

LAPORAN PROYEK AKHIR

**RANCANG BANGUN SISTEM AUTOMATIC TRANSFER SWITCH
(ATS) BERBASIS ARDUINO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA SURYA (PLTS) OFF-GRID DENGAN PENDETEKSI
TEGANGAN BATERAI**

EEN NIRMALA

NIM.2120305006

Pembimbing

Dr.Hendri Novia Syamsir,S.T.,M.Eng

PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK

POLITEKNIK CALTEX RIAU

2025

HALAMAN PENGESAHAN
RANCANG BANGUN SISTEM *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH* (ATS) BERBASIS ARDUINO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *OFF-GRID* DENGAN PENDETEKSI TEGANGAN BATERAI

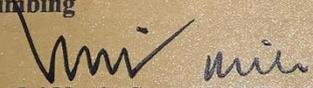
EEN NIRMALA
NIM. 2120305006

Proyek Akhir ini diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T) di Politeknik Caltex Riau

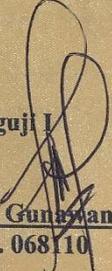
Pekanbaru, Agustus 2025

Disetujui oleh :

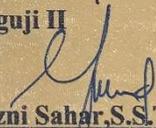
Pembimbing


Dr. Hendri Novia Syamsir, S.T., M.Eng
NIP. 157001

Penguji I


Arif Gunawan, S.T., M.T.
NIP. 068110

Penguji II


Muzni Sahar, S.S.T., M.Eng
NIP. 068205

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Listrik


Muzni Sahar, S.S.T., M.Eng.
NIP. 068205

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam proyek akhir yang berjudul :

“RANCANG BANGUN SISTEM *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS)* BERBASIS ARDUINO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *OFF-GRID* DENGAN PENDETEKSI TEGANGAN BATERAI”

Adalah benar hasil karya saya, dan tidak mengandung karya ilmiah atau tulisan yang pernah diajukan di suatu Perguruan Tinggi.

Setiap kata yang dituliskan tidak mengandung plagiat, pernah ditulis maupun diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam laporan proyek akhir ini dan disebutkan pada daftar pustaka. Saya siap menanggung seluruh akibat apabila terbukti melakukan plagiat.

Pekanbaru, Agustus 2025

Een Nirmala

ABSTRAK

Kebutuhan akan suplai energi listrik yang stabil mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid. Namun, keterbatasan PLTS yang bergantung pada kondisi cuaca memerlukan sistem pendukung berupa Automatic Transfer Switch (ATS) untuk mengalihkan pasokan daya secara otomatis ke sumber cadangan seperti PLN saat tegangan baterai melemah. Proyek akhir ini merancang dan mengimplementasikan sistem ATS berbasis Arduino yang mampu memantau tegangan baterai secara real-time menggunakan sensor tegangan dan PZEM-004T. Sistem akan memutus suplai dari PLTS dan mengalihkan ke PLN saat tegangan baterai turun di bawah 10,5 V, serta kembali terhubung ke PLTS saat tegangan baterai terisi hingga mencapai 14 V. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan perpindahan sumber daya secara otomatis dan responsif sesuai dengan ambang batas tegangan yang telah ditetapkan. Pada kondisi peak (sinar matahari optimal), panel surya dengan total daya 316,03 Wp mampu mengisi baterai berkapasitas efektif 547,2 Wh (setelah dikurangi 5% safety margin) dalam waktu sekitar 1,7 jam (1 jam 42 menit). Dengan asumsi intensitas matahari tersedia selama ± 8 jam per hari, proses pengisian baterai dapat dilakukan secara optimal dan efisien. Sementara itu, baterai berkapasitas penuh mampu menyuplai beban sebesar 180,9 W selama 3,03 jam (3 jam 2 menit) tanpa dukungan pengisian dari panel surya. Sistem ini juga dilengkapi fitur proteksi arus lebih (overload protection) yang memutus suplai daya saat arus melebihi batas aman, sehingga melindungi peralatan dari kerusakan. Implementasi sistem ATS berbasis Arduino ini diharapkan dapat meningkatkan keandalan suplai energi pada instalasi PLTS off-grid, khususnya di lingkungan yang membutuhkan kontinuitas daya listrik secara stabil dan aman.

Kata Kunci : ATS, Arduino, pengaturan pengisian serta batas penggunaan Baterai, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid, Sensor PZEM-004T.

ABSTRACT

The need for a stable electricity supply drives the utilization of renewable energy sources such as off-grid Solar Power Plants (PLTS). However, the dependence of PLTS on weather conditions requires a supporting system in the form of an Automatic Transfer Switch (ATS) to automatically switch the power source to a backup supply, such as the national grid (PLN), when the battery voltage drops. This final project designs and implements an Arduino-based ATS system capable of real-time battery voltage monitoring using voltage sensors and a PZEM-004T module. The system will disconnect the load from the PLTS and switch to the PLN when the battery voltage drops below 10.5 V, and will reconnect to the PLTS when the battery voltage charges back up to 14 V. Test results show that the system is capable of automatically and responsively switching power sources according to the preset voltage thresholds. Under peak conditions (optimal sunlight), the solar panels with a total power of 316.03 Wp are able to charge a battery with an effective capacity of 547.2 Wh (after a 5% safety margin reduction) in approximately 1.7 hours (1 hour 42 minutes). Assuming a daily sunlight availability of around ± 8 hours, the battery charging process can be carried out optimally and efficiently. Meanwhile, the fully charged battery is capable of supplying a load of 180.9 W for approximately 3.03 hours (3 hours 2 minutes) without any contribution from solar charging. Additionally, the system is equipped with an overload protection feature that automatically disconnects the power supply when the load current exceeds the safe limit, thereby protecting the equipment from damage. The implementation of this Arduino-based ATS system is expected to enhance the reliability of power supply in off-grid PLTS installations, particularly in environments that demand continuous, stable, and safe electrical power.

Keywords : ATS, Arduino, Battery charging and usage limit settings, Off-Grid Solar Power Plant (PLTS), PZEM-004T Sensor.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proyek akhir yang berjudul “RANCANG BANGUN SISTEM AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) BERBASIS ARDUINO UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) OFF-GRID DENGAN PENDETEKSI TEGANGAN BATERAI”. Proyek akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan Diploma IV pada Program Studi Teknik Listrik di Politeknik Caltex Riau.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan yang tiada terhingga, baik secara langsung maupun tidak langsung. Ucapan terima kasih tersebut penulis tujukan kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan kasih-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini tepat waktu.
2. Bapak Zamanur dan Ibu Yustiawida selaku kedua orang tua penulis atas dukungan dan kasih sayang yang tak terhingga, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
3. Keluarga penulis atas dukungan dan kasih sayang yang tak terhingga, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Dr,Hendri Novia Syamsir,S.T.,MEng, selaku pembimbing utama, yang telah memberikan ilmu dan bimbingan dengan penuh kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
5. Bapak Arif Gunawan,S.T.,M.T., selaku penguji satu, dan Bapak Muzni Sahar,S.S.T.,M.Eng. selaku penguji kedua, yang telah memberikan saran dan masukan dalam menyelesaikan proyek akhir ini.

6. Seluruh dosen Program Studi Teknik Listrik yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan proyek akhir ini.
7. Kakak Chintya Kharisma Putri, A.Md.,S.Tr.T.; Kakak Meisy Zahira, S.Tr.T.; Abang Ilham Jorison A.Md.,S.Tr.T, dan Abang Abdul Qadir Zailani, S.Tr.T. yang telah membantu penulis dalam penyelesaian proyek akhir.
8. Kk siti, Tiwi, Liza, Putri, Laura, Kia, Zizah yang telah memberi dukungan kepada penulis dalam penyelesaian proyek akhir.
9. Teman seperjuangan G21 Teknik Listrik, dan seluruh teman-teman prodi Teknik Listrik yang telah memberikan semangat, saran, dan solusi kepada penulis dalam menyelesaikan proyek akhir ini.

Penulis sangat menyadari bahwa laporan proyek akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala jenis kritik, saran, dan masukan yang membangun sangat penulis harapkan agar dapat memberikan wawasan bagi pembaca dan, yang paling utama, bagi penulis sendiri.

Pekanbaru, Juli 2025

Een Nirmala

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Metodologi Penelitian.....	5
1.7 Sistematika Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Penelitian Terdahulu.....	8
2.2 Landasan Teori	15
2.2.1 <i>Automatic Transfer Switch</i> (ATS).....	15
2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya	16
2.2.3 Panel Surya.....	17

2.2.4 Sistem <i>Off- grid</i>	18
2.2.5 Battery	19
2.2.6 Arduino Mega 2560.....	19
2.2.7 Sensor PZEM-004T.....	20
2.2.6 Kontaktor.....	22
2.2.7 Inverter	23
2.2.8 SCC	23
2.2.9 Sensor Tegangan	24
2.2.10 Sensor Arus	25
2.2.11 <i>Push Button</i>	26
2.2.12 <i>Pilot Lamp</i>	26
2.2.13 LCD.....	27
2.2.14 <i>Selector Switch</i>	27
2.2.15 Power Supply.....	28
2.2.16 Relay DC	28
2.2.17 EMI Filter	29
2.2.18 Driver Motor L298N	30
2.2.19 <i>Timer AC</i>	30
BAB III PERANCANGAN	32
3.1 Perancangan Sistem.....	32
3.1.1. <i>Flow Chart</i>	32
3.1.2 Blok Diagram	35
3.2 Perancangan Rangkaian.....	37
3.3.1 Rangkaian Daya.....	37
3.3.2 Rangkaian Kontrol.....	38

3.3 Perancangan Mekanik.....	41
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA	43
4.1 Realisasi Perancangan	43
4.2 Data Pengujian.....	46
4.3 Pengujian Perpindahan Sumber (ATS).....	53
4.4 Analisis Penggunaan Baterai Tanpa Pengecasan	54
4.5 Pengujian Arus berlebih pada beban	56
BAB V PENUTUP.....	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Solar Panel.....	17
Gambar 2. 2 <i>Battery</i>	19
Gambar 2. 3 Arduino	20
Gambar 2. 4 Sensor PZEM-004T.....	21
Gambar 2. 5 Relay.....	22
Gambar 2. 6 Kontaktor.....	22
Gambar 2. 7 Inverter.....	23
Gambar 2. 8 SCC.....	24
Gambar 2. 9 Sensor Tegangan.....	24
Gambar 2. 10 Sensor Arus.....	25
Gambar 2. 11 <i>Push Button</i>	26
Gambar 2. 12 <i>Pilot Lamp</i>	26
Gambar 2. 13 LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>).....	27
Gambar 2. 14 <i>Selector switch</i>	28
Gambar 2. 15 <i>Power Supply</i>	28
Gambar 2. 16 Relay DC	29
Gambar 2. 17 EMI Filter	29
Gambar 2. 18 Driver Motor L298N.....	30
Gambar 2. 19 <i>Timer AC</i>	31
Gambar 3. 1 Flowchart Rancangan.....	33
Gambar 3. 2 Diagram Blok Rancangan	35
Gambar 3. 3 Rangkain Daya.....	37
Gambar 3. 4 Rangkaian Kontrol manual	39
Gambar 3. 5 Rangkaian Kontrol Otomatis	40
Gambar 3. 6 Rancangan Mekanik.....	42

Gambar 4. 1 Gambar Hasil Perancangan.....	43
Gambar 4. 2 Posisi 3 PV Paralel.....	45
Gambar 4. 3 Grafik perbandingan pengecasan dan pemakaian Baterai	49
Gambar 4. 4 Grafik perbandingan pengecasan dan pemakaian Baterai	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu.....	10
Tabel 4. 1 Spesifikasi Solar panel	44
Tabel 4. 2 Data Pengujian	46
Tabel 4. 4 Tabel Kalibrasi	51
Tabel 4. 5 Pengujian Perpindahan Sumber (ATS).....	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan semakin meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan populasi. Salah satu sumber energi terbarukan yang banyak digunakan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS memiliki potensi besar dalam penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Namun, tantangan utama dalam pemanfaatan PLTS adalah ketergantungannya pada kondisi cuaca dan waktu, yang mengakibatkan ketidakstabilan dalam pasokan listrik.

