole: difusi dari pembawa muatan mayoritas dan drift dari pembawa muatan minoritas.

Medan listrik internal mempunyai arah yang berlawanan dengan arus difusi tiap pembawa muatan. Gambar: 2.4 memperhatikan bahwa difusi hole bergerak dari kiri ke kanan dan arus drift hole bergerak dari kanan ke kiri. Sebaliknya, arah difusi elektron dari kanan ke kiri dan arah drift hole bergerak dari kiri kekanan. Ketika radiasi sinar matahari mengenai sel surya, maka akan terjadi serapan foton sehingga terjadi pasangan elektron-hole. Oleh karena pengaruh medan listrik internal di atas, maka hole akan bergerak menuju p dan elektron akan bergerak menuju n, sehingga keduanya menghasilkan arus foto.

Pada depletion layer dapat pula terbentuk pasangan elektron-hole dan akan bergerak menuju ke arah mayoritas sehingga menghasilkan arus generasi (Shodiq, 2017).

Panel surya merupakan sel *Fotovoltaik* yang merubah energi dari cahaya matahari langsung menjadi listrik oleh efek *fotovoltaik*. Fungsi sel surya adalah menangkap energi yang terdapat pada sinar matahari (Hasanah et al., 2019).



Gambar 2.5 Modul Panel Surya

2.3.1 Cara Kerja Panel Surya

Cara kerja panel surya sebagai berikut, Panas dari cahaya matahari ditangkap oleh sel surya, kemudian dirubah menjadi energi listrik. Energi yang dihasilkan tersebut kemudian dimasukkan kedalam rangkaian tambahan untuk mengelolanya supaya dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Cara umum panel surya dibagi menjadi 3, yaitu :

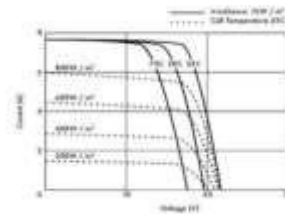
1. Solar *therma*, memiliki fungsi sebagai panel surya.
2. Panel, berfungsi untuk memproduksi aliran elektron yang berfungsi sebagai efek *fotovoltaik*, atau untuk memproduksi aliran elektron sinar matahari oleh dua lempeng diode.
3. Panel *hybride* yang memiliki peran untuk menggabungkan fungsi kedua panel tersebut.

2.3.2 Faktor Pengoprasian Sel Surya

Pada pengoprasian sel surya pastinya terdapat komponen yang menjadi faktor x agar sel surya dapat beroperasi secara maksimal, faktor x tersebut adalah:

a. Ambien Air Temperatur

Sel surya dapat beroperasi secara maksimal jika temperatur sel tetap normal pada 25 derajat celsius. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan Voc (Pahlevi, 2014).



Gambar 2.6 Karakteristik penurunan *voltage* terhadap kenaikan temperatur

Gambar 2.6 menunjukkan setiap kenaikan temperatur sel surya 10 derajat celsius dari 25 derajat celsius akan berkurang sekitar 0,4% pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali lipat untuk kenaikan temperatur sel per 10 derajat celsius (Pahlevi, 2014).

Temperatur sel surya, T_c adalah temperatur yang diukur pada permukaan panel surya. Pada malam hari, nilai temperatur ini sama dengan temperatur lingkungan sekitarnya, namun pada siang hari saat terik matahari, nilai temperatur ini dapat mencapai 30°C atau lebih diatas temperatur lingkungan sekitarnya (Pahlevi, 2014).



Gambar 2.7 Thermometer

Prinsip kerja *thermometer* memanfaatkan karakteristik hubungan antara tegangan (volt) dengan temperatur, tiap temperatur memiliki tegangan tertentu pula, pada temperatur yang sama, logam A memiliki tegangan yang berbeda dengan logam B, terjadi beda tegangan yang dapat dideteksi dari input temperatur lingkungan setelah melakukan termokopel terdeteksi sebagai perbedaan tegangan (Arimukti & Nasbey & Sidopekso, 2011).

b. Radiasi Matahari

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat tergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Insolasi matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terhadap tegangan (Pahlevi, 2014).

c. Atmosfir Bumi

Keadaan atmosfer bumi yang berawan mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat berpengaruh untuk menentukan hasil maksimal arus listrik dari sel surya (Pahlevi, 2014).

d. Tiupan Angin

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya sangat membantu terhadap permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga dikisaran 25°C (Pahlevi, 2014).

e. Orientasi Panel

Orientasi dari arah panel ke arah matahari secara optimal memiliki efek yang sangat besar untuk menghasilkan energi yang maksimum. Selain arah orientasi sudut, orientasi dari panel juga sangat mempengaruhi hasil energi yang maksimum. Untuk lokasi yang terletak di belahan utara, maka panel sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu juga yang letaknya di belahan selatan, maka panel sebaiknya diorientasikan ke utara. Ketika panel diorientasikan ke barat atau ke timur sebenarnya akan tetap menghasilkan energi, namun energi yang dihasilkan tidak akan maksimal (Joko & Sunaryo, 2014).

f. Posisi letak sel surya terhadap matahari

Mempertahankan sinar matahari jauh ke sebuah permukaan modul surya secara tegak lurus akan memperoleh energi maksimum 1000 w/m^2 atau 1 kw/m^2 untuk mempertahankan tegak lurusnya sinar matahari terhadap panel surya dibutuhkan pengukuran posisi modul surya, karena *sun altitude* akan berubah setiap jam dalam sehari (Pahlevi, 2014)

2.3.3 Posisi Modul Surya Terhadap Gerakan Arah Matahari

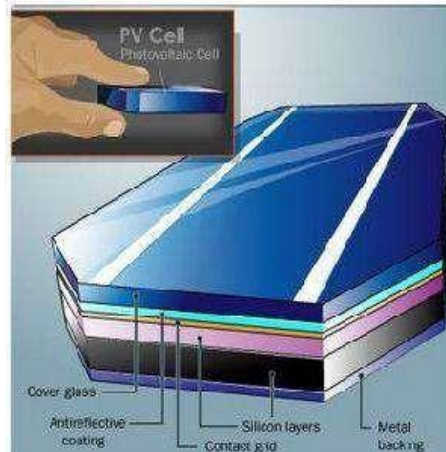
Posisi kemiringan panel surya juga dapat menentukan daya yang di hasilkan panel surya. Kemiringan panel surya dapat ditentukan dari garis lintang lokasi pemasangan panel surya (R Rimbawati et al., 2021).

Tabel 2.1 Posisi kemiringan instalasi panel surya

Garis Lintang	Sudut Kemiringan
0 - 15°	15°
15 – 25°	25°
25 – 30°	30°
30 – 35°	40°
35 – 40°	45°
40 – 90°	65°

2.3.4 Struktur Sel Surya

Sesuai dengan perkembangan sains dan teknologi jenis-jenis teknologi sel surya pun berkembang dengan berbagai inovasi. Ada yang disebut sel surya generasi satu, dua, tiga dan empat, dengan struktur atau bagian-bagian penyusun sel yang berbeda pula. Struktur dari sel surya yang umum berada dipasaran saat ini yaitu sel surya berbasis material silikon yang juga secara umum mencakup struktur sel surya generasi pertama (sel surya silikon). Sel surya memiliki beberapa bagian didalam pembuatannya. Pada Gambar 2.8 ada lima tipe umum struktur sel surya (Pahlevi, 2014).



Gambar 2.8 Struktur Sel Surya

1. Substrat / *Metal backing*

Substrat adalah material yang menompang seluruh komponen sel surya. Material substrat juga harus mempunyai konduktifitas listrik yang baik karena juga berfungsi sebagai kontak terminal positif sel surya, sehingga umumnya digunakan material metal atau logam seperti aluminium atau *moly denum*.

2. Material semikonduktor / *Silicon layers*

Material semikonduktor merupakan bagian inti dari sel surya yang biasanya mempunyai tebal sampai beberapa ratus mikrometer untuk sel surya generasi pertama mikrometer untuk sel surya lapisan tipis. Material semikonduktor inilah yang berfungsi menyerap cahaya dari sinar matahari.

3. Kontak metal / *Contact grid*

Selain substrat sebagai kontak positif diatas sebagai material semi konduktor biasanya dilapiskan material konduktif transparan sebagai kontak negatif.

4. Lapisan antire flaktif/ *Antrieflective coanting*

Refleksi cahaya harus diminimalisir agar mengoptimalkan cahaya yang terserap oleh semi konduktor, oleh karena itu biasanya sel surya dilapisi oleh inti-refleksi.

5. Enkapsulasi/ *Converglass*

Bagian ini berfungsi sebagai enkapsulasi untuk melindungi surya dari hujan atau kotoran (Pahlevi, 2014).

2.3.5 Energi Listrik

Sinar matahari dapat menghasilkan energi listrik. Sebuah sel surya tidak tergantung pada besaran luas bidang silikon, dan secara konstan akan menghasilkan energi berkisar antara 0,5 volt maksimum 600 mV pada 2 ampere, dengan kekuatan radiasi solar matahari $1000 \text{ W/m}^2 = \text{“1 Sun”}$ akan menghasilkan arus listrik sekitar 30 mA/cm^2 per sel surya (Pahlevi, 2014).

2.3.6 Arus dan Tegangan

Atom ialah sebuah material yang disusun berdasarkan partikel-partikel yang sangat kecil. Atom terdiri dalam berbagai gabungan yang terdiri partikel-partikel sub-atom, susunan tersebut diantaranya adalah elektron yang disebut partikel subatom yang bermuatan negatif, proton salah satu jenis partikel bermuatan positif, dan neutron salah satu jenis partikel bermuatan netral dalam berbagai gabungan. Pada suatu rangkaian terdapat suatu resistansi atau hambatan (R) oleh karena itu rangkaian tersebut akan muncul hukum ohm. Hukum ohm mendefinisikan hubungan antara arus (I), tegangan (V), dan resistansi atau hambatan (R) (Pahlevi, 2014).

Berikut merupakan rumusan persamaan dari ketiganya:

Keterangan:

I = arus (ampere)

V = tegangan (Volt)

R = hambatan (ohm)

2.3.7 Daya Input

Sebelum mengetahui berapa nilai daya yang dihasilkan harus mengetahui daya yang diterima, dimana daya tersebut adalah perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas area panel surya dengan persamaan (Asrul, Demak, Hatib. 2016).

Keterangan:

P_{in} = Daya input akibat *irradiance*

I_r = Intensitas radiasi matahari

A = Luas area permukaan *photovoltaic module* (m^2)

2.3.8 Daya Output

Sedangkan untuk besarnya daya pada sel surya (P_{out}) yaitu perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), arus hubung singkat (I_{sc}), dan *Fill Factor* (FF) yang dihasilkan oleh sel *Photovoltaic* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut: (Asrul, Demak, Hatib. 2016).

Keterangan :

P_{out} = Daya yang dibangkitkan oleh solar sel (watt)

V_{oc} = Tegangan rangkaian terbuka pada solar sel (volt)

I_{sc} = Arus hubung singkat pada solar sel (ampere)

FF = *Fill Factor*

Dengan :

P_{rerata} = Daya rata-rata (watt)

P_1 = Daya pada titik pengujian ke satu

P_2 = Daya pada titik pengujian ke dua

P_n = Daya pada titik pengujian ke n (Asrul, Demak, Hatib. 2016).