Untuk mengatasi masalah ketidakstabilan pasokan listrik dari PLTS, diperlukan sistem yang dapat mengelola aliran listrik secara otomatis dan efisien. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah dengan menggunakan sistem Automatic Transfer Switch (ATS). ATS adalah perangkat yang secara otomatis memindahkan sumber listrik dari satu sumber ke sumber lainnya ketika sumber utama mengalami gangguan atau tidak tersedia.

Pada PLTS off-grid, sistem ATS berfungsi untuk mengalihkan sumber daya dari baterai yang menyimpan energi surya ke sumber cadangan lain (misalnya genset atau jaringan listrik konvensional) ketika tegangan baterai turun di bawah batas yang ditentukan. Dengan demikian, sistem ini memastikan bahwa pasokan listrik tetap terjaga tanpa gangguan.

Pemanfaatan teknologi Arduino dalam merancang sistem ATS memberikan keuntungan tersendiri karena Arduino adalah platform mikrokontroler yang fleksibel dan mudah diprogram. Dengan menggunakan Arduino, deteksi tegangan baterai dapat dilakukan dengan presisi, dan pengalihan sumber daya listrik dapat diatur secara otomatis sesuai dengan kebutuhan. Arduino juga memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor dan modul tambahan yang dapat meningkatkan kinerja dan efisiensi sistem ATS.

Pada proyek akhir ini akan membuat sistem Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Arduino untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid* dengan Pendeteksi Tegangan Batrai. Tujuan pembuatan agar mempermudah mahasiswa terutama mahasiswa teknik listrik di Politeknik Caltex Riau dalam hal mempelajari serta merancang dan membangun sistem Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis Arduino yang dapat bekerja secara otomatis pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid, dengan kemampuan mendeteksi tegangan baterai secara real-time sebagai parameter utama dalam pengalihan sumber listrik dari baterai ke sumber cadangan (seperti genset atau PLN), sehingga sistem mampu menjaga kontinuitas suplai daya secara efisien, mencegah kerusakan peralatan akibat kehabisan energi, serta meningkatkan keandalan dan kemandirian energi listrik berbasis energi terbarukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah dalam pembuatan proyek akhir ini adalah:

- a. Bagaimana Merancang dan membangun sistem *Automatic Transfer Switch* yang berbasis Arduino untuk mengelola sumber daya listrik pada PLTS *off-grid*?
- b. Bagaimana sistem ATS berbasis Arduino dapat mendeteksi tegangan baterai secara real-time dan melakukan pengalihan sumber daya secara otomatis ketika tegangan baterai turun dibawah ambang batas tertentu?
- c. Bagaimana merancang sistem pemantauan tegangan baterai real-time melalui LCD untuk memudahkan pengguna dalam mengetahui kondisi daya?
- d. Bagaimana merancang dan mengintegrasikan proteksi Overcurrent Relay (OCR) pada sistem *Automatic Transfer Switch (ATS)* berbasis *Arduino* untuk melindungi PLTS off-grid dari arus berlebih?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Sensor tegangan digunakan untuk mendeteksi batas pemakaian pada Baterai.
- b. Control ATS menggunakan Arduino.
- c. Solar Charge Controller (SCC) Maximum Power Point Tracking (MPPT) digunakan untuk memaksimalkan efisiensi pengisian baterai dengan mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh panel surya digunakan untuk melindungi Beban.

- d. Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur arus listrik berlebih yang mengalir melalui beban dan menyalurkan sinyal ke Arduino untuk memerintah kontaktor memutus beban.

1.4 Tujuan

- a. Tugas akhir ini dibuat sebagai syarat kelulusan diploma 4 pada prodi teknik listrik, Politeknik Caltex Riau.
- b. Mengetahui Cara Kerja ATS (*Automatic Transfer Switch*).
- c. Mengimplementasikan sensor tegangan untuk memantau tegangan baterai secara real-time dan memberikan data yang akurat kepada sistem kontrol berbasis Arduino untuk mengambil keputusan pengalihan yang tepat.
- d. Mengantisipasi terjadinya arus berlebih (*overload*).

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan didapatkan dari proyek akhir yang dirancang ini adalah:

- a. Penggunaan *Arduino* dalam sistem ATS meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan. *Arduino* memiliki kemampuan untuk mengontrol ATS untuk mengalihkan sumber daya dari baterai yang menyimpan energi surya ke sumber cadangan lain. Sensor tegangan akan mendeteksi tegangan pada baterai dan mengirim informasi ke *Arduino* sehingga dengan otomatis yang cepat, ATS dapat beralih ke sumber daya cadangan dalam waktu singkat, menjaga kelangsungan pasokan listrik yang stabil.
- b. Penggunaan Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur arus listrik berlebih yang mengalir melalui beban dan menyalurkan sinyal

ke *Arduino* untuk memerintah kontaktor memutus beban sehingga dapat menghindari terjadinya arus berlebih (*overload*).

- c. Penggunaan SCC MPPT untuk mengoptimalkan pengisian baterai dari panel surya dengan cara memastikan bahwa panel surya selalu beroperasi pada titik daya maksimum (Maximum Power Point).

1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam pembuatan proyek akhir modul praktikum pembangkit listrik tenaga surya ini adalah:

1. Studi Literatur

Dilakukan dengan cara membaca dan mempelajari buku – buku jurnal, dan paper penelitian terdahulu yang dapat dijadikan referensi dalam pembuatan proyek akhir ini.

2. Perancangan

Meliputi perancangan komponen yang digunakan, Pemograman pada *Arduino* dan juga rancangan wiring dari ATS berbasis *Arduino* untuk pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), serta penganggaran biaya yang dibutuhkan dalam menyelesaikan proyek akhir.

3. Pengujian

Tujuan pengujian dalam rancang bangun proyek akhir ini adalah untuk memastikan bahwa alat tersebut dapat berfungsi dengan baik sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Pengujian dilakukan untuk mengidentifikasi kemungkinan kegagalan atau kesalahan yang dapat terjadi pada alat tersebut dan menemukan solusi untuk mengatasinya sebelum alat tersebut diimplementasikan. Dalam

pengujian ini juga nantinya akan diambil data yang dapat di analisa dalam tahap selanjutnya.

4. Analisa Hasil Pengujian

analisis hasil pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa dan kinerja dari alat atau sistem yang diuji. Hasil pengujian digunakan untuk mengidentifikasi kelemahan, kekuatan, dan potensi masalah dari alat atau sistem tersebut, serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan.

1.7 Sistematika Penelitian

Untuk meberikan informasi secara terstruktur, pembahasan proyek akhir ini dilakukan dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bagian ini berisikan penjelasan secara umum tentang sistem yang akan dibangun. Penjelasam tersebut meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, metodologi sdan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini berisikan penelitian terdahulu dan landasan teori untuk menunjang sistem ATS berbasis *Arduino* untuk PLTS *off-grid* dengan pendeteksi tegangan Baterai.

BAB III PERANCANGAN

Bagian ini berisikan penjelasan mengenai perancangan ATS berbasis *Arduino* untuk PLTS *off-grid* dengan pendeteksi tegangan Baterai.

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini berisi informasi mengenai sistem pengujian yang dilakukan yang terdapat data serta analisa dari data yang telah diujikan atau dilakukan.

BAB IV KESIMPULAN

Bab ini berisi informasi mengenai sistem pengujian yang dilakukan yang terdapat data serta analisa dari data yang telah diujikan atau dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Metodologi Tugas Akhir ini dilakukan dengan mengumpulkan berbagai informasi yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini yaitu literature melalui buku – buku referensi mengumpulkan informasi dari orang – orang yang berpengalaman dibidangnya, laporan skripsi, studi media, jurnal yaitu melalui internet serta melakukan berbagai percobaan yang menunjang kepada tugas akhir ini.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Marhatang Marhatang, Andreas Pangkung, 2022). Penelitian ini membuat “Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Automatic Transfer Switch antara *PLTS Off-grid* dengan jaringan PLN” yaitu untuk mengembangkan perancangan dan implementasi saklar transfer otomatis (ATS) tersebut dapat beralih dengan sangat cepat sehingga mencegah gangguan listrik pada peralatan listrik yang sensitif terhadap kontinuitas sumber daya listrik seperti komputer. Penelitian ini dilakukan dengan desain dan eksperimen, dimana penelitiannya diawali dengan pembuatan ATS, dilanjutkan dengan pengujian kinerja dengan berbagai sistem beban; uji tanpa beban, lampu pijar uji beban, dan pengujian beban lampu dan komputer dan diakhiri dengan analisis hasil pengujian untuk memperoleh kinerja ATS.

Penelitian terdahulu lainnya yaitu oleh (Sitti Amalia, Rafika Andari, 2021) melakukan Perancangan “ Monitoring Penggunaan Beban Pada Proses Pengosongan Baterai 100WP Menggunakan Sensor PZEM-004T” Pada penelitian ini membuat prototipe alat baterai plts sistem pemantauan debit diciptakan yang bertujuan untuk memudahkan dalam monitoring sistem plts, panel surya dilengkapi dengan sistem pemantauan penggunaan baterai mikrokontroler arduino, sensor arus, tegangan dan daya yang telah dikalibrasi, sehingga datanya sistem akuisisi terintegrasi dalam Arduino sistem berbasis mikrokontroler dapat diperoleh di waktu sebenarnya. Dari hasil penelitian menurut keperencana mikrokontroler yang digunakan pada tugas akhir ini adalah arduino UNO328 dan sensor PZEM-004T. Ini alat pemantau mampu membaca tegangan, arus, daya, cosphi dan kapasitas baterai dalam persen pada saat pasokan beban.

Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Aldiansyah, Yosi Apriani, 2021) melakukan Perancangan “Monitoring Arus Dan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan *Internet Of Things*” Penerapan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia merupakan solusi yang tepat dalam mengurangi ketergantungan terhadap penyedia energi PLN. Tetapi beberapa PLTS belum dilengkapi dengan alat monitoring arus dan tegangan.

Penelitian terdahulu lainnya yaitu (Maulana Harry Sulisty, 2022) Melakukan perancangan “Automatic Transfer Switch (ATS) serta Monitoring dan Controlling Dual Charging dengan Dua Sumber PLN dan

PLTS berbasis IOT (Internet OF Things) “sebagai alat alternatif pelimpahan beban secara otomatis dari sumber listrik utama dengan sumber listrik cadangan. Untuk mengurangi resiko lamanya durasi padam maupun kebutuhan pasokan listrik terus-menerus dapat dilakukan penggabungan dua sumber energi listrik, yaitu PLN dan solar panel yang dapat dikendalikan dan dipantau menggunakan smartphome. Switching yang menggunakan konsep ATS menggunakan kontaktor sebagai pengalih sumber listrik yang digunakan. Dengan memanfaatkan

mikrokontroller Arduino Uno dan Wemos D1 ESP8266 sekaligus sebagai modul wi-fi, serta sensor arus ACS712 dan rangkaian pembagi tegangan sebagai sensor tahanan untuk mendeteksi arus dan tegangan yang mengalir pada rangkaian.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

NO	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
1.	Marhatang Marhatan, Andreas Pangkung, R.Tandioga (2022)	Perancangan dan Implementasi Sistem Kendali Automatic Transfer Switch antara <i>PLTS Off-grid</i>	Kecepatan transfer time ATS dengan waktu sebesar 297 ms, terbukti mampu mencegah terjadinya interupsi	Pada penelitian ini terjadi peralihan suplai yang berulang- ulang dalam waktu cukup singkat, sekitar 10 – 15

		dengan jaringan PLN	daya pada beban computer/tidak mengalami restart ketika terjadi peralihan suplai daya.	menit. Hal ini disebabkan oleh kegagalan sensor LVD dalam mendeteksi kapasitas baterai secara tepat pada saat terjadi proses charging dari sumber PLTS. Dampak dari peralihan yang berulang-ulang tersebut dapat menyebabkan lifetime dari peralatan switching
--	--	---------------------	--	---

				menjadi lebih singkat.
2.	Sitti Amalia, Rafika Andari, Yopi Nofrizal (2021)	Monitoring Penggunaan Beban Pada Proses Pengosongan Baterai 100WP Menggunakan Sensor PZEM-004T	Sistem monitoring pengosongan baterai PLTS menggunakan sensor PZEM-004T berhasil di aplikasikan pada proses pengosongan sebagai alat untuk memonitor kinerja dan kapasitas baterai yang berkemampuan dapat melakukan	Pada penelitian ini hanya membahas tentang pengosongan baterai PLTS namun tidak dengan pengisian Baterai.

			pembacaan nilai tegangan, arus dan daya pada saat menyuplai beban.	
3.	Aldiansyah, Yosi Apriani, Zulkifli Saleh (2021)	Monitoring Arus Dan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan <i>Internet Of Things</i>	alat monitoring arus dan tegangan yang telah dibuat bekerja secara stabil dan optimal pada PLTS 3000 Watt dan bekerja dengan efisien karena bisa memonitorin	Hanya dilengkapi dengan monitoring arus dan tegangan saja tidak mengatasi gangguan pada beban.

			<p>g arus dan tegangan secara real time menggunakan mikrokontroler Arduino.</p>	
4.	Maulana Harry Sulistyو (2022)	Rancang Bangun Automatic Transfer Switch (ATS) serta Monitoring dan Controlling Dual Charging dengan Dua Sumber PLN dan PLTS berbasis IOT (Internet OF Things)	Dilengkapi dengan sistem Internet of Things (IoT) dengan tujuan dapat mengontrol atau monitoring hardware dengan jarak jauh, dapat menampilkan data-data sensor,	Pada Automatic Transfer Switch, masih ada jeda waktu sehingga jika dilihat dari lampu akan berkedip, dalam pengembangannya, dapat menggunakan kapasitor bank atau semacam

			menyimpan data, dan lain sebagainya	ups untuk menghilangkan jeda waktu.
--	--	--	-------------------------------------	-------------------------------------

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, penulis merancang Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis *Arduino* Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan Pendeteksi Tegangan Baterai, yang sistemnya akan mengacu kepada penelitian terdahulu yang dilakukan Marhatang Marhatang, Andreas Pangkung, R. Tandioaga (2022). Pada Proyek akhir ini penulis menambahkan penggunaan *Arduino* untuk pendeteksi tegangan Baterai serta penambahan sensor PZEM-004T sebagai alat untuk pendeteksi arus berlebih pada sisi beban untuk menghindari terjadinya Arus berlebih atau *Overload*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Automatic Transfer Switch (ATS)*

Transfer Switch (ATS) yang akan menghidupkan sumber dari PLN ketika sumber listrik PLTS padam serta memutus sumber PLN ketika sumber listrik PLTS dan baterai penuh akan kembali menyala. Salah satu sistem perpindahan sumber listrik adalah ATS.

Automatic Transfer Switch (ATS) yaitu sebuah rangkaian listrik yang memiliki fungsi sebagai saklar yang beroperasi otomatis jika terjadi pemadaman arus listrik terencana atau mendadak, begitu pula apabila terjadi *trouble* pada jaringan listrik yang menyebabkan arus listrik

padam, maka secara otomatis sistem tersebut akan bekerja dengan sendirinya memindahkan suplai sumber listrik utama (PLTS) ke sumber listrik lainnya (PLN). Begitu pula sebaliknya, ketika sumber listrik dari PLTS sudah menyala maka secara otomatis sumber PLN akan terputus dan suplai daya yang digunakan kembali ke sumber listrik PLTS.

ATS mempunyai kapasitas batas maksimum sebagai saklar. Batas maksimum tersebut digunakan untuk menjaga kontaktor tersebut supaya lebih aman dan bekerja sesuai dengan kapasitas yang ditentukan. Jadi intinya apabila kita memiliki beban yang besar maka nantinya kita menggunakan kontaktor yang memiliki kapasitas yang besar juga apabila beban yang ditanggung tidak besar maka kontaktor yang di gunakan tidak juga besar atau kecil ini semua tergantung dengan berapa besar beban yang akan ditanggung oleh ATS tersebut sebagai saklar.

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS adalah sistem yang mengubah energi matahari menjadi energi listrik dengan menggunakan panel surya. PLTS dapat beroperasi secara mandiri atau terhubung dengan jaringan listrik PLN. Pada tugas akhir ini penulis merancang sistem PLTS off-grid yang mana merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang beroperasi secara mandiri dengan menggunakan battery atau aki untuk penyimpanan energi sementara ketika PV sudah tidak menghasilkan cukup energi. Penulis juga menambahkan *back up* dari PLN ketika PV tidak menghasilkan energi yang cukup sehingga *load* tetap mendapatkan sumber energi.

2.2.3 Panel Surya

Pada PLTS *Off – grid*, Panel surya mengkonversi energi yang dapat mengubah intensitas cahaya matahari menjadi elektron yang bergerak atau yang disebut dengan arus listrik yang kemudian diteruskan ke baterai. Energi ini menjadi sumber utama untuk memenuhi sumber energi kebutuhan pada beban.



Gambar 2. 1 Solar Panel

Sinar Surya matahari dapat diubah menjadi energi listrik melalui modul surya yang terbuat dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor, adalah bahan semi logam yang memiliki partikel yang disebut elektron-proton, yang apabila didorong oleh energi luar akan melepaskan elektron sehingga menimbulkan arus listrik dan pasangan lubang elektron. Modul surya mampu menyerap sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton. Energi foton di bawah sinar matahari ini menghasilkan energi kinetik yang mampu melepaskan elektron ke pita konduksi sehingga menimbulkan arus listrik. Energi kinetik akan semakin besar seiring dengan meningkatnya

intensitas cahaya dari matahari. Intensitas cahaya matahari yang paling tinggi diserap bumi pada siang hari sehingga menghasilkan energi matahari yang diserap bumi sekitar 120.000 terra Watt. Jenis logam yang digunakan juga akan menentukan kinerja sel surya.

2.2.4 Sistem *Off- grid*

PLTS off-grid (Pembangkit Listrik Tenaga Surya off-grid) adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang beroperasi secara mandiri tanpa terhubung ke jaringan listrik umum (grid). Sistem ini dirancang untuk menghasilkan dan menyimpan listrik secara independen, biasanya menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi untuk menyediakan daya selama periode ketika sinar matahari tidak tersedia, seperti malam hari atau cuaca mendung.

Sistem hybrid terbagi dalam beberapa komponen dengan fungsi sebagai berikut:

- a. Panel surya sebagai sumber energi akan terus mengisi ulang baterai.
- b. Baterai sebagai penyimpanan energi.
- c. Inverter merubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak – balik (AC).
- d. ATS berfungsi sebagai pergantian suplai beban, saat baterai terisi penuh, maka suplai dari tegangan inverter, dan jika baterai sudah mencapai nilai cut off maka beban akan tersuplai dari PLN.

2.2.5 Battery



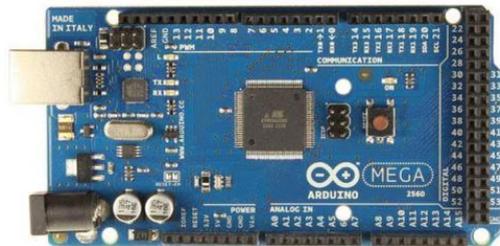
Gambar 2. 2 *Battery*

Battery atau aki dalam sistem PLTS *off-grid* memainkan peran yang sangat penting dalam memastikan keberlanjutan dan keandalan pasokan listrik. Dengan menyimpan energi yang dihasilkan oleh panel surya dan menyediakan daya selama periode ketika produksi energi surya tidak mencukupi, baterai memungkinkan sistem PLTS untuk berfungsi secara mandiri tanpa tergantung pada jaringan listrik umum. Memilih jenis baterai yang tepat dan mengelola penggunaannya dengan baik adalah kunci untuk memaksimalkan efisiensi dan umur panjang sistem PLTS *off-grid*. Pada sistem ini baterai memiliki batasan pemakaian dan dan pengisian.