2.3.9 *Fill Faktor* (FF)

Faktor pengisi merupakan nilai rasio tegangan dan arus pada ke adaan daya maksimum dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) dan arus *short circuit* (I_{sc}) Persamaan *fill factor* digunakan untuk mengukur bagaimana luas persegi pada karakteristik I-V suatu sel surya. Harga *fill factor* dapat merupakan fungsi V_{oc} . Secara empiris hubungan *fill factor* dengan V_{oc} adalah: (Asrul, Demak, Hatib. 2016).

2.3.10 Efisiensi Sel Surya

Efisiensi yang terjadi pada sel surya adalah merupakan perbandingan daya yang dapat dibandingkan oleh sel surya dengan energi input yang diperoleh dari *irradince* matahari. Efisiensi yang digunakan adalah efisiensi sesaat pada pengambilan data (Asrul, Demak, Hatib. 2016).

2.4 Macam-macam Bahan Pembuatan Sel Surya

Perkembangan sel surya sangat meningkat sebagai energi alternatif yang terbarukan. Perkembangan tersebut salah satunya berdampak pada bahan pembuatan sel surya. Bahan yang digunakan banyak jenisnya dan memiliki efisiensi yang berbeda-beda. Dengan demikian untuk mengaplikasikan sumber energi sel surya dapat disesuaikan dengan kebutuhan dan pastinya dapat disesuaikan dengan anggaran dana. Macam-macam bahan pembuatan sel surya adalah sebagai berikut (Ernaning,2004).

1. *Poly-crystalline*

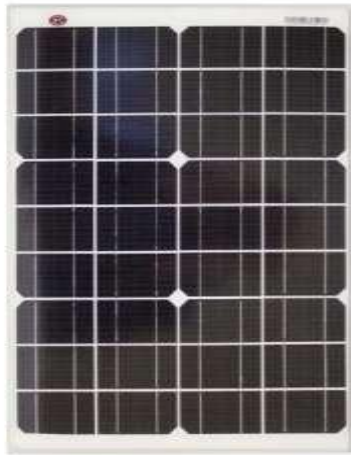
Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibandingkan dengan sel *mono crystalline* (efektifitas 18%), tetapi biaya lebih murah (Ernaning,2004).



Gambar 2.9 Solar sel jenis *poly-crystalline*

2. *Mono-crystalline*

Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Mono-crystalline dapat dibuat setelah 200mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.



Gambar 2.10 Solar sel *Mono-crystalline*

3. *Gallium Arsenide*

Sel surya III-IV semikonduktor yang sangat efisiensi sekitar 25% sel surya silikon "*Thin Film*".



Gambar 2.11 Solar sel jenis *Gallium Arsenide*

a. *Amorphous Silikon*

Sebagai pengganti tinted glass yang semi transparan

b. *Thin Film Silikon*

Dibuat dari *thin-crystalline* atau *poly-crystalline* pada bahan metal yang cukup murah (*cladding system*)

c. *Cadmium Telluride*

Terbentuk dari bahan material thin film *poly-crystalline* secara deposit, semprot dan evaporasi tingkat tinggi nilai efisiensi 16%.

d. *Copper Indium Diselenide*

Merupakan bahan dari film tipis *poly-crystalline* nilai efisiensi 17.7%



Gambar 2.12 Solar sel jenis *Copper Indium Diselenide*

2.5 Komponen-Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.5.1 Relay

Relay adalah Saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen Electromechanical (Elektromekanikal) yang terdiri dari 2 bagian utama yakni Elektromagnet (Coil) dan Mekanikal (seperangkat Kontak Saklar/*Switch*). *Relay* menggunakan Prinsip Elektromagnetik untuk menggerakkan Kontak Saklar sehingga dengan arus listrik yang kecil (*low power*) dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi. Sebagai contoh, dengan Relay yang menggunakan Elektromagnet 5V dan 50 mA mampu menggerakkan *Armature Relay* (yang berfungsi sebagai saklarnya) untuk menghantarkan listrik 220V 2A (Michalopoulos & Karagiannidis, 2008).



Gambar 2.13 Relay

2.5.2 Arduino Uno

Arduino adalah pengendali mikro *single-board* yang bersipat *open source*, diturunkan dari *wiring platform*, dirancang untuk memudahkan untuk

penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Softwarena* memiliki bahasa program sendiri, sedangkan Arduino Uno adalah papan sirkuit berbasis mikrokontroler, IC (*integrated circuit*) ini memiliki 4 input/ output, Koneksi USB, soket adaptor, *pin header* ICSP, dan tombol reset. Hal inilah yang dibutuhkan untuk mensupport mikrokontroler secara mudah terhubung dengan kabel *power* USB atau kabel *power supply* adaptor AC ke DC atau juga *battery*, sehingga Arduino Uno dipilih sebagai rangkaian pengontrol semua sistem. Arduino Uno diperlihatkan dibawah ini (Nurharsanto & Priyatno, 2017).



Gambar 2.14 Arduino Uno.

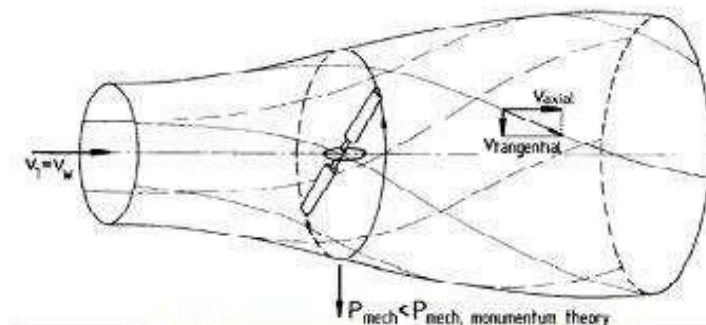
Arduino uno adalah sebagai board mikrokontroler yang didasarkan pada AT mega 328. Arduino uno mempunyai 14 pin digital input/output (6 diantaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah isolator kristal 16 MHz, sebuah koneksi USB, sebuah power jack, sebuah ICSP heade, dan sebuah tombol reset. Arduino uno memuat semua yang dibutuhkan untuk menunjang mikrokontroler, mudah menghubungkannya ke sebuah komputer dengan sebuah kabel USB atau mensuplainya dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya. “Uno” berarti satu dalam bahasa italia dan dinamai untuk menandakan keluaran (produk) Arduino 1.0 selanjutnya. Arduini uno dan versi 1.0 akan menjadi referensi untuk versi-versi arduino selanjutnya. Arduino uno adalah sebuah seri terakhir dari board arduino USB dan

model referensi untuk papan arduino, untuk suatu perbandingan dengan versi sebelumnya (Pasaribu & Reza, 2021)

2.6 Energi Angin

Secara sederhana energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutar blade-blade yang terdapat pada kincir angin, dimana blade-blade ini terhubung dengan poros dan memutar poros yang telah terhubung dengan generator dan menimbulkan arus listrik. Model sederhana dari turbin angin mengambil dasar teori dari momentum, angin dengan kecepatan tertentu menabrak rotor yang memiliki performa sayap atau propeller. Dalam model sederhana, dimana memungkinkan *newtonian mechanics* digunakan, aliran diasumsikan steady dan mendatar, udara diasumsikan *incompressible* dan *inviscid*, dan aliran *downstream* (aliran setelah melalui rotor) diasumsikan konstan disekeliling bagian *streamtube* dengan tidak ada diskontinuitas tekanan disebatang pembatasan *streamtube* (Ariyanto & Firman & Mara & Nuarsa, 2013).

Aplikasi dari momentum dan energi diperlihatkan pada gambar berikut :



Gambar 2.15 Teori momentum dengan mempertimbangkan bangun rotor berputar.

2.6.1 Energi Kinetik Angin

Energi angin merupakan energi alternatif yang mempunyai prospek baik karena selalu tersedia di alam, dan merupakan sumber energi yang bersih dan terbarukan kembali. Proses pemanfaatan energi melalui dua tahapan konversi yaitu :

1. Aliran angin akan menggerakkan rotor (baling-baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin bertiup.

2. Putaran rotor dihubungkan dengan generator sehingga dapat dihasilkan listrik.

Dengan demikian energi angin merupakan energi kinetik atau energi yang disebabkan oleh kecepatan angin untuk dimanfaatkan memutar sudu-sudu kincir angin. Untuk memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik maka langkah pertama yang harus dilakukan adalah menghitung energi angin dengan formula (Pasaribu et al., 2020).

2.6.2 Turbin Angin

Turbin angin atau kincir angin merupakan suatu alat yang dapat mengubah energi kinetik dari angin menjadi energi listrik. Sistem yang digerakkan oleh angin telah banyak digunakan secara luas sejak abad kesepuluh untuk memompa air, menumbuk biji, dan lain-lain. Turbin angin sendiri dahulu banyak digunakan di Negara Denmark, Belanda, dan negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan nama windmill. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber energi terbarukan yaitu berupa angin (Atmadi & Fitroh, 2009).

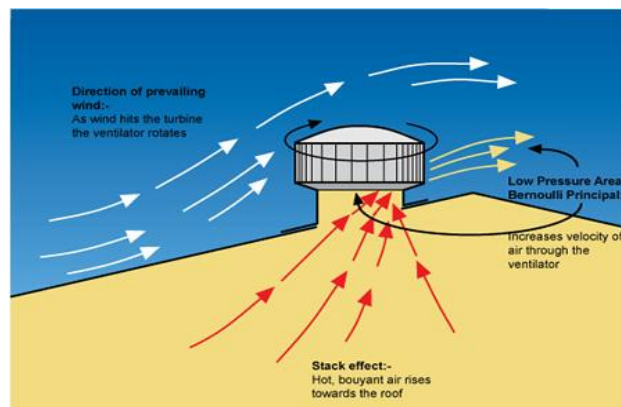
Baling-baling merupakan bagian utama pada turbin angin yang berfungsi untuk mengkonversikan energi angin menjadi energi penggerak untuk generator. Bila baling-baling memiliki jari-jari R dilewati angin dengan kecepatan v , maka daya yang dihasilkan oleh turbin angin tersebut dapat ditentukan (Atmadi & Fitroh, 2009).

C_p (*Power Constant*) merupakan besaran yang dimiliki oleh motor dan berbeda-beda setiap tipe yang berbeda. C_p merupakan keahlian suatu motor untuk mengkonversi dari energi gerak menjadi energi listrik atau sebaliknya dengan memperhitungkan nilai setiap rugi-rugi yang dimilikinya. Sehingga bilamana menggunakan generator dengan nilai C_p yang besar untuk turbin angin, maka daya yang akan dihasilkan akan lebih besar bila dibandingkan dengan generator yang memiliki nilai C_p yang lebih rendah (Atmadi & Fitroh, 2009).

2.6.3 Prinsip Kerja dan Kontruksi Turbin Angin

Sistem pembangkit listrik tenaga angin ini merupakan pembangkit listrik yang menggunakan turbin angin (*wind turbine*) sebagai peralatan utamanya. Dalam skala utility memiliki berbagai ukuran, dari 100 kilowatt sampai dengan beberapa megawatt. Turbin besar dikelompokkan bersama-sama ke arah angin, yang memberikan kekuatan massal ke jaringan listrik. turbin kecil tunggal, di bawah 100 kilowatt dan digunakan pada rumah, telekomunikasi, atau pemompaan air. Turbin kecil kadang-kadang digunakan dalam kaitannya dengan generator diesel, baterai dan sistem *fotovoltaik*. Sistem ini disebut sistem angin hibrid dan sering digunakan di lokasi terpencil di luar jaringan, di mana tidak tersedia koneksi ke jaringan utilitas (Padmika et al., 2017).

Tenaga angin modern dihasilkan dalam bentuk listrik dengan merubah rotasi pisau turbin menjadi arus listrik menggunakan generator listrik. Kincir dengan energi angin digunakan untuk memutar peralatan mekanik dalam melakukan kerja fisik, seperti memompa air atau menyalakan lampu. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin tergantung pada diameter pada sudut. Semakin besar diameter, maka daya yang dihasilkan semakin besar (Padmika et al., 2017).



Gambar 2.16 Struktur turbin ventilator.

Turbin ventilator merupakan turbin angin sumbu vertical yang memiliki fungsi sebagai turbin angin dan juga kipas hisap. Turbin ventilator menggunakan energi angin sebagai pengganti kipas ventilasi. Cara kerja pembangkit listrik tenaga bayu/angin cukup sederhana. Energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibawah bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik. Energi listrik ini biasanya akan disimpan dalam batrai sebelum dimanfaatkan. Banyaknya batrai disesuaikan

dengan jumlah daya yang dibutuhkan dalam instalasi listrik rumah tangga atau instansi (Padmika et al., 2017).



Gambar 2.17 Prinsip kerja PLTB.

2.7 Jenis Turbin Angin

Dalam perkembangannya turbin angin dibagi menjadi dua jenis turbin angin Propeller dan turbin angin Darrieus. Kedua jenis turbin inilah yang kini memperoleh perhatian besar untuk dikembangkan. Pemanfaatannya yang umum sekarang sudah digunakan adalah untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik. Turbin angin terdiri atas dua jenis, yaitu (Aryanto&Firman&Mara&Nuarsa, 2013).

2.7.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal

Turbin angin Propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling-baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya.



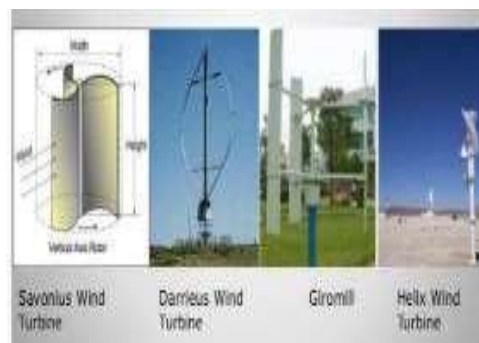
Gambar 2.18 Turbin angin sumbu horizontal.

Mukund R. Patel menambahkan, seperti yang terlihat dalam persamaan daya angin sebelumnya, keluaran daya dari turbin angin bervariasi linier dengan daerah yang melewati *rotor blade*. Untuk turbin sumbu

horizontal, daerah yang melewati *rotor blade* adalah (Aryanto & Firman & Mara & Nuarsa, 2013).

2.7.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

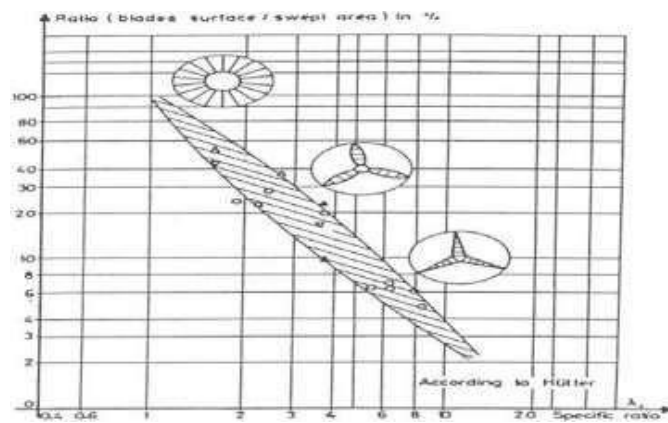
Turbin angin sumbu vertikal/tegak memiliki sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Generator dan *gearbox* turbin jenis ini bisa ditempatkan didekat tanah, sehingga menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Desain turbin ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan) sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar. Drag sulit dipasang diatas menara, turbin sumbu tegak sering dipasang lebih dekat ke dasar tempat ia diletakkan, seperti tanah atau puncak atap sebuah bangunan (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012).



Gambar 2.19 Turbin Angin Sumbu Vertikal.

2.7.3 Efisiensi Rotor

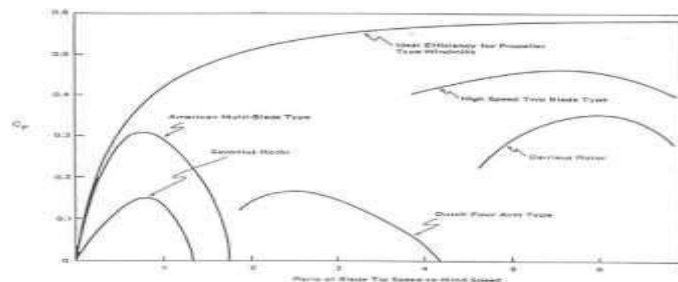
Efisiensi rotor ditentukan oleh jenis turbin angin dan kesempurnaan teknologi *aerodinamik* yang digunakan. Rotor dengan soliditas tinggi mempunyai efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan rotor yang mempunyai soliditas rendah (Dsl & Hardani, 2018).



Gambar 2.20 Efisiensi rotor dan soliditas rotor.

Gambar 2.20 menunjukkan efisiensi rotor terhadap berbagai jenis turbin angin. Disini terlihat bahwa turbin angin kelompok sumbu horizontal pada umumnya memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal. Dari gambar ini juga terlihat bahwa pada umumnya turbin angin dengan soliditas tinggi mempunyai torsi yang besar, efisiensi rendah serta *rated wind speed* yang tidak terlalu tinggi (Dsl & Hardani, 2018).

Sehingga terlihat jelas disini bahwa didaerah-daerah berpotensi energi angin rendah cocok diterapkan teknologi turbin angin multi blade yang dapat digunakan untuk keperluan-keperluan mekanikal, seperti pemompaan air.



Gambar 2.21 Efisiensi rotor untuk berbagai tipe turbin angin.

2.7.4 Diameter Rotor

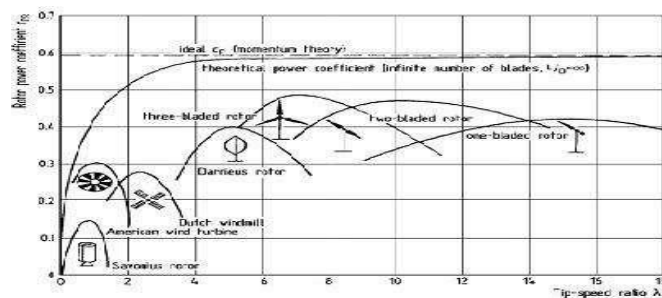
Diameter rotor ditentukan berdasarkan pemenuhan kebutuhan energi oleh angin yang tersedia, baik itu untuk kegunaan mekanikal maupun elektrik, dengan mempertimbangkan efisiensi rotor dan juga efisiensi sistem mekanik. Perkiraan diameter rotor ini tidak terlalu eksak. Kompromi dapat dilakukan dalam rangka optimisasi dengan kekuatan struktur sudu dan juga biaya pembuatan (Muttaqin & Zadid & Riawan & Suryoatmojo, 2012).

Dengan efisiensi rotor dan kondisi angin yang sama, semakin besar diameter rotor semakin besar pula energi angin yang dapat diekstrak. Oleh karena itu ukuran rotor menggambarkan berapa besar kapasitas suatu sistem konversi energi angin (Dsl & Hardani, 2018).

2.7.5 Tip Speed Ratio

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh terhadap kecepatan rotor. Turbin angin tipe lift akan memiliki tip speed ratio yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin drag (Aryanto et al., 2013).

Gambar berikut menunjukkan variasi nilai tip speed ratio dan koefisien daya untuk berbagai macam turbin angin (Aryanto et al., 2013).



Gambar 2.22 Variasi tip speed ratio dan koefisien daya pada berbagai jenis turbin angin.

2.8 Solar Charger Controller

Solar charger controller adalah salah satu komponen di dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya berfungsi sebagai pengatur arus listrik baik terhadap arus yang masuk dari panel surya maupun arus beban keluar/digunakan. Bekerja untuk menjaga baterai dari pengisian yang berlebihan. *Solar charger controller* mengatur tegangan dan arus dari panel surya ke baterai (Purwoto, 2018).

Sebagian besar panel surya 12 volt menghasilkan tegangan sekitar 16 sampai 20 volt DC, jadi jika tidak ada pengaturan, baterai akan rusak dari pengisian tegangan yang berlebihan. Pada umumnya baterai 12 volt membutuhkan tegangan pengisian sekitar 13-14,8 volt (tergantung tipe baterai) untuk dapat terisi penuh (Purwoto, 2018).



Gambar 2.23 Solar charge controller.

Fungsi dan fitur solar charger controller:

1. Saat tegangan pengisian di baterai telah mencapai keadaan penuh, maka *controller* akan menghentikan arus listrik yang masuk kedalam baterai untuk mencegah pengisian yang berlebih. Dengan demikian ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama. Di dalam kondisi ini, listrik yang tersuplai dari panel surya akan langsung terdistribusi ke beban/peralatan listrik dalam jumlah tertentu sesuai dengan konsumsi daya peralatan listrik (Damanik et al., 2021).
2. Saat keadaan dibaterai hampir kosong maka *controller* berfungsi menghentikan pengambilan arus listrik dari baterai oleh beban/peralatan listrik. Dalam kondisi tegangan tertentu (umumnya sekitar 10% sisa tegangan dibaterai), maka pemutusan arus beban dilakukan oleh *controller*. Hal ini menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel-sel baterai. Pada kebanyakan model *controller*, indikator lampu akan menyala dengan warna tertentu (umumnya berwarna merah atau kuning) yang menunjukkan bahwa baterai dalam proses pengisian. Dalam kondisi ini, sisa arus dibaterai kosong (dibawah 10%), maka pengambilan arus listrik dari baterai akan diputuskan oleh *controller*, maka peralatan listrik/beban tidak dapat beroperasi. Pada *controller* tipe-tipe tertentu dilengkapi dengan digital meter dengan indikator yang lebih lengkap, untuk memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada sistem pembangkit listrik tenaga surya tersebut (Damanik et al., 2021).

2.9 Baterai

Baterai adalah alat yang dapat menyimpan energi kimia dan menjadikannya energi listrik bila diperlukan. Baterai telah dikenal luas dalam penggunaannya sebagai sumber energi benda-benda elektronik seperti mainan anak, lampu senter, dan lain-lain. Keunggulan baterai sebagai sumber energi listrik adalah kemudahannya untuk dibawa-bawa (Dian Furqani Alifyanti, 2018).