2.2.6 Arduino Mega 2560

Arduino digunakan untuk membaca data dari sensor dan mengatur perpintahan pada sistem ATS, yang mana mendapat inputan dari sensor tegangan yang mendeteksi tegangan pada baterai dibawah ambang batas penggunaan, kemudian Arduino memerintahkan kontaktor PLTS mati dan kontaktor PLN hidup. Sebaliknya jika sensor tegangan

mendeteksi tegangan batrai telah mencukupi maka arduino kembali memerintahkan kontaktor PLN mati dan kontaktor PLTS hidup. Selain itu arduino juga digunakan untuk memerintahkan kontaktor mati ketika arduino mendapat inputan dari sensor PZEM-004T yang mendeteksi arus berlebih pada beban sehingga arduino memerintahkan kontaktor memutuskan rangkaian untuk menghindari terjadinya *overload*. Pada rangkain ini penulis menggunakan jenis Arduino Mega 2560 yang merupakan papan pengembangan mikrokontroller yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip Arduino Mega 2560.



Gambar 2. 3 Arduino

2.2.7 Sensor PZEM-004T

Sensor PZEM-004T digunakan untuk mengukur arus dan tegangan dalam suatu sirkuit listrik. Sensor PZEM-004T yang dilengkapi CT berfungsi untuk mendeteksi arus pada beban dan kemudian mengirim informasi ke Arduino sehingga Arduino mendeteksi arus berlebih dan memerintahkan kontaktor untuk memutuskan rangkaian untuk menghindari terjadinya *Overload*.



Gambar 2. 4 Sensor PZEM-004T

Prinsip kerja CT pada Sensor PZEM-004T yaitu menghasilkan sinyal tegangan yang proporsional dengan arus yang diukur, dan data ini dikirimkan ke sensor PZEM-004T untuk diproses dan ditampilkan. Ketika dilengkapi dengan Current Transformer (CT) atau trafo arus, sensor ini dapat berfungsi sebagai OCR (Overcurrent Relay) untuk melindungi sistem dari kondisi arus berlebih.

2.2.5 Relay DC

Relay digunakan untuk memerintahkan pemilihan inputan Arduino, apakah itu dari inputan PLTS ataupun PLN. Relay juga digunakan untuk menghubungkan kontaktor PLTS atau kontaktor PLN. Ketika *relay* PLTS mendapatkan perintah dari arduino untuk aktif maka *relay* PLTS aktif dan menghidupkan kontaktor, sementara *relay* PLN mati begitupula kontaktornya. Begitu pula pada relay PLN.



Gambar 2. 5 Relay

2.2.6 Kontaktor



Gambar 2. 6 Kontaktor

Kontaktor digunakan untuk sistem ATS pada PLTS dan PLN. Kontaktor mendapat perintah dari Arduino untuk aktif dan mati. Kontaktor juga berperan sebagai pemutus rangkaian ketika terjadi overload. Kontaktor mendapat perintah dari Relay dan Relay diatur oleh Arduino. Untuk Coil kontaktor mendapat inputan dari masing masing sumber, kontaktor 1 mendapat sumber dari PLTS, kontaktor 2 mendapat sumber dari PLN.

2.2.7 Inverter



Gambar 2. 7 Inverter

Inverter digunakan untuk mengubah arus searah (DC) dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC). Perangkat ini memainkan peran penting dalam berbagai sistem tenaga, terutama dalam energi terbarukan, di mana energi yang dihasilkan oleh panel surya atau disimpan dalam baterai perlu diubah menjadi bentuk yang kompatibel dengan jaringan listrik dan perangkat elektronik standar. Inverter tidak hanya mengonversi jenis arus, tetapi juga dapat mengatur tegangan dan frekuensi output agar sesuai dengan kebutuhan spesifik beban yang terhubung, serta sering kali dilengkapi dengan fitur tambahan seperti proteksi over-voltage, under-voltage, dan overload untuk menjaga stabilitas dan keamanan sistem.

2.2.8 SCC

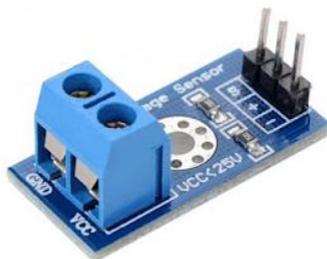
SCC (Solar Charge Controller) digunakan untuk mengoptimalkan proses pengisian baterai dari panel surya. Teknologi MPPT yang diterapkan dalam perangkat ini memungkinkan pengontrol pengisian untuk secara cerdas dan dinamis menyesuaikan titik operasi panel surya agar selalu berada pada titik daya maksimum, meskipun

kondisi cahaya matahari dan suhu terus berubah. Dengan melakukan ini, SCC MPPT dapat meningkatkan efisiensi pengisian baterai hingga 30% lebih tinggi dibandingkan dengan pengontrol pengisian konvensional yang tidak menggunakan MPPT. Perangkat ini sangat penting dalam memastikan bahwa energi yang dihasilkan oleh panel surya dimanfaatkan secara maksimal, terutama dalam kondisi lingkungan yang berfluktuasi, sehingga meningkatkan keseluruhan kinerja dan efektivitas sistem tenaga surya.



Gambar 2. 8 SCC

2.2.9 Sensor Tegangan



Gambar 2. 9 Sensor Tegangan

Sensor tegangan digunakan untuk mengukur tegangan listrik dalam suatu sistem atau rangkaian dan mengubahnya menjadi output yang dapat dibaca, baik analog maupun digital. Sensor ini dapat mendeteksi tegangan arus searah (DC) pada baterai yang kemudian dikirimkan ke Arduino dan diolah oleh Arduino. Cara kerjanya melibatkan penerimaan tegangan input pada terminal sensor, mengonversi tegangan tersebut melalui berbagai metode seperti perubahan resistansi atau menggunakan konverter analog-ke-digital (ADC), dan menghasilkan sinyal output yang dapat dianalisis oleh mikrokontroler atau perangkat pemantauan lainnya.

2.2.10 Sensor Arus



Gambar 2. 10 Sensor Arus

Sensor arus pada baterai berfungsi untuk mengukur arus listrik yang masuk atau keluar dari baterai secara real-time, sehingga dapat memantau proses pengisian dan pemakaian daya. Informasi ini penting untuk melindungi sistem dari arus berlebih, memantau kapasitas baterai, serta menjaga performa dan umur baterai secara keseluruhan.

2.2.11 *Push Button*



Gambar 2. 11 *Push Button*

Pushbutton digunakan untuk mode manual pada sistem yang dibuat, yang mana ketika *pushbutton* 1 ditekan maka rangkaian ATS bekerja untuk menghidupkan PLTS *off – grid* dan mematikan PLN. Sebaliknya ketika *pushbutton* 2 ditekan maka rangkaian ATS kembali bekerja untuk memutus kontaktor PLTS dan menghidupkan kontaktor PLN.

2.2.12 *Pilot Lamp*



Gambar 2. 12 *Pilot Lamp*

Pilot Lamp digunakan untuk membari penanda input mana yang sedang bekerja baik itu input PLTS ataupun PLN. Pilot Lamp bekerja

ketika ada tegangan masuk (Phase - Netral) dengan menyalanya sebuah lampu atau led pada Pilot Lamp. selain itu Pilot Lamp ini pada panel Berbasis Arduino ini akan berfungsi sebagai indikator jika terjadi gangguan.

2.2.13 LCD



Gambar 2. 13 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Display LCD (*Liquid Crystal Display*) pada Arduino digunakan untuk menampilkan informasi dari tegangan baterai, arus beban, Status sumber, dan daya.

2.2.14 *Selector Switch*

Selector switch atau saklar pemilih adalah jenis saklar listrik yang digunakan untuk memilih antara beberapa sirkuit atau jalur. Dalam rangkaian, terdapat tiga posisi yaitu Manual, Otomatis, dan Off, yang masing-masing berfungsi untuk pengoperasian secara manual, otomatis, dan untuk mematikan sistem.



Gambar 2. 14 *Selector switch*

2.2.15 Power Supply



Gambar 2. 15 *Power Supply*

Power Supply digunakan untuk menurunkan tegangan dari sumber dc supaya bisa mengaktifkan arduino, LCD, sensor tegangan dan sensor PZEM-004T.

2.2.16 Relay DC

Relay DC 5V berfungsi sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh sinyal dari mikrokontroler atau rangkaian kontrol. Dalam sistem ini, relay digunakan untuk menghubungkan atau memutus

arus ke inverter. Saat mikrokontroler memberikan sinyal tegangan 5V ke kumparan relay, kontak relay akan menutup dan menghidupkan inverter dengan menyambungkan sumber dayanya. Sebaliknya, saat tidak ada sinyal, kontak terbuka dan inverter mati. Relay ini memungkinkan pengendalian inverter secara otomatis maupun manual tanpa perlu mengalirkan arus besar langsung ke mikrokontroler.



Gambar 2. 16 Relay DC

2.2.17 EMI Filter

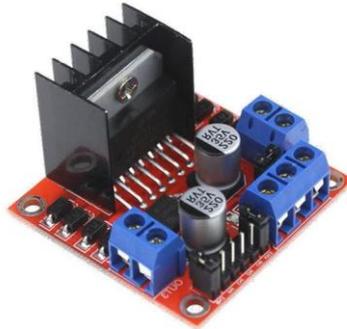


Gambar 2. 17 EMI Filter

EMI filter berfungsi untuk mengurangi gangguan elektromagnetik (Electromagnetic Interference) yang berasal dari atau menuju sistem Automatic Transfer Switch (ATS). Filter ini menyaring noise atau gangguan frekuensi tinggi yang dapat mengganggu kinerja

perangkat elektronik lain, khususnya inverter dan mikrokontroler. Dengan adanya EMI filter, sistem menjadi lebih stabil, aman, dan mematuhi standar kompatibilitas elektromagnetik.

2.2.18 Driver Motor L298N



Gambar 2. 18 Driver Motor L298N

Driver L298N secara umum berfungsi sebagai pengendali motor DC atau beban lain yang membutuhkan arus besar dengan sistem H-Bridge. Namun, dalam rangkaian ini, fungsinya sedikit berbeda, yaitu sebagai saklar elektronik untuk mengalirkan arus 12V ke beban seperti inverter atau relay berdasarkan sinyal dari Arduino. Dengan begitu, L298N bertindak sebagai perantara antara mikrokontroler dan beban berat, sehingga memungkinkan pengendalian beban secara efisien dan aman dalam sistem Automatic Transfer Switch.

2.2.19 Timer AC

Timer pada rangkaian ini berfungsi sebagai bagian dari sistem Automatic Transfer Switch (ATS) mini, yang memberikan penundaan waktu saat terjadi perpindahan sumber daya dari PLN ke inverter atau

sebaliknya. Penundaan ini mencegah perpindahan mendadak akibat gangguan listrik sesaat, sehingga menjamin kestabilan dan keandalan suplai daya ke beban.



Gambar 2. 19 *Timer AC*

BAB III

PERANCANGAN

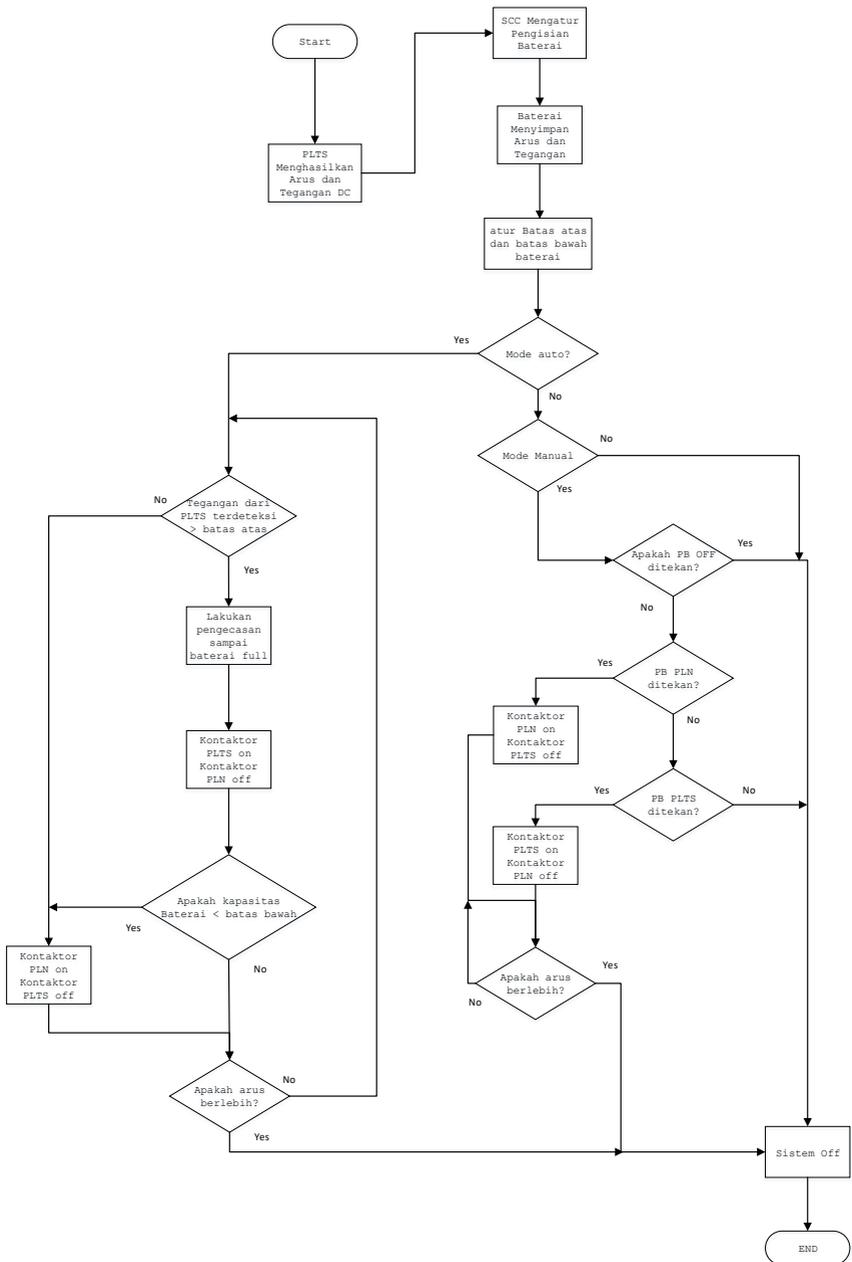
Perancangan adalah sebuah proses awal dalam Rancang Bangun Sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) Berbasis *Arduino* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid* dengan Pendeteksi Tegangan Baterai yang berguna untuk memudahkan dan melancarkan proses pengerjaan. Dalam proses perancangan ini terdapat beberapa bagian penting yang menjadi rujukan pembuatan alat nantinya, yaitu perancangan sistem, desain rangkaian dan perancangan mekanik/hardware.

3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk menjelaskan bagaimana suatu sistem yang akan dibuat secara keseluruhan dengan tujuan agar perancangan alat yang akan dibuat dapat berfungsi sesuai dengan harapan. Pada perancangan sistem ini meliputi diagram blok sistem dan *flowchart* sistem.

3.1.1. Flow Chart

Flowchart adalah gambaran dari bentuk diagram alir. Fungsinya untuk mendeskripsikan urutan pelaksanaan proses sistem kerja dari Rancang Bangun *Automatic Transfer Switch* (ATS) Berbasis *Arduino* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid* dengan Pendeteksi Tegangan Baterai ini. Pada **gambar 3.1** merupakan Flowchart dari proyek akhir ini yaitu :



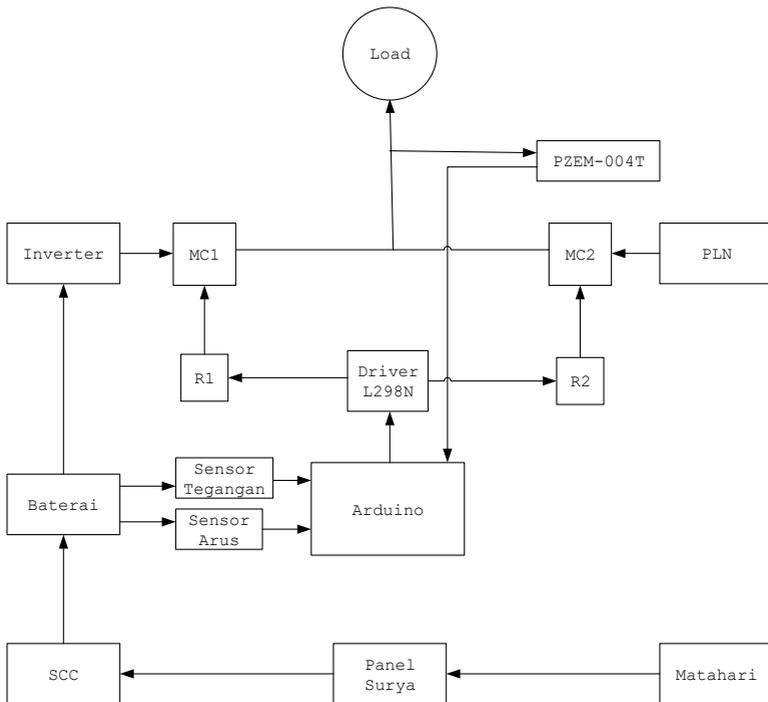
Gambar 3. 1 Flowchart Rancangan

Pada gambar 3.1 diatas alur sumber utama dari PLTS pada PV yang menyerap energi dari matahari lalu menghasilkan sumber tegangan DC, kemudian langsung melakukan pengisian Baterai yang diatur oleh SCC MPPT. Pada rangkaian terdapat mode auto dan mode manual, yang mana pada saat mode auto yaitu *selector switch* diubah pada posisi 1, kemudian tegangan dan arus dari Baterai ketika mencukupi akan langsung diubah ke tegangan AC dan kemudian menghidupkan kontaktor 1, dan langsung mengalir ke beban. Namun ketika Baterai tidak mencukupi batas dan sensor tegangan bekerja mengirim data ke arduino, dan kemudian *arduino* memerintahkan kontaktor PLTS mati dan kontaktor 2 PLN hidup. Sehingga beban mendapat suplai Baterai dari PLN. Jika sensor tegangan kembali mendeteksi tegangan Baterai kembali penuh maka arduino otomatis mematikan kontaktor 2 dan menghidupkan kontaktor 1. Perpindahan dari PLN ke PLTS boleh terjadi apabila baterai sudah terisi selama dua jam, dimulai pada saat PLTS menghasilkan tegangan. Beban yang digunakan adalah 400 watt atau berdasarkan batas arus beban yang telah di atur pada program, ketika baterai sudah terisi sistem PLTS hanya bisa digunakan Sampai tegangan baterai turun hingga batas bawah yang telah di atur.

Pada mode manual pula, diperlu adanya push button untuk memindahkan sumber PLTS dan PLN, kemudian diperlukan Push button Off untuk mematikan sistem. Pada beban sendiri dipasang Sensor PZEM-004T yang dilengkapi CT untuk mendeteksi adanya kelebihan arus kemudian mengirim data ke arduino yang kemudian *arduino* akan memerintahkan kontaktor untuk memutuskan rangkaian.

3.1.2 Blok Diagram

Adapun blok diagram dari rancang bangun Panel Rancang Bangun Sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) Berbasis *Arduino* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid* dengan Pendeteksi Tegangan Baterai seperti pada **gambar 3.2** sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Blok Rancangan

Dari diagram blok sistem diatas dapat dilihat perancangan Sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) Berbasis *Arduino* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid* dengan Pendeteksi Tegangan

Baterai ini memiliki 2 kondisi yaitu kondisi otomatis dan kondisi manual kedua kondisi ini dapat di atur dengan Penekanan *push button* dan terdapat *Push Button* untuk start PLN dan PLTS dan *stop*. Penekanan *Push button* Ini aktif jika *switch selector* diposisi manual.

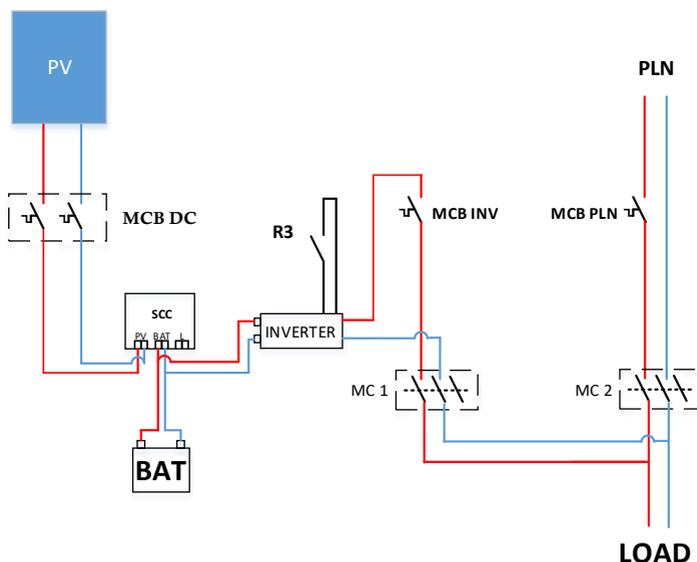
Cara kerja dari *Automatic Transfer Switch (ATS)* Berbasis *Arduino* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid* dengan Pendeteksi Tegangan Baterai ini dari diagram blok diatas adalah Sumber PLTS akan masuk ke Solar Charge Controller (SCC) kemudian sebagai pengatur pengisian daya dari panel surya ke Baterai yang dilengkapi dengan teknologi SCC untuk memastikan penyerapan energi yang optimal, energi yang mengalir ke Baterai lalu diteruskan ke inverter kemudian sensor tegangan mengirim data ke *arduino* yang kemudian akan mendeteksi apakah produksi energi dari PLTS cukup untuk mensuplai beban atau tidak, jika mencukupi, maka sistem PLTS akan memilih suplai daya dari PLTS keluaran sinyal ini akan masuk ke K1 PLTS untuk memutus daya ke beban. Pada Baterai dilengkapi dengan sensor tegangan dan arus untuk dikirimkan ke *Arduino*, kemudian *Arduino* mengolah data untuk mengatur batasan pemakaian Baterai dan *arduino* memerintahkan Driver untuk mengendalikan relay DC untuk mematikan kontaktor K1 PLTS dan menghidupkan K2 PLN sehingga beban mendapat sumber dari PLN langsung. Ketika PV sudah mendapatkan energi dari kembali matahari maka PV kembali mencharger Baterai sehingga Baterai kembali terisi dan mencapai nilai maksimum sehingga kembali bisa menyuplai beban kembali, *arduino* kembali mendapat sinyal dari sensor tegangan dan *arduino* kembali memerintahkan K2 PLN untuk mati dan memerintahkan K1 PLTS untuk

kembali aktif menyuplai beban kembali. Pada inputan beban dipasang Sensor PZEM-004T yang dilengkapi CT untuk mendeteksi arus berlebih lalu mengirim data ke arduino dan arduino memerintahkn kontaktor yang terhubung kebeban untuk memutus beban.