Gambar 2.24 Baterai

Listrik yang dihasilkan oleh sebuah baterai muncul akibat adanya perbedaan potensial energi listrik kedua buah elektrodanya. Perbedaan potensial ini dikenal dengan potensial sel atau gaya gerak listrik (ggl). Untuk melengkapireaksi dalam sebuah baterai dibutuhkan media transfer muatan dan sirkuit luar sebagai jalur alir listrik. Baterai yang digunakan saat ini mempunyai perbedaan yang besar dengan baterai generasi awal.

Dari segi konstruksi, baterai generasi awal mempunyai ukuran yang besar dan mempunyai komponen-komponen yang rawan akan kerusakan. Baterai sekarang mempunyai ukuran yang kecil dan sebagian besar komponennya padat, sehingga lebih aman. Dari segi kapasitas energi, baterai sekarang mempunyai rasio energi terhadap massa yang jauh lebih besar dibandingkan baterai generasi awal (Dian Furqani Alifyanti, 2018).

2.9.1 Jenis-jenis Baterai

Ada beberapa jenis baterai, yaitu :

a. Baterai Asam

Baterai asam yang bahan elektrolitnya (sulfuric acid = H_2SO_4). Didalam baterai asam, elektroda terdiri dari plat timah peroksida PbO_2 sebagai anoda (kutub positif) dan timah murni katoda (kutub negatif).

b. Baterai Alkali

Baterai alkali bahan elektrolitnya adalah larutan alkali yang terdiri dari :

1. *Nickel iron alkaline battery Ni-Fe Battery*
2. *Nickel cadmium alkaline battery Ni Cd*

Baterai pada umumnya yang paling banyak digunakan adalah baterai alkali. Besarnya kapasitas baterai tergantung dari banyaknya bahan aktif pada plat positif maupun plat negatif yang bereaksi, dipengaruhi oleh jumlah plat tiap tiap sel, Ukuran dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai. Kapasitas energi suatu baterai dinyatakan dalam ampere jam (Ah), misalkan kapasitas 100 Ah 12 volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 ampere selama 20 jam pemakaian. Besar kecilnya tegangan baterai ditentukan oleh banyak sedikitnya sel baterai yang ada didalamnya. Sekalipun demikian, arus hanya akan mengalir bila ada konduktor dan beban yang dihubungkan ke baterai. Kapasitas baterai menunjukkan kemampuan baterai untuk mengeluarkan arus (*discharging*) selama waktu tertentu (Pasaribu & Reza, 2021).

Pada saat baterai diisi (*charging*), terjadilah penimbunan muatan listrik. Jumlah maksimum muatan listrik yang dapat ditampung oleh baterai disebut kapasitas baterai dan dinyatakan dalam bentuk ampere dam (*Ampere hour*) (Hamid et al., 2016). Kapasitas baterai dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini :

$$N \text{ (Ah)} = I \text{ (ampere)} \times t \text{ (hours)} \quad (2.1)$$

Dimana :

N = kapasitas baterai aki

I = kuat arus (*ampere*)

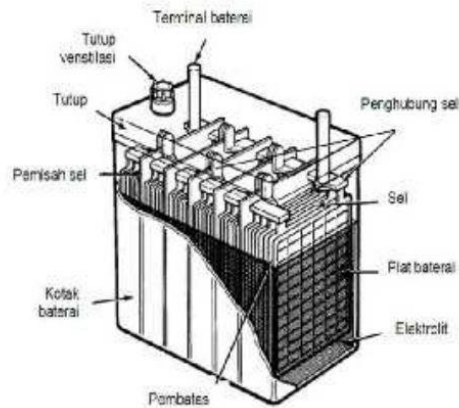
t = waktu (jam/*sekon*)

2.9.2 Kontruksi Baterai

Komponen – komponen baterai terdiri atas :

- a. Kotak baterai
- b. Elektrolit baterai
- c. Sumbat Ventilasi
- d. Plat positif dan plat negatif
- e. Separator

- f. Lapisan serat gelas (*Fiber Glass*)
- g. Sel baterai

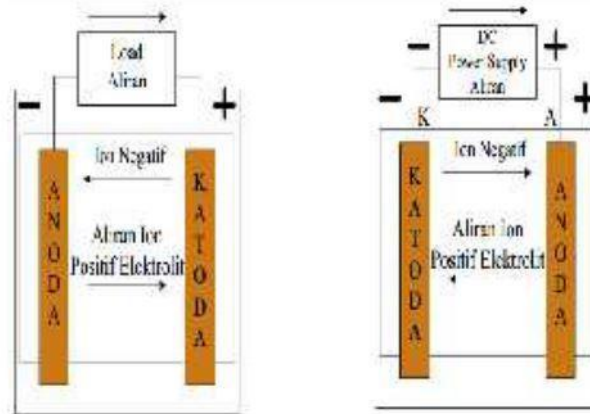


Gambar 2.25 Kontruksi baterai

2.9.3 Prinsip Kerja Baterai

Baterai merupakan perangkat yang mampu menghasilkan tegangan Dc (*Disc Current*), yaitu dengan cara mengubah energi kimia yang terkandung didalamnya menjadi energi listrik melalui reaksi elektro kimia, Redoks (Reduksi-Oksidasi). Baterai terdiri dari beberapa sel listrik, sel listrik tersebut menjadi penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Sel baterai tersebut terdiri dari elektroda negatif dan elektroda positif. Elektroda negatif disebut katoda, yang berfungsi sebagai pemberi elektron. Elektroda positif disebut anoda, berfungsi sebagai penerima elektron. Antara anoda dan katoda akan mengalir arus yaitu dari kutub positif ke kutub negatif. Sedangkan elektron akan mengalir dari kutub negatif ke kutub positif (Pasaribu & Reza, 2021).

1. Proses pengosongan pada sel berlangsung menurut gambar 2.12. jika sel dihubungkan dengan beban maka, elektron mengalir dari anoda melalui beban katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif akan mengalir ke katoda.
2. Proses pengisian menurut gambar 2.12 dibawah adalah bila sel yang dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut :



Gambar 2.26 Proses pengosongan dan pengisian baterai

- Aliran electron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui *power supply* ke katoda.
- Ion – ion negative mengalir dari katoda ke anoda.

Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda jadi, reaksi kimia pada saat pengisian aalah kebalikan dari saat pengosongan(Pasaribu et al., 2020).

2.10 Inverter

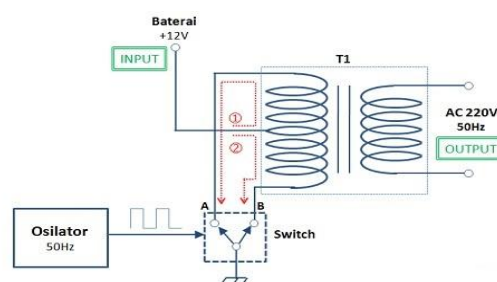
Inverter atau biasanya disebut dengan Power Inverter adalah suatu rangkaian atau perangkat elektronika yang dapat mengubah arus listrik searah (DC) ke arus listrik bolak-balik (AC) pada tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan perancangan rangkaiannya. Sumber-sumber arus listrik searah atau arus DC yang merupakan Input dari Power Inverter tersebut dapat berupa Baterai, Aki maupun Sel Surya (*Solar Cell*). Inverter ini akan sangat bermanfaat apabila digunakan di daerah-daerah yang memiliki keterbatasan pasokan arus listrik AC. Karena dengan adanya Power Inverter, kita dapat menggunakan Aki ataupun Sel Surya untuk menggerakkan peralatan-peralatan rumah tangga seperti Televisi, Kipas Angin, Komputer atau bahkan Kulkas dan Mesin Cuci yang pada umumnya memerlukan sumber listrik AC yang bertegangan 220V ataupun 110 (Nasution & Hasibuan, 2018).



Gambar 2.27 Inveter

Bentuk-bentuk Gelombang yang dapat dihasilkan oleh Power Inverter diantaranya adalah gelombang persegi (*square wave*), gelombang sinus (*sine wave*), gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*) dan gelombang modulasi pulsa lebar (*pulse width modulated wave*) tergantung pada desain rangkaian inverter yang bersangkutan. Namun pada saat ini, bentuk-bentuk gelombang yang paling banyak digunakan adalah bentuk gelombang sinus (*sine wave*) dan gelombang sinus yang dimodifikasi (*modified sine wave*). Sedangkan Frekuensi arus listrik yang dihasilkan pada umumnya adalah sekitar 50Hz atau 60Hz dengan Tegangan Output sekitar 120V atau 240V. Output Daya listrik yang paling umum ditemui untuk produk-produk konsumen adalah sekitar 150 watt hingga 3000 watt (Nasution & Hasibuan, 2018).

Sederhananya, suatu Power Inverter yang dapat mengubah arus listrik DC ke arus listrik AC ini hanya terdiri dari rangkaian Osilator, rangkaian Saklar (*Switch*) dan sebuah Transformator (trafo) CT seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.28 Prinsip Kerja Rangkain Inverter

Sumber daya yang berupa arus listrik DC dengan tegangan rendah (contoh 12V) diberikan ke Center Tap (CT) Sekunder Transformator sedangkan dua ujung Transformator lainnya (titik A dan titik B) dihubungkan melalui saklar (*switch*)

dua arah ke *ground* rangkaian. Jika saklar terhubung pada titik A akan menyebabkan arus listrik jalur 1 mengalir dari terminal positif baterai ke *Center Tap Primer Transformator* yang kemudian mengalir ke titik A Transformator hingga ke *ground* melalui saklar. Pada saat saklar dipindahkan dari titik A ke titik B, arus listrik yang mengalir pada jalur 1 akan berhenti dan arus listrik jalur 2 akan mulai mengalir dari terminal positif baterai ke *Center Tap Primer Transformator* hingga ke *ground* melalui Saklar titik B. Titik A, B dan Jalur 1, 2.

Peralihan ON dan OFF atau A dan B pada Saklar (*Switch*) ini dikendalikan oleh sebuah rangkaian Osilator yang berfungsi sebagai pembangkit frekuensi 50Hz yaitu mengalihkan arus listrik dari titik A ke titik B dan titik B ke titik A dengan kecepatan 50 kali per detik. Dengan demikian, arus listrik DC yang mengalir di jalur 1 dan jalur 2 juga bergantian sebanyak 50 kali per detik juga sehingga ekuivalen dengan arus listrik AC yang berfrekuensi 50Hz. Sedangkan komponen utama yang digunakan sebagai *Switch* di rangkaian *Switch Inverter* tersebut pada umumnya adalah MOSFET ataupun Transistor.

Sekunder Transformator akan menghasilkan Output yang berupa tegangan yang lebih tinggi (contohnya 120V atau 240V) tergantung pada jumlah lilitan pada kumparan sekunder Transformator atau rasio lilitan antara Primer dan Sekunder Transformator yang digunakan pada Inverter tersebut.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

3.1.1 Waktu

Waktu pelaksanaan ini dilakukan dalam waktu 3 bulan terhitung dari tanggal 1 Juli 2021 sampai 8 Oktober 2021. Dimulai dengan persetujuan proposal ini sampai selesai penelitian. Penelitian ini diawali dengan kajian awal (tinjauan pustaka), pengumpulan data, survei tempat lokasi untuk ilustrasi dengan prototype pembuatan alat, pembelian alat, analisa data, dan terakhir kesimpulan dan saran. Rincian dari penelitian ini seperti pada tabel berikut.

3.1.2 Tempat

Penelitian dilaksanakan di Kampus Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jl. Kapten Muchtar Basri No.3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara.

3.1 Tabel Jadwal Penelitian

No	Uraian	Bulan Ke					
		1	2	3	4	5	6
1	Kajian literatur						
2	Penyusunan proposal penelitian						
3	Penulisan Bab 1 sampai Bab 3						
4	Seminar Proposal						
5	Penelitian dan pengambilan data						
6	Pembelian alat						
7	Analisa data						
8	Seminar hasil						
9	Sidang akhir						

3.2 Peralatan dan Bahan

Untuk mendapatkan hasil penelitian dari performa kerja PLTS dan PLTB diperlukan alat dan bahan yang mendukung penelitian ini. Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian sebagai berikut.

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian diantaranya sebagai berikut :

1. *Multitester*

Alat yang digunakan untuk mengukur besarnya tegangan dari rangkaian *multitester* yang digunakan yaitu Analog dengan range tegangan DC 200 mV sampai 600 V.

2. *Saklar*

Berfungsi sebagai penghubung dan pemutus arus listrik.

3. *Stop kontak*

Sebagai penghubung arus listrik ke beban.

4. *Lampu led 5 watt*

Sebagai beban percobaan

5. *Fitting lampu*

Sebagai tempat dudukan lampu

6. *Tools box*

Peralatan pendukung seperti, tang pengelupas kabel, tang skun, tang pemotong kabel, tang cucut, tang kombinasi, obeng plus minus dan lain sebagainya.

3.2.2 Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian diantaranya sebagai berikut.

1. Panel sel surya

Sebagai mengubah cahaya menjadi listrik. Panel sel surya yang digunakan ada satu jenis merek yaitu *plycrystalline* merek surya 50 Wp.



Gambar 3.1 Panel surya jenis *polycrystalline*

2. Turbin Ventilator

Sebagai pengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada ventilator, lalu putaran ventilator digunakan untuk memutar motor dc, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.



Gambar 3.2 Turbin ventilator

3. Motor DC

Sebagai pengubah energi listrik menjadi energi kinetik atau gerakan *mition* yang dihasilkan dari putaran turbin angin.



Gambar 3.3 Motor DC

4. Relay

Sebagai peralatan Saklar (*Switch*) yang dioperasikan secara listrik.



Gambar 3.4 relay

5. Solar charge controller

Sebagai mengontrol proses pengisian muatan listrik dari panel surya kedalam baterai (aki) dan juga pengosongan muatan listrik dari baterai pada beban seperti inverter, lampu, TV dan lain – lain.



Gambar 3.5 Solar charge controller

6. Inverter

Sebagai perangkat yang digunakan untuk mengubah arus DC dari sel surya dan baterai menjadi arus AC dengan tegangan 200 Volt yang kemudian akan digunakan pada listrik komersial seperti lampu dan televisi.



Gambar 3.6 Inverter

7. MCB DC

Sebagai breaker dari solar panel ke *controller*, dari *controller* ke aki, dari aki ke inverter dan dari *controller* ke inverter. Untuk menghindari terjadinya hubungan singkat/ konslet.



Gambar 3.7 MCB DC

8. Baterai

Sebagai untuk menyimpan energi listrik.



Gambar 3.8 Baterai

9. Kabel penghubung

Sebagai penghubung antara alat ukur dengan yang lainnya pada rangkaian panel surya. Kabel yang digunakan yaitu NYAF 1,5 SQMM 450/750.



Gambar 3.9 Kabel penghubung

10. Arduino uno

Sebagai memprogram mikrokontroler, membuat alat-alat canggih berbasis mikrokontroler.



Gambar 3.10 Arduino uno

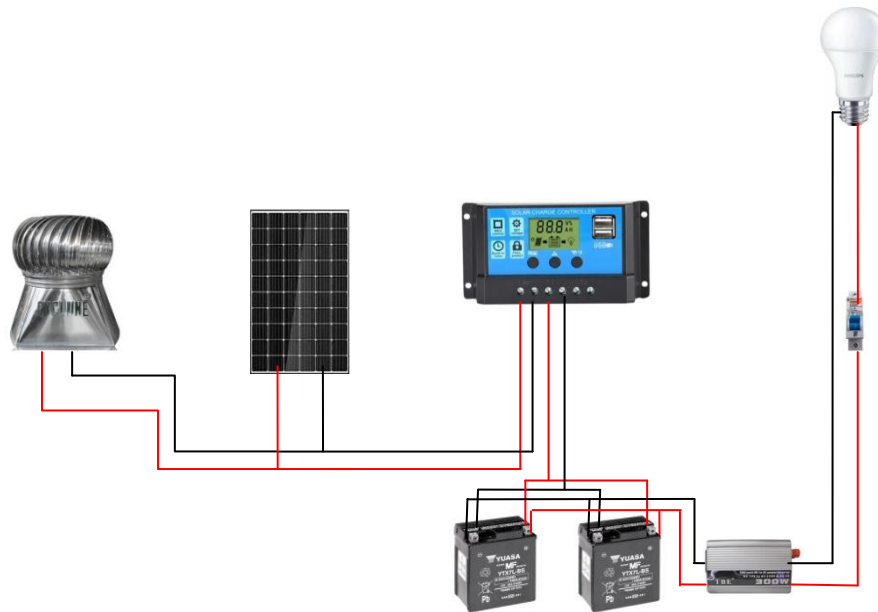
11. Sensor tegangan

Sebagai nilai tegangan antar fasa sehingga dapat mengetahui besar tegangan fasa-fasa.