3.2 Perancangan Rangkaian

3.3.1 Rangkaian Daya

Perancangan sistem kontrol yang digunakan memiliki rangkaian Daya yang dapat dilihat pada **Gambar 3.3** :



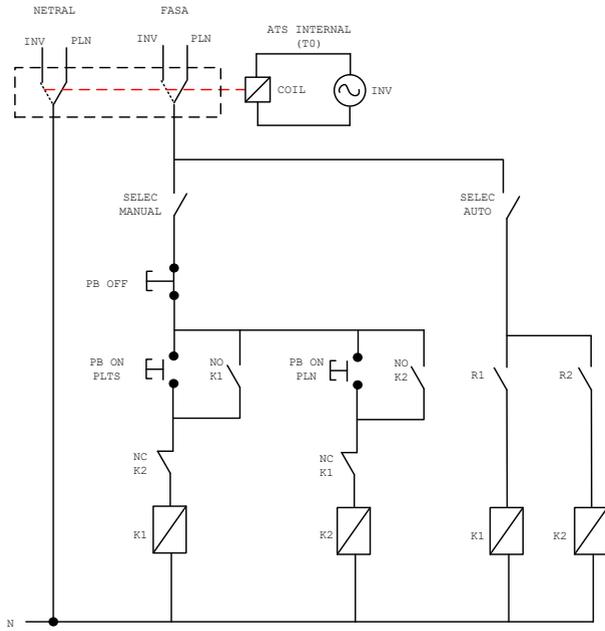
Gambar 3.3 Rangkain Daya

Pada rangkaian daya tersebut menunjukkan rangkaian sistem *off-grid* tenaga surya yang terdiri dari panel surya (PV), SCC, baterai, inverter, dan sumber cadangan dari PLN. Energi dari PV diatur oleh MPPT untuk mengisi baterai dan disalurkan ke inverter yang mengubah

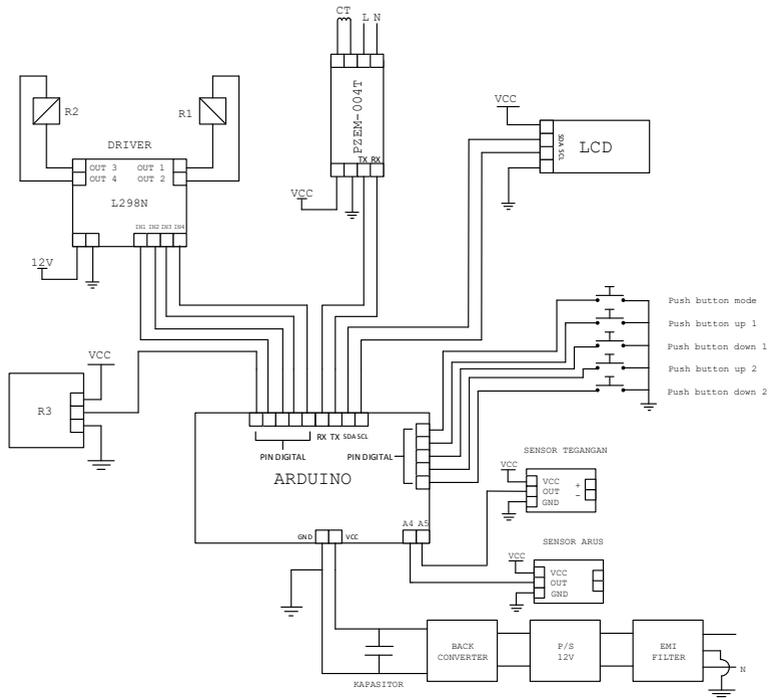
arus DC menjadi AC. Daya AC dari inverter melewati MCB dan kontaktor (MC1) menuju beban. Jika daya dari PV tidak mencukupi, sistem akan otomatis beralih ke sumber listrik PLN melalui MCB PLN dan kontaktor MC2. Kontaktor MC1 dan MC2 bekerja secara bergantian untuk mencegah hubungan langsung antara inverter dan PLN, sehingga beban tetap mendapat suplai listrik secara otomatis dan aman.

3.3.2 Rangkaian Kontrol

Rangkaian kontrol pada **Gambar 3.4** dibawah menunjukkan rangkaian kontrol Automatic Transfer Switch (ATS) yang berfungsi untuk mengalihkan sumber listrik antara inverter (INV) dan PLN secara otomatis maupun manual. Rangkaian ini terdiri dari push button ON/OFF, kontaktor K1 (untuk inverter), kontaktor K2 (untuk PLN), serta relay kontrol dan timer delay (ATS internal/TDR). Saat sumber PLN tersedia, relay akan aktif, mengaktifkan timer (TDR), dan setelah jeda waktu, kontak NO TDR menyalakan kontaktor K2, sehingga beban terhubung ke PLN. Jika sumber PLN padam, relay akan tidak aktif, timer berhenti, dan kontak NO pada push button ON serta kontak NC K2 akan mengaktifkan kontaktor K1, sehingga beban dialihkan ke inverter. Saklar selektor manual/otomatis memungkinkan pengoperasian secara otomatis maupun manual. Relay dalam rangkaian ini berperan sebagai pengendali logika utama yang menentukan aktivasi kontaktor K1 atau K2, sedangkan indikator lampu L1, L2, dan L3 menunjukkan status sumber daya yang sedang digunakan dan kondisi kontaktor.



Gambar 3. 4 Rangkaian Kontrol manual



Gambar 3. 5 Rangkaian Kontrol Otomatis

Sistem ini menggabungkan tenaga surya (PV), inverter, baterai, dan PLN dengan kontrol otomatis menggunakan Arduino dan relay driver. Energi dari PV diatur oleh SCC untuk mengisi baterai dan menyalurkan arus DC ke inverter, yang kemudian diubah menjadi AC untuk beban. Arduino akan membaca status tegangan dan arus dari inverter dan PLN menggunakan sensor, serta menerima masukan dari push button dan mode selektor manual/otomatis.

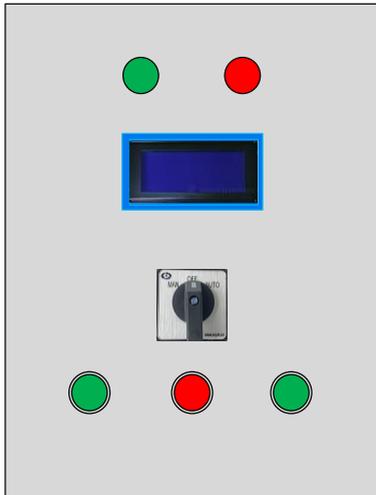
Jika mode otomatis aktif seperti pada **Gambar 3.5**, Arduino akan memantau kondisi tegangan dari PLN dan inverter. Saat PLN aktif dan

stabil, Arduino akan mengaktifkan relay untuk menghidupkan kontaktor K2, sehingga beban disuplai dari PLN. Arduino juga mengaktifkan timer delay (TDR) untuk mencegah switching mendadak. Jika PLN padam atau tidak stabil, Arduino akan menonaktifkan K2 dan mengaktifkan kontaktor K1 agar beban dialihkan ke sumber inverter.

Semua status seperti tegangan, arus, sumber aktif, dan mode kerja ditampilkan secara real-time pada LCD, sementara indikator dan push button memungkinkan pengguna memantau dan mengontrol sistem secara manual jika diperlukan. Rangkaian ini juga dilengkapi ATS internal berupa timer untuk menunda switching sumber saat terjadi perubahan agar lebih aman bagi peralatan.

3.3 Perancangan Mekanik

Perancangan desain mekanik proyek akhir dari sistem ATS berbasis arduino pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid dengan pendeteksi tegangan baterai dapat dilihat dari **gambar 3.6** dibawah ini:



Gambar 3. 6 Rancangan Mekanik

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bab 4 ini akan membahas tentang hasil analisa yang didapatkan Rancang Bangun Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Arduino untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid* dengan Pendeteksi Tegangan Baterai.

4.1 Realisasi Perancangan

Pada realisasi perancangan dapat dilihat pada **Gambar 4.1** dibawah ini :



Gambar 4. 1 Gambar Hasil Perancangan

Dapat dilihat bahwa terdapat sebuah panel terdiri dari 3 buah *push button* yang berfungsi sebagai *push button* PLTS dan juga *push button* PLN Serta *Push button off*. Ketiga *push button* ini digunakan pada mode manual. Pada panel juga terdapat sebuah *Selector Switch* yang berfungsi untuk perpindahan pemilihan mode, terdapat mode manual dan mode

auto. Pada panel juga terdapat 2 buah lampu indikator yang berfungsi sebagai berikut :

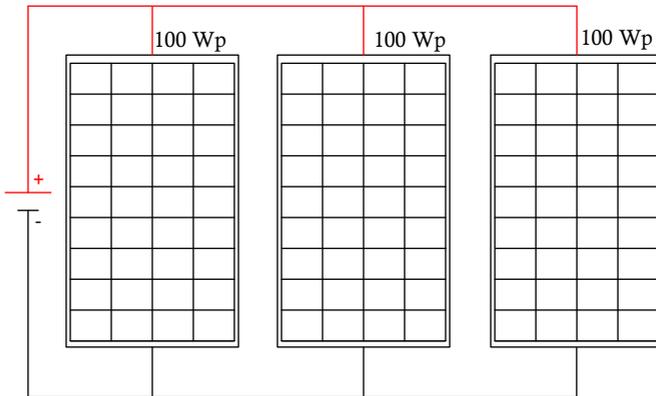
1. Lampu indikator hijau,yang memiliki arti bahwa sistem dari PLTS sedang di gunakan.
2. Lampu Indikator merah,menandakan sistem dari PLN sedang di gunakan.