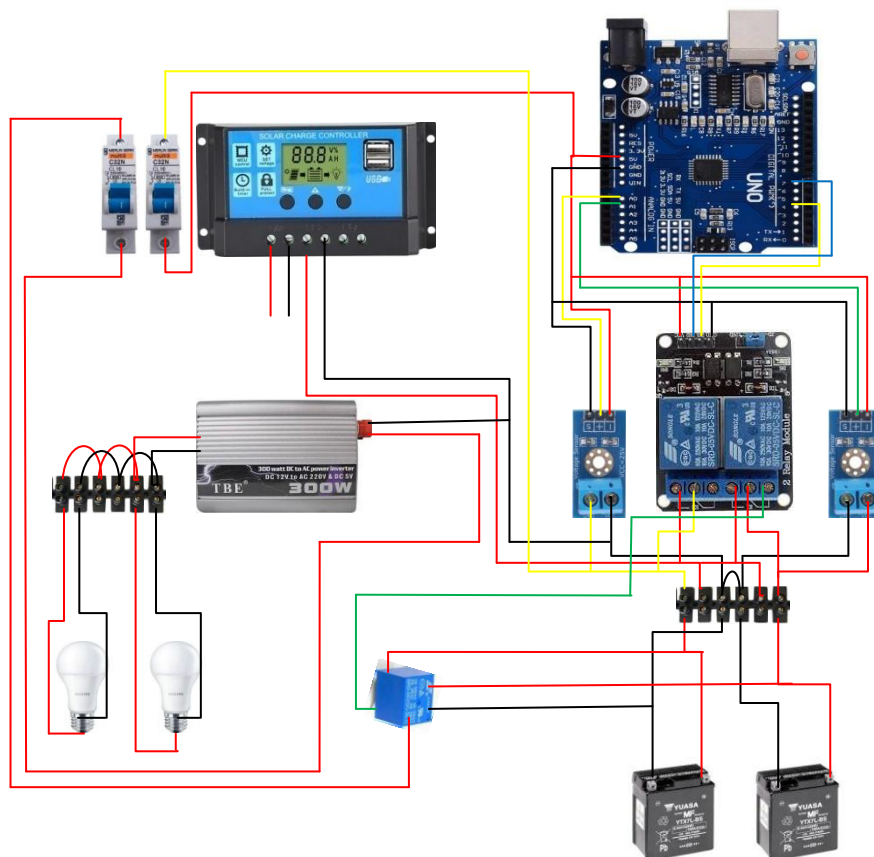


Gambar 3.11 Sensor tegangan

3.3 Bagan Rangkaian



Gambar 3.12 Bagan rangkaian pada panel surya dan ventilator



Gambar 3.13 Perancangan rangkaian keseluruhan

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Metode Pengambilan Data

Proses pengambilan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

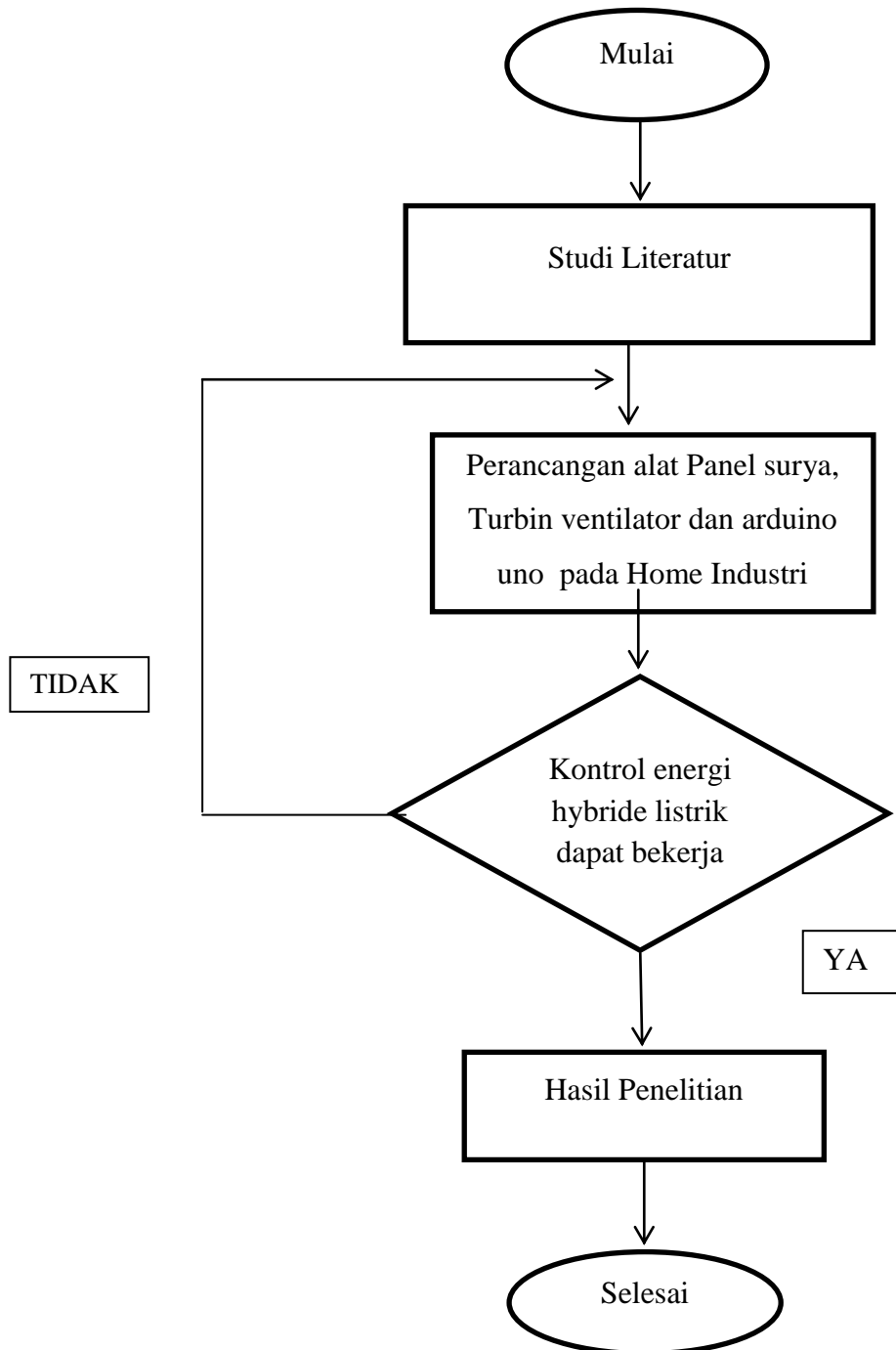
1. Pengambilan data pada tahap proses pengubahan energi panas matahari menjadi energi listrik. Melalui tahapan ini energi matahari diserap oleh alat khusus yaitu panel surya berkapasitas 50 wp kemudian diubah menjadi energi listrik dan disimpan ke baterai. Energi yang disimpan ke baterai adalah energi DC.
2. Pengambilan data pada tahap proses pengubahan energi angin menjadi energi listrik. Melalui tahapan ini aliran udara panas didalam ruangan, bahwa udara bergerak dan mengalir dari suhu rendah kesuhu yang lebih tinggi dan dihisap oleh turbin ventilator menggunakan energi angin kemudian menjadi energi listrik dan disimpan ke baterai. Energi yang disimpan ke baterai adalah energi DC.
3. Pengambilan data pada tahap proses penyimpanan daya. ketika daya yang tersimpan dibaterai terisi, kemudian dikonfigurasi dari arus DC menjadi arus AC dengan menggunakan Inverter yang kemudian di sambungkan ke beban.
4. Pengambilan data selanjutnya disambungkan ke beban, memiliki 2 baterai yang 1 sebagai cadangan. Daya baterai 1 otomatis akan berkurang, ketika daya baterai 1 sudah mencapai batas yang ditentukan yaitu 10 volt maka secara otomatis akan memindahkan dari baterai 1 ke baterai 2 sebagai daya untuk beban dan baterai 1 akan melakukan pengisian daya kembali dan begitu juga sebaliknya, jika daya baterai 2 sudah mencapai batas yang ditentukan yaitu 10 volt maka daya baterai 1 akan menjadi daya untuk beban.

3.4.2 Metode pengolahan data

Metode pengolahan data yang dilakukan urutan penelitian dalam alur diagram seperti 3.1 yakni penelitian diawali dari waktu dan tempat, 3.1 peralatan dan bahan 1,2, pada saat PLTS dan PLTB bekerja kemudian menjadi energi listrik dan disimpan ke baterai. Arduino uno otomatis akan bekerja apabila

baterai sudah mencapai batas yang ditentukan yaitu 10 volt dengan kapasitas baterai 12 volt.

3.5 Bagan Aliran Penelitian



Gambar 3.14 Bagan Alir Peneletian

BAB 4

Hasil dan Pembahasan

4.1 Pembahasan

PLTS merupakan sebuah pembangkit listrik terbarukan yang saat ini berkembang pesat karena didukung oleh industri yang membangun sel-sel surya yang efisien dengan harga yang semakin besar. Sistem PLTS sudah sangat mudah diperoleh secara individu karena murah dan minim perawatan. Konstruksi PLTS juga paling sederhana dibanding dengan pembangkit listrik lainnya. PLTS sangat cocok digunakan untuk daerah tropis yang mendapat pancaran sinar matahari sepanjang tahun. Satu-satunya kelemahan PLTS adalah tidak dapat menghasilkan listrik di malam hari atau cuaca mendung. Solusi untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan sistem *hybrid*.

Disini sistem *hybrid* menggunakan PLTS dan PLTB. Pemanfaatan energi angin sebenarnya sudah dilakukan sejak seribu tahun yang lalu, cara kerja PLTB memiliki prinsip yang sama dengan PLTA. Perbedaannya, pada PLTB, energi kinetik yang dimanfaatkan untuk memutar turbin adalah energi kinetik yang berasal dari aliran angin. Bentuk sudu turbin dirancang dengan memperhitungkan sifat-sifat aerodinamika yang umumnya dikenal dengan nama aerofoil.

Tujuan pengembangan teknologi hybrid ini diantaranya untuk mendapatkan daya guna optimal dengan memadukan kelebihan-kelebihan dari dua atau lebih jenis sistem pembangkit tenaga yang bekerja secara terpadu sebagai suatu sistem yang kompak. Sistem-sistem yang mendukung Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid adalah sistem sel surya, sistem konversi energi, sistem baterai, sistem inverter, dan sistem kontrol. Sensor tegangan berfungsi membaca nilai tegangan suatu rangkaian. Arduino uno dapat membaca nilai tegangan dengan memanfaatkan pin analog. *Relay* memutus dan menyambung aliran listrik dalam rangkaian. Bisa dibidang fungsi *relay* yaitu sebagai sakelar otomatis.

Hasil penelitian adalah sebuah sistem yang berfungsi sebagai pengontrolan berbasis arduino uno Atmega 328P untuk perpindahan cadangan baterai secara otomatis yaitu pada home industri, sistem *hybride* terutama PLTB disini

menggunakan ventilator sebagai penggerak dan dimanfaatkan sebagai mengisap udara dan memberi udara didalam ruangan untuk menggerakkan motor sebagai tenaga listrik, panel surya yang digunakan berukuran 50wp dan kapasitas baterai 7000 mAh. Relay sebagai *switch* untuk memindahkan baterai 1 ke baterai 2 dengan dilengkapi sebuah sensor tegangan digunakan untuk memberi sinyal kepada arduino uno per 3 detik melalui monitor dengan setingan 10 volt bahwa baterai sudah mencapai tegangan 10 volt.

Sampai tahap ini ,proses perancangan dan perakitan telah selesai dan tahap berikutnya adalah uji coba sistem. Pengujian akan dilakukan bertahap mulai dari pengujian masing-masing komponen hingga pengujian secara keseluruhan. Gambar 4-1 berikut ini adalah bentuk prototipe yang dibangun dengan komponen yang ada.



a. Tampak luar



b. Tampak dalam

Gambar 4.1 Rancangan miniatur untuk simulasi

4.2 Pengujian sistem

4.2.1 Pengujian Program Relay

Pengujian program relay dengan menggunakan Arduino IDE untuk kode program dapat dilihat dibawah ini :

```
const int relay_1 = 4;

const int relay_2 = 7;

void setup() {

  relay1 : pinMode (4,OUTPUT);

  relay2 : pinMode (7,OUTPUT);

}

void loop() {

  digitalWrite (4,LOW);

  digitalWrite (7,HIGH);

  delay (3000);

  digitalWrite (7,LOW);

  digitalWrite(4,HIGH);

  delay (3000);}


```

4.2.1.1 Pengujian terhadap *Relay*

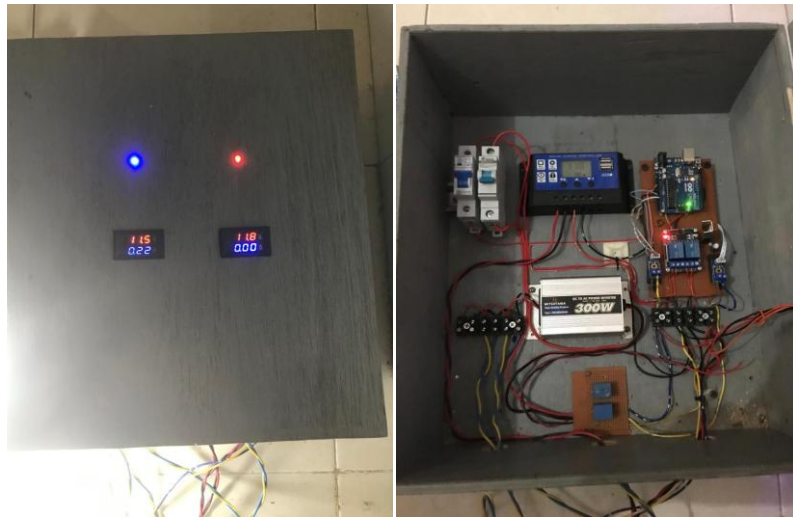
Driver relay digunakan untuk perantara antara mikrokontroler dengan baterai pada alat ini agar mikrokontroler dapat memicu tegangan dari baterai. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat mikrokontroler dapat memicu pergerakan melalui *driver relay*.

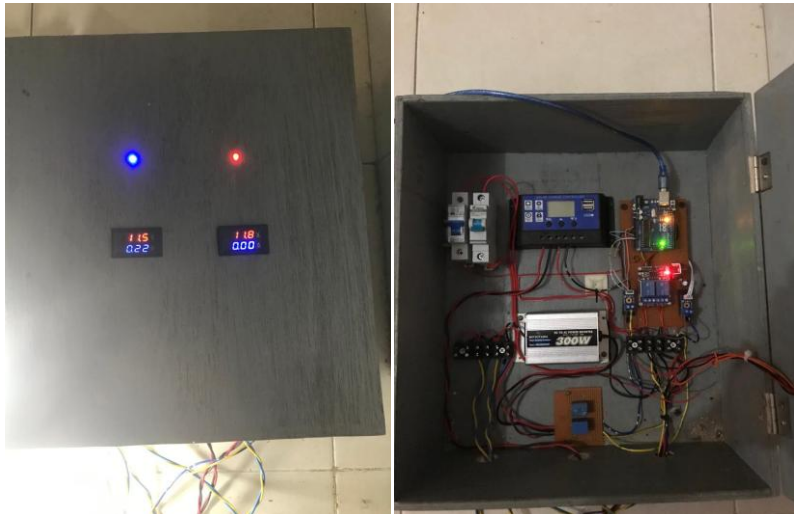
Tabel 4.1 Hasil pengujian Relay

NO	Pin Input	Input	Kondisi baterai	Volt
1	Input 1	LOW	Baterai 1 : On	Baterai 1 : 12
	Input 2	HIGH	Baterai 2 : Off	Baterai 2 : 11,8
2	Input 1	HIGH	Baterai 1 : Off	Baterai 1 : 10.4
	Input 2	LOW	Baterai 2 : On	Baterai 2 : 11,8

Keterangan :

Ketika relay pertama kondisi on dan relay kedua off maka baterai pertama juga on, baterai kedua off dan kapasitas baterai dari monitor menunjukkan 12 volt. Begitu juga relay kedua kondisi on dan relay pertama off maka baterai kedua juga on, baterai pertama off dan kapasitas baterai dari monitor menunjukkan 11,8 volt.

**Gambar 4.2** Pengujian relay pertama



Gambar 4.3 Pengujian relay kedua

4.2.2 Pengujian Program Sensor Tegangan

Pengujian program sensor tegangan dengan menggunakan Arduino IDE untuk kode program dapat dilihat dibawah ini :

```

const int voltage_sensor_1 = A0;

const int voltage_sensor_2 = A1;

float voltage_sensor_raw_1;

float v_beban_1;

float voltage_sensor_raw_2;

float v_beban_2;

void setup() {

  Serial.begin (9600);

  pinMode (voltage_sensor_1, INPUT);

  pinMode (voltage_sensor_2, INPUT);

}

void loop() {

```

```
Serial.print("NILAI TEGANGAN BEBAN 1 SAAT INI:");  
  
Serial.println (v_beban_1);  
  
delay (3000);  
  
Serial.print("NILAI TEGANGAN BEBAN 2 SAAT INI:");  
  
Serial.println (v_beban_2);  
  
delay (3000);  
  
}  
  
void baca_sensor ()  
  
{  
  
voltage_sensor_raw_1 = analogRead(voltage_sensor_1);  
v_beban_1 = map(voltage_sensor_raw_1,0,1023,0,2500);  
v_beban_1 = v_beban_1/100;  
  
voltage_sensor_raw_2 = analogRead(voltage_sensor_2);  
v_beban_2 = map(voltage_sensor_raw_2,0,1023,0,2500);  
v_beban_2 = v_beban_2/100;  
  
}
```

4.2.2.1 Pengujian terhadap Sensor tegangan

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil keluaran sensor tegangan yang telah dibaca oleh mikrokontroler. Berikut ini adalah hasil dari pengujian sensor tegangan yang dibaca oleh mikrokontroler.

Tabel 4.2 Hasil pengujian sensor tegangan

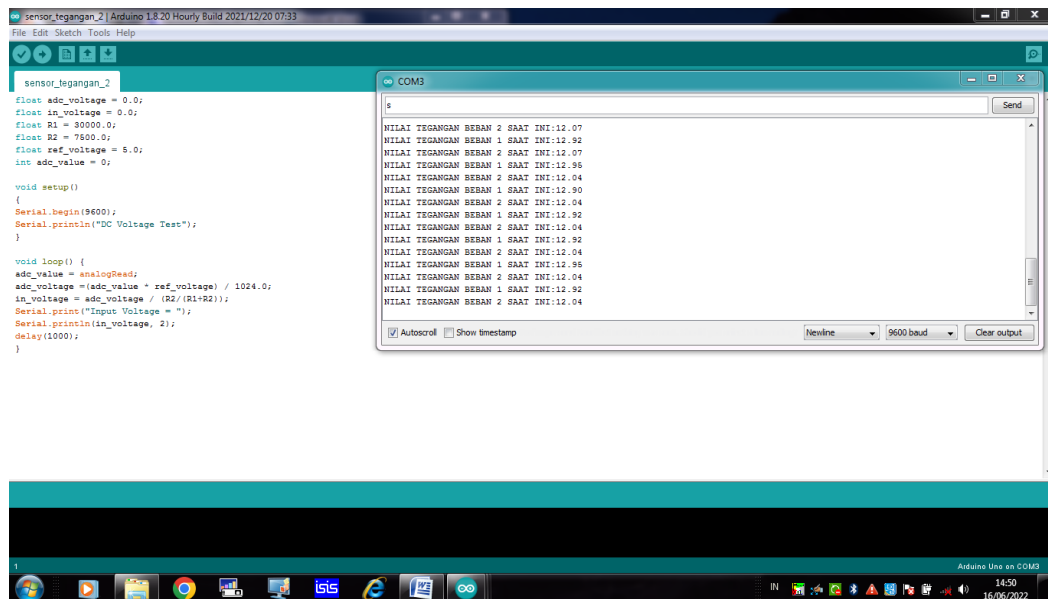
Tegangan masukan	Tegangan yang terbaca mikrokontroler
12V	12.09V
11V	11.05V
10.5V	10.5V
10 V	10.04V

Keterangan :

Dari hasil pengujian sensor tegangan dan dibaca oleh mikrokontroler, saat monitor dari panel yaitu 12 volt maka monitor dari mikrokontroler adalah 12,09 volt, berarti menunjukkan bahwa monitor panel dan mikrokontroler tersebut stabil.



Gambar 4.4 Monitor panel



Gambar 4.5 Monitor mikrokontroler

4.2.3 Pengujian kontroler Arduino Uno Atmega328

Pengujian ic mikrokontroler dilakukan untuk menguji dan mengetahui apakah rangkaian kontroler telah bekerja dengan baik atau tidak. Untuk itu dilakukan perbandingan antara program yang dibuat dengan hasil pengukuran. Jika terdapat perbedaan antara logika keluaran antara program dan pengukuran indikasi kalau ada kesalahan dalam rangkaian.

Program dibuat dan diunggah ke IC mikrokontroler kemudian dijalankan, maka hasil pengukuran tegangan masing-masing pin sebagai berikut:

Tabel 4.3 Hasil pengujian mikrokontroler Arduino Uno

Pin	Vout(V)	Logika
0	0,01	0
1	5,01	1
2	0,01	0
3	5,02	1
4	0,01	0
5	5,00	1
6	0,01	0
7	5,00	1
8	0,02	0
9	5,01	1
10	0,00	0
11	5,02	1
12	0,01	0
13	5,01	1
A0	0,01	0
A1	5,01	1
A2	0,01	0
A3	5,01	1
A4	0,01	0
A5	5,02	1

Analisa :

setelah di verifikasi berdasarkan logika keluaran tiap port dan dibandingkan dgn data program maka terlihat tidak ada perbedaan antara program dan output pin. Hasil menunjukkan adanya kesamaan, sehingga dapat dinyatakan rangkaian kontroler telah bekerja dengan baik.

4.2.4 Pengujian program Keseluruhan Rangkaian

```

const int voltage_sensor_1 = A0;

const int voltage_sensor_2 = A1;

const int relay_1 = 4;

const int relay_2 = 7;

float voltage_sensor_raw_1;

float v_beban_1;

float voltage_sensor_raw_2;

float v_beban_2;

void setup()
{
  Serial.begin (9600);

  pinMode (voltage_sensor_1, INPUT);

  pinMode (voltage_sensor_2, INPUT);

  relay1 : pinMode (4,OUTPUT);

  relay2 : pinMode (7,OUTPUT);

}

void loop() {

  baca_sensor ();

```

```
Serial.print("NILAI TEGANGAN BEBAN 1 SAAT INI:");  
  
Serial.println (v_beban_1);  
  
delay (3000);  
  
Serial.print("NILAI TEGANGAN BEBAN 2 SAAT INI:");  
  
Serial.println (v_beban_2);  
  
delay (3000);  
  
if (v_beban_1>=12.30){  
  
    digitalWrite (4,LOW);  
  
}  
  
  
  
if (v_beban_1<=10.01){  
  
    digitalWrite (7,HIGH);  
  
}  
  
  
  
if (v_beban_2>=12.30){  
  
    digitalWrite (7,LOW);  
  
}  
  
  
  
if (v_beban_2<=10.01){  
  
    digitalWrite (4,HIGH);  
  
}  
  
  
  
}
```

```

void baca_sensor ()
{

    voltage_sensor_raw_1 = analogRead(voltage_sensor_1);
    v_beban_1 = map(voltage_sensor_raw_1,0,1023,0,2500);
    v_beban_1 = v_beban_1/100;

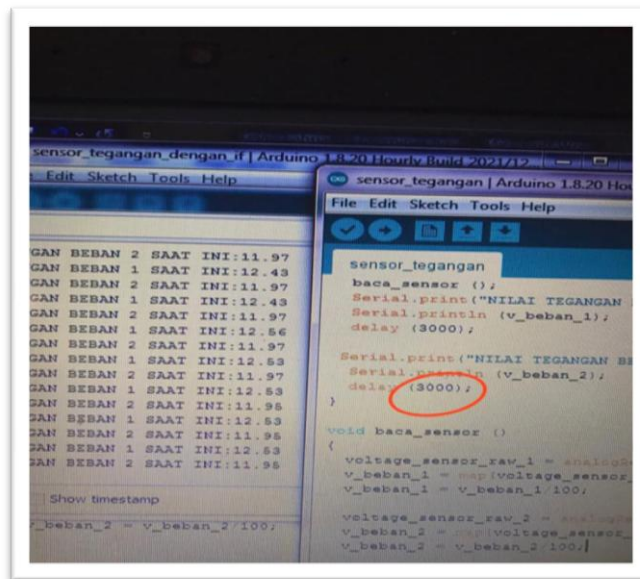
    voltage_sensor_raw_2 = analogRead(voltage_sensor_2);
    v_beban_2 = map(voltage_sensor_raw_2,0,1023,0,2500);
    v_beban_2 = v_beban_2/100;

}

```

4.2.5 Hasil Pengujian Rangkaian Backup Baterai

Pengujian keseluruhan dilakukan setelah semua komponen berhasil dipasang pada rangkaian utama yaitu mikrokontroler Arduino Uno Atmega 328. Pengujian dilakukan dengan cara menjalankan sistem kemudian mengamati fungsi kerja dari sistem selama pengujian. Saat diaktifkan sistem akan mulai bekerja, Pengujian dilakukan secara simulasi yaitu dengan menghubungkan pembangkit ke *solar charger* lalu ke baterai. Saat mulai mikrokontroler akan menghidupkan komponen – komponen yaitu sensor tegangan dan *relay*, yang mana sensor tegangan akan bekerja memberikan sinyal kepada arduino, berapa volt didalam baterai saat dipakai dengan durasi yaitu per 3 detik. Disini tegangan minimal yang sudah disetting dimikrokontroler yaitu 10 volt, pemakaian sudah menunjukkan 10 volt maka mikrokontroler memberi sinyal kepada *relay* yang disini bekerja sebagai *switch*, akan bekerja memindahkan baterai 1 ke baterai 2 dan sebaliknya, apabila baterai 2 saat pemakaian menunjukkan 10 volt maka mikrokontroler memberi sinyal kepada *relay* akan memindahkan baterai 2 ke baterai 1.