Spesifikasi Solar Panel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Spesifikasi Solar panel

Maximum Power	Pmax	100W
Maximum Power Voltage	Vmp	18.70V
Maximum Power Current	Imp	5.35A
Open Circuit Voltage	Voc	22.60V
Short Circuit Current	Isc	5.65A
Nominal Operating Cell Temp	NOCT	48+2°C
Maximum system voltage		715VDC
Maximum series fuse		18A

Dalam pengujian digunakan 3 PV 100 WP yang dihubungkan paralel.



Gambar 4. 2 Posisi 3 PV Paralel

Spesifikasi Baterai yang digunakan:

- Tipe: GS Hybrid
- Tegangan: 12 Volt
- Kapasitas: 48 Ah (Ampere Hour)
- Teknologi: Hybrid (penguapan air aki lebih rendah, pengisian air aki lebih lama)
- Tegangan cut-off sekitar 10.5V
- Full charging (tegangan penuh) bisa mencapai sekitar 14.4V-14.8V

Spesifikasi Inverter yang digunakan:

- *Output Volt:* AC 220V
- *Output Freq:* 50Hz +/- 3persen

- *Input Volt*: DC 12V
- *Low voltage range*: +-10.5v
- *High voltage range*: +- 15v
- *Overhead range*: 60oc+-10oc
- Daya: 1500 W
- Batas penggunaan daya: 70-80% dari 1500 Watt = 1050 -1200 Watt

Spesifikasi SCC (Solar Charge Control) yang digunakan:

- Tegangan Terukur :12V/24V
- Arus terukur :30 A
- Maksimal tegangan PV :50V
- Maksimal daya input: 390 W (12 V), 780 W (24V)

4.2 Data Pengujian

Pada pengujian pengecasan baterai dan penggunaan beban yang digunakan pada saat matahari menyuplai solar panel didapat nilai yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Data Pengujian

NO	Kondisi	Nilai
1.	Tegangan Output PV	18,70 V
2.	Tegangan Baterai	12 V
3.	Daya PV	316,03 Wp
3.	Arus Pengecasan	16,95 A
4.	Daya Pengecasan	203,4 Wh
5.	Arus Masuk Inverter	15,07 A
5.	Tegangan inverter ke Beban	220,70 V
6.	Daya Beban	180,9 W
7.	Arus Beban	0,82 A

Diketahui: Tegangan PV = 18,70 V
Arus PV = 5,65 A

PV yang digunakan sebanyak 3 Lembar 100 Wp, sehingga didapat Arus totalnya yaitu:

$$\begin{aligned} I_t &= I_{SC1} + I_{SC2} + I_{SC3} \\ &= 5,65 + 5,65 + 5,65 \\ &= 16,95 \text{ A} \end{aligned}$$

Dan juga dapat diketahui total daya PV yaitu:

$$\begin{aligned} P_t &= \text{Tegangan PV} \times \text{Total Arus} \\ &= 18,70 \times 16,9 \\ &= 316,03 \text{ Wp} \end{aligned}$$

Jika Total daya Beban yang digunakan 180,9 W dan Baterai yang digunakan 12 V / 48 Ah, maka:

$$\begin{aligned} \text{Total daya Baterai} &= (\text{Full}) \\ &= \text{Tegangan Baterai} \times \text{Arus Baterai} \\ &= 12 \text{ V} \times 48 \text{ Ah} \\ &= 576 \text{ Wh} \end{aligned}$$

Penggunaan baterai PLTS harus dikurangi 5% sebagai cadangan proteksi (safety margin) untuk mencegah overcharge dan overdischarge, sehingga menjaga umur baterai lebih awet dan sistem tetap aman beroperasi. (Serrano Cardona & Muñoz Mata, 2013)

Jika Baterai akan mengalami pengurangan 5% dari daya total maka didapat total kapasitas baterai yang dapat digunakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Kapasitas Baterai} &= \text{Total Daya Baterai} \times 5\% \text{ Per baterai} \\
 &= 576\text{Wh} - (576\text{Wh} \times 5\%) \\
 &= 576 \text{ Wh} - 28,8 \\
 &= 547,2 \text{ Wh}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan kondisi diatas maka baterai hanya mampu menyuplai daya 547,2 Wh.

Jika daya PV untuk melakukan Pengisian baterai dalam kondisi Peak maka waktu yang digunakan adalah:

$$T = \frac{Wh \text{ (Baterai)}}{Wp \text{ (PV)}} = \frac{547,2 \text{ Wh}}{316,03 \text{ Wp}} = 1,7 \text{ Jam (1 jam 42 Menit)}$$

Jika dalam 1 hari ketersediaan matahari sekitar 8 jam, maka estimasi masih cukup dalam melakukan pengisian Baterai.

Jika daya total yang digunakan sebanyak 180,9 Watt maka didapat sumber baterai tanpa PV dapat menyuplai beban selama :

$$T = \frac{Wh \text{ (Baterai)}}{W \text{ (Beban)}} = \frac{547,2 \text{ Wh}}{180,09 \text{ W}} = 3,03 \text{ Jam (3 jam 2 Menit)}$$

Pada kondisi peak, tiga panel surya 100Wp menghasilkan tegangan 18,7V dan arus total 16,95A, sehingga daya total PV mencapai 316,03Wp. Beban yang digunakan sebesar 180,9W, sedangkan baterai 12V 48Ah memiliki kapasitas 576Wh, namun hanya 95% (547,2Wh) yang digunakan untuk menjaga umur baterai. Dengan daya PV 316,03Wp, waktu pengisian baterai hingga penuh membutuhkan sekitar 1,7 jam (1 jam 42 menit). Jika ketersediaan matahari sekitar 8 jam per hari, waktu ini sangat mencukupi. Tanpa suplai PV, baterai mampu menyuplai beban 180,9W selama ±3,03 jam (3 jam 2 menit). Beban yang digunakan yaitu 3 lampu pijar, masing masing memiliki daya 60 Watt.



Gambar 4. 3 Grafik perbandingan pelepasan dan pemakaian Baterai

Kondisi Non- Peak

Tabel 4. 3 Data Pengujian

NO	Kondisi	Nilai
1.	Tegangan Output PV	18,70 V
2.	Tegangan Baterai	11,9 V
3.	Daya PV	203,83 Wp
3.	Arus Pengecasan	10,9 A
4.	Daya Pengecasan	129,71 Wh
5.	Arus Masuk Inverter	15,11 A
5.	Tegangan inverter ke Beban	220,70 V
6.	Daya Beban	180,9 W
7.	Arus Beban	0,82 A

Diketahui :

Penggunaan baterai tidak 100 % dapat digunakan, dikarenakan baterai akan cepat rusak sehingga baterai tidak dapat bertahan untuk jangka panjang sehingga perlu adanya cadangan 5% yang perlu ditambahkan.

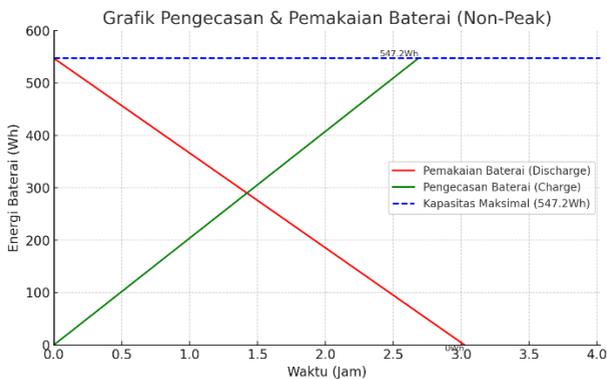
- Baterai = Tegangan = 12 V
Arus = 48 Ah
- Total Kapasitas dalam Ah = $48 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 576 \text{ Wh}$
- Kapasitas Baterai = *Total Daya Baterai* × 5% Per baterai

$$\begin{aligned}
 &= 576Wh - (576Wh \times 5\%) \\
 &= 576Wh - 28,8 \\
 &= 547,2 Wh
 \end{aligned}$$

- Waktu penggunaan Baterai

$$\begin{aligned}
 &= \text{Kapasitas Baterai} : \text{Daya Beban} \\
 &= 547,2 Wh : 180,9 W \\
 &= 3,02 \text{ Jam}
 \end{aligned}$$
- Waktu Pengisian = $\frac{547,2 Wh}{203,83 Wp} = 2,6 \text{ Jam (non-peak)}$
- Daya PV digunakan 3 PV (1 pv = 100 Wp). Total = 300 Wp)

Pada sistem PLTS berbasis baterai, kapasitas baterai tidak boleh digunakan 100% agar umur baterai lebih awet, sehingga disisakan 5% sebagai cadangan. Baterai 12V 48Ah memiliki total kapasitas 576Wh, namun yang digunakan hanya 547,2Wh. Dengan beban 180,9W, baterai mampu menyuplai selama ±3 jam. Untuk pengisian ulang, digunakan 3 panel surya 100Wp (total 300Wp) yang diasumsikan menghasilkan daya efektif 203,83W, sehingga baterai dapat terisi penuh dalam waktu ±2,6 jam. Total daya yang dibutuhkan saat charging dan beban berjalan bersamaan adalah 310,61W, yang mendekati kapasitas panel.



Gambar 4. 4 Grafik perbandingan pengisian dan pemakaian Baterai

Untuk memastikan data yang didapat antara pembacaan sensor dengan alat ukur diperlukan adanya kalibrasi sehingga nilai yang didapat sama. Berikut Tabel 4.4 hasil kalibrasi pengukuran:

Tabel 4. 3 Tabel Kalibrasi

No	Tegangan Multitester (V)	Tegangan Sensor (V)	Perhitungan Error (%)	Error Tegangan (%)
1	9,9 V	9,75 V	$\frac{9,75 - 9,90}{9,90} \times 100\%$ $= \frac{-0,15}{9,90} \times 100\%$	1,5%
2	11,08 V	11,13 V	$\frac{11,13 - 11,08}{11,08} \times 100\%$ $= \frac{-0,05}{11,08} \times 100\%$	0,45%
3	13,12 V	13,14 V	$\frac{13,14 - 13,12}{13,12} \times 100\%$ $= \frac{0,2}{13,12} \times 100\%$	0,15%
4	15,13 V	14,94 V	$\frac{14,94 - 15,13}{15,13} \times 100\%$ $= \frac{-0,19}{15,13} \times 100\%$	1,26%
5	12,10 V	12,06 V	$\frac{12,06 - 12,10}{12,10} \times 100\%$ $= \frac{-0,04}{12,10} \times 100\%$	0,33%

No	Arus Multitester (A)	Arus Sensor (A)	Perhitungan Error (%)	Error Arus (%)
1	0.6 A	0,4 A	$\frac{0,40 - 0,60}{0,60} \times 100\%$ $= \frac{-0,20}{0,60} \times 100\%$	33,33%
2	2,25 A	2,1 A	$\frac{2,1 - 2,25}{2,25} \times 100\%$ $= \frac{-0,15}{2,25} \times 100\%$	6,67%
3	3,54 A	3,5 A	$\frac{3,50 - 3,54}{3,54} \times 100\%$ $= \frac{-0,15}{9,90} \times 100\%$	1,13%
4	5,46 A	5,4 A	$\frac{5,40 - 5,46}{5,46} \times 100\%$ $= \frac{-0,06}{5,46} \times 100\%$	1,10%
5	7,03 A	7,3 A	$\frac{7,30 - 7,03}{7,03} \times 100\%$ $= \frac{0,27}{7,03} \times 100\%$	3,84%

4.3 Pengujian Perpindahan Sumber (ATS)

Pada pengujian ini terdapat lima kondisi perpindahan, pengujian ini dilakukan dengan cara mengatur batas atas penggunaan batrai dan batas bawah penggunaan baterai. Didapat beberapa kondisi dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut:

Tabel 4. 4 Pengujian Perpindahan Sumber (ATS)

No	Setting batas atas Baterai	Setting batas bawah Baterai	Tegangan Baterai saat pindah PLTS	Tegangan Baterai Saat pindah ke PLN
1.	14 V	10,5 V	14,05V	10,45 V
2.	13,5 V	10,5 V	13,55 V	10,40 V
3.	13 V	11,5 V	13 V	11,45 V
4.	12,5 V	10,5 V	12,55 V	10,5 V
5.	13 V	11 V	13 V	11 V

Berdasarkan hasil pengujian perpindahan sumber (ATS), dapat disimpulkan bahwa sistem mampu melakukan perpindahan sumber daya listrik secara otomatis berdasarkan batas tegangan baterai yang telah ditentukan. Ketika tegangan baterai mencapai batas bawah, sistem akan berpindah dari PLTS ke PLN, dan saat tegangan kembali naik mencapai batas atas, sistem kembali menggunakan sumber dari PLTS. Pengaturan nilai batas atas dan bawah ini dilakukan melalui program Arduino, dan pengguna dapat menyesuaikan batas tegangan secara manual

menggunakan tombol push button (PB) yang disediakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan responsif dan sesuai dengan logika kendali yang telah diprogram.

4.4 Analisis Penggunaan Baterai Tanpa Pengecasan

Data Awal: type baterai :salic acid Gs Hybrid

- Tegangan maksimum baterai (penuh) = 14 V
- Tegangan minimum penggunaan (cut-off) = 10,5 V
- Tegangan dianggap 100% = 14 V
- Tegangan dianggap 0% = 0 V
- Kapasitas baterai = 48 Ah
- Tegangan nominal = 12 V
- Daya beban = 180 W

1) Menghitung Total Energi Maksimal Baterai (Wh)

Kapasitas energi baterai dalam satuan Wh dihitung dari tegangan nominal \times kapasitas Ah:

$$\text{Energi total baterai} = 12\text{V} \times 48\text{Ah} = 576\text{Wh}$$

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas Baterai} &= \text{Total Daya Baterai} \times 5\% \text{ Per baterai} \\ &= 576\text{Wh} - (576\text{Wh} \times 5\%) \\ &= 576\text{ Wh} - 28,8 \\ &= 547,2\text{ Wh}\end{aligned}$$

2) Menghitung Persentase Penggunaan Energi

Kita gunakan tegangan sebagai parameter untuk menghitung berapa persen kapasitas yang digunakan, yaitu:

$$\text{Persentase penggunaan} = \frac{14-10,5}{14} \times 100\% = \frac{3,5}{14} \times 100\% = 25\%$$

3) Menghitung Energi yang di Gunakan

Energi terpakai = $25\% \times 576\text{Wh} = 0,25 \times 576,2 = 136,8\text{Wh}$

4) Menghitung lama Waktu Penggunaan

Waktu penggunaan = $\frac{547,2}{180} = 3,04 \text{ jam}$

Jika baterai 48 Ah dengan tegangan nominal 12 V digunakan dari kondisi penuh (14 V) hingga batas bawah aman (10,5 V), maka hanya 25% dari kapasitas total yang dipakai. Energi efektif yang bisa digunakan adalah 144 Wh, dan jika digunakan untuk beban 60 Watt, baterai hanya akan bertahan sekitar 2 jam 24 menit sebelum mencapai batas tegangan terendah.

Berikut beberapa referensi penggunaan beberapa jenis baterai berdasarkan batas *Under* dan *Over* tegangan:

1. Lithium (Li-ion):

Pengisian: 12,6 V. Pemakaian: 9,0–9,6 V. Wajib BMS.

2. VRLA:

Pengisian: 13,6–13,8 V. Pemakaian: 11,8–12,0 V.

3. VRLA AGM:

Pengisian: 13,8–14,0 V. Pemakaian: 11,8 V.

4. VRLA Gel:

Pengisian: 13,4–13,6 V. Pemakaian: 11,8 V.

5. FLA (Flooded):

Pengisian: 14,4–14,7 V. Pemakaian: 11,0 V.

6. Sodium-Ion:

Pengisian: 14,4–14,8 V. Pemakaian: 10,0–11,2 V.

4.5 Pengujian Arus berlebih pada beban

Pada pengujian ini bertujuan untuk melindungi inverter dari arus berlebih atau beban lebih (overload) dengan melakukan penambahan beban bertahap sehingga mencapai arus maksimal (Overload). Perhitungan batas arus yang diperbolehkan yaitu:

Batas penggunaan daya: 70-80% dari 1500 Watt = 1050 -1200 Watt

◆ Arus pada 1500 Watt:

$$I = \frac{1500}{220} = 6,82 A$$

◆ Batas aman arus 70–80% (1050–1200 W):

$$I_{70\%} = \frac{1050}{220} = 4,77A \text{ dan } I_{80\%} = \frac{1200}{220} = 5,45 A$$

Batas arus yang diuji cobakan berkisar 1 A. Dalam pengujian ini digunakan beban 5 buah lampu pijar yang masing masing memiliki daya 60 watt, dengan total daya sekitar 300 watt. Dengan arus sekitar $300 : 220 = 1,363 A$. Untuk memastikan pengujian arus berlebih tepat di 1 A digunakan dimmer untuk menaikkan dan menurunkan total daya lampu pijar sehingga dapat nilai arus 1 A yang dibaca CT sensor PZEM 004T dan dikirim keArduino sehingga Arduino memerintahkan semua sistem untuk mati. Dari pengujian didapat data sebagai berikut:

Arus yang dibatasi	Arus yang dibaca	Keterangan sistem
1 A	1,04 A	Off

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan data dan analisa yang telah dilakukan pada Rancang Bangun Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Arduino untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid* dengan Pendeteksi Tegangan Baterai. Maka dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan semua proses pembuatan serta pengujian dan pengambilan data yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis Arduino berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan baik, mampu melakukan perpindahan sumber listrik secara otomatis antara PLTS dan PLN berdasarkan batas tegangan baterai yang telah ditentukan. Ketika tegangan baterai turun di bawah 10,5 V, sistem akan memindahkan suplai ke PLN, dan kembali ke PLTS saat tegangan mencapai 14 V.
2. Arduino berfungsi dengan baik sebagai pengendali utama, membaca tegangan baterai dan mengaktifkan relay untuk switching daya ke beban.
3. Sistem dapat menjaga kontinuitas suplai listrik secara otomatis tanpa intervensi manual, sehingga cocok digunakan untuk sistem PLTS off-grid.

4. Sistem proteksi arus lebih (Overload Protection) berfungsi dengan baik, terbukti saat arus beban mencapai lebih dari 1 A (terbaca 1,04 A), sistem otomatis memutus suplai daya untuk melindungi peralatan dari kerusakan akibat kelebihan beban.
5. Dengan kontrol berbasis tegangan baterai, sistem mampu mencegah baterai terkuras habis, sehingga memperpanjang usia pakainya.
6. Pada kondisi peak, tiga panel surya berkapasitas total 300Wp mampu menghasilkan daya sebesar 316,03Wp dengan tegangan 18,7V dan arus 16,95A. Baterai 12V 48Ah yang digunakan memiliki total kapasitas 576Wh, namun hanya 95% (547,2Wh) yang digunakan untuk mencegah overcharge dan overdischarge agar umur baterai lebih awet. Proses pengecasan baterai dari kapasitas 547,2Wh menggunakan daya PV sebesar 316,03Wp membutuhkan waktu sekitar 1,7 jam (1 jam 42 menit) dalam kondisi matahari optimal (peak sun hour).
7. Dengan beban sebesar 180,9W, baterai mampu menyuplai daya selama sekitar 3,03 jam (3 jam 2 menit) tanpa bantuan suplai dari panel surya. Ketersediaan matahari yang rata-rata mencapai 8 jam per hari sangat mencukupi untuk melakukan pengecasan ulang baterai meskipun setelah pemakaian penuh. Hal ini menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang mampu menjaga keseimbangan antara konsumsi daya dan proses pengisian ulang baterai secara efisien.

5.2 Saran

Penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan pada proyek akhir Rancang Bangun Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) Berbasis Arduino untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid* dengan Pendeteksi Tegangan Baterai, maka dari itu untuk pengembangan perancangan ini penulis menyarankan :

1. Gunakan baterai berkualitas baik dengan kapasitas dan spesifikasi yang sesuai agar mampu menyuplai arus stabil, terutama saat beban tinggi atau saat perpindahan sumber daya terjadi.
2. Tambahkan filter atau kapasitor pada input Arduino untuk mencegah error akibat hentakan tegangan saat kontaktor aktif, serta pisahkan catu daya kontrol dan aktuator agar gangguan tidak mempengaruhi kinerja sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldiansyah, Yosi Apriani, Z. S. (2021). Monitoring Arus dan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Internet Of Things. *Monitoring Arus Dan Tegangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Internet Of Things*, 8(2), 889–895. <https://doi.org/10.35957/jatisi.v8i2.543>
- Marhatang Marhatang, Andreas Pangkung, R. T. (2022). Perancangan dan implementasi sistem kendali automatic transfer switch antara plts off-grid dengan jaringan pln 1). *PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KENDALI AUTOMATIC TRANSFER SWITCH ANTARA PLTS OFF-GRID DENGAN JARINGAN PLN*, 144–149.
- Maulana Harry Sulistyoyo. (2022). *Rancang bangun automatic transfer switch (ats) serta monitoring dan controlling dual charging dengan dua sumber pln dan plts berbasis iot (internet of things) tugas akhir.*
- Serrano Cardona, L., & Muñoz Mata, E. (2013). Paraninfo