Gambar 4.6 Monitor per 3 detik dari sensor tegangan

Tabel 4.4 Hasil pengujian Keseluruhan

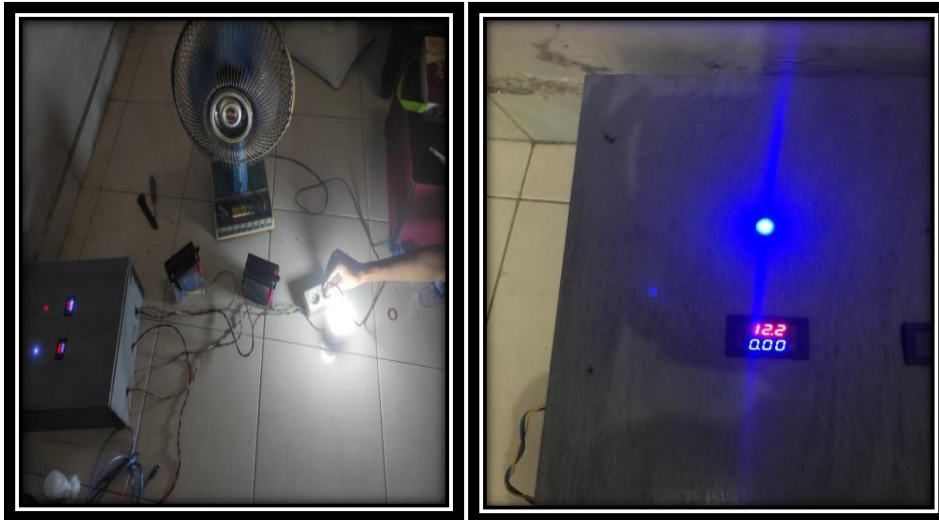
NO	Pin Input	Input	Kondisi baterai	Volt	Beban Keluar	Waktu
1	Input 1 Input 2	LOW HIGH	Baterai 1 : On Baterai 2 : Off	Baterai 1 : 12.2 Baterai 2 : 12,6	Percobaan 1 lampu 5 watt : 0.10 A	200 menit
2	Input 1 Input 2	HIGH LOW	Baterai 1 : Off Baterai 2 : On	Baterai 1 : 12 Baterai 2 : 10,3	Percobaan 2 lampu 10 watt : 0.22 A	100 menit
3	Input 1 Input 2	LOW HIGH	Baterai 1 : On Baterai 2 : Off	Baterai 1 : 10.4 Baterai 2 : 12,6	Percobaan 3 Kipas angin 46 watt Lampu 5 watt : 0.96 A	20 menit

Keterangan :

Dari hasil di tabel percobaan pertama menggunakan beban yaitu lampu LED 5 watt dengan kondisi baterai 12.2 volt, lampu memiliki beban keluar 0.10 A. Disini tegangan minimal yang sudah disetting dimikrokontroler yaitu 10 volt, dari pemakaian lampu tersebut dengan kondisi baterai 12.2 volt dan beban keluaran lampu 0.10 A bisa dipakai kurang lebih 200 menit.

Kemudian percobaan kedua menggunakan beban yaitu lampu LED 10 watt dengan kondisi baterai 12 volt, lampu memiliki beban keluar 0.22 A. Disini tegangan minimal yang sudah disetting dimikrokontroler yaitu 10 volt, dari pemakaian lampu tersebut dengan kondisi baterai 12 volt dan beban keluaran lampu 0.22 A bisa dipakai kurang lebih 100 menit.

Percobaan ketiga disini menggunakan kipas angin 46 watt dan lampu LED 5 watt dari pemakaian tersebut dengan kondisi baterai 12.6 volt beban keluaran kipas angin dan lampu 0.96 bisa dipakai kurang lebih 20 menit. Dari kondisi tersebut tergantung baterai yang kita gunakan, semakin besar kapasitas baterai yang kita gunakan semakin lama pemakaian tersebut.



Gambar 4.7 percobaan 1



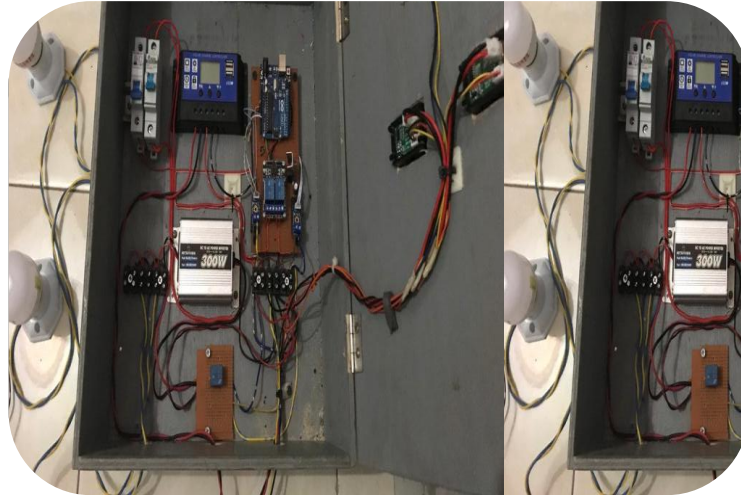
Gambar 4.8 percobaan 2



Gambar 4.9 percobaan 3



Gambar 4.10 Rangkaian Keseluruhan



Gambar 4.11 Rangkaian dalam box



Gambar 4.12 Ventilator dan Panel Surya



a. Tampak samping kiri



b. Tampak samping kanan



c. Tampak dalam

Gambar 4.13 Miniatur prototipe

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Penerapan sistem kontrol berbasis Arduino Uno Atmega 328 ini memiliki ruangan khusus berbentuk persegi dengan ukuran lebar 40 cm x panjang 40 cm tinggi 15 cm. Untuk sistem otomatis pada pembangkit PLTS dan PLTB yaitu arduino uno dibantu dengan sensor tegangan dan *relay* yang masing – masing memiliki fungsi berbeda sensor tegangan berfungsi memberi sinyal daya baterai ke mikrokontroler dan *relay* berfungsi sebagai *switch* perpindahan antara baterai 1 dan baterai 2, berdasarkan hasil dirancang proses backup baterai dan batas minimal sampai penuh, bila beban yaitu kipas angin dan lampu LED 5 watt dalam waktu 20 menit, baterai akan turun di 10 volt selain itu baterai secara otomatis berpindah dan mengisi baterai melalui PLTS dan PLTB sampai 12 volt *full*. yang dilakukan dengan mengkombinasikan Arduino Uno, *relay*, sensor tegangan dengan memiliki tegangan output masing – masing pada komponen, maka *relay* dan sensor akan dapat bekerja secara otomatis dengan coding yang telah diprogram dari Arduino Uno Atmega328.
2. Perancangan pemograman dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE spesifikasi 1.8 program dibuat dengan secara maksimal penerapan sistem kontrol beban pembangkit berbasis Arduino Uno Atmega 328 dapat dioperasikan dengan baik dan penerangan hidup secara maksimal.

5.2 Saran

1. Dibutuhkan penyempurnaan dan pengembangan lebih jauh agar sistem yang dibuat dapat digunakan lebih maksimal.
2. Semakin besar kapasitas baterai yang kita gunakan semakin lama pemakaian tersebut.
3. Pada saat pengujian, ketelitian dan fokus sangat diutamakan agar pengujian dapat berjalan dengan lancar dan tidak ada hambatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhinov, I. A., & Handaya, D. (2019). Sistem Kontrol Pengisian Baterai pada Penerangan Jalan Umum Berbasis Solar Cell. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 4(1), 93. <https://doi.org/10.31544/jtera.v4.i1.2019.93-98>
- Aryanto, F., Mara, M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(1), 50–59. <https://doi.org/10.29303/d.v3i1.88>
- Atmadi, S., & Fitroh, A. J. (2009). Rancang Bangun Rotor Turbin Angin 10 Kw Untuk Memperoleh Daya Optimum Pada Variasi Jumlah Dan Diameter Sudu. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 7(2).
- Damanik, W. S., Pasaribu, F. I., Lubis, S., & Siregar, C. A. (2021). *Pengujian Modul Solar Charger Control (SCC) Pada Teknologi Pembuangan Sampah Pintar*. 89–93.
- Dian Furqani Alifyanti. (2018). Dian Furqani Alifyanti. *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, 1(1), 79–95.
- Dsl, W., & Hardani, D. N. K. (2018). Analisis Torsi dan Efisiensi pada Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar. *Techno (Jurnal Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Purwokerto)*, 19(2), 79. <https://doi.org/10.30595/techno.v19i2.3070>
- Hamid, R. M., Rizky, R., Amin, M., & Dharmawan, I. B. (2016). Rancang Bangun Charger Baterai Untuk Kebutuhan UMKM. *JTT (Jurnal Teknologi Terpadu)*, 4(2), 130. <https://doi.org/10.32487/jtt.v4i2.175>
- Hasanah, A. W., Hariyati, R., & Qosim, M. N. (2019). Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN. *Energi & Kelistrikan*, 11(1), 17–26. <https://doi.org/10.33322/energi.v11i1.394>
- Hendrayana, H. (2017). Simulasi Sistem Hibrid Pembangkit Energi Surya, Angin, dan Generator Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Daya Energi Terbarukan. *CIRCUIT: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 1(1), 26–

43. <https://doi.org/10.22373/crc.v1i1.1381>

- Hidayanti, D., & Dewangga, G. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Surya dengan Penggerak Otomatis pada Panel Surya. *Eksergi*, 15(3), 93. <https://doi.org/10.32497/eksergi.v15i3.1784>
- Michalopoulos, D. S., & Karagiannidis, G. K. (2008). Two-relay distributed switch and stay combining. *IEEE Transactions on Communications*, 56(11), 1790–1794. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2008.070017>
- Nasution, E. S., & Hasibuan, A. (2018). Pengaturan Kecepatan Motor Induksi 3 Fasa Dengan Merubah Frekuensi Menggunakan Inverter ALTIVAR 12P. *Sistem Informasi ISSN*, 2(1), 25–34.
- Noviyanto, A., Notosudjono, D., & Bangun Fidriansyah, D. (2018). Perancangan Sistem Monitoring Prototipe Pembangkit Hybrid PLTS dengan PLTB Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Online Mahasiswa Teknik Elektro*, 1(1), 1–11.
- Padmika, M., Satriya Wibawa, I. M., & Trisnawati, N. L. P. (2017). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Ventilator Sebagai Penggerak Generator. *Buletin Fisika*, 18(2), 68. <https://doi.org/10.24843/bf.2017.v18.i02.p05>
- Pahlevi, R. (2014). No Pengujian karakteristik panel surya berdasarkan intensitas tenaga surya. *Lincoln Arsyad*, 3(2), 1–46. <http://journal.stainkudus.ac.id/index.php/equilibrium/article/view/1268/1127>
- Pasaribu, F. I., Lubis, S. A., & Alam, S. I. P. (2020). Superkapasitor Sebagai Penyimpan Energi Menggunakan Bahan Graphene. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), 65–72. <https://doi.org/10.30596/rele.v2i2.4419>
- Pasaribu, F. I., & Reza, M. (2021). Rancang Bangun Charging Station Berbasis Arduino Menggunakan Solar Cell 50 WP. *R E L E (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 46–55.
- Purwoto, B. H. (2018). Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi

Alternatif. *Emitor: Jurnal Teknik Elektro*, 18(01), 10–14.
<https://doi.org/10.23917/emitor.v18i01.6251>

Rimbawati, R., Ramadhan, A. T., & ... (2021). Perancangan Automatic Transfer Switch Berbasis Zelio (Aplikasi Pada PLTS Pematang Johar). ... (*Rekayasa Elektrikal Dan ...*), 7–12.
<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE/article/view/7819>

Rimbawati, Rimbawati, Siregar, Z., Yusri, M., & Al Qamari, M. (2021). Penerapan Pembangkit Tenaga Surya Pada Objek Wisata Kampung Sawah Guna Mengurangi Biaya Pembelian Energi Listrik. *Martabe : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 145.
<https://doi.org/10.31604/jpm.v4i1.145-151>

Saputra, D., Iriana, R., & Sebayang, M. (2017). Analisis Ketersediaan Sistem Pembangkit Berbasiskan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Pltb) Dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts). *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 5(1), 1–8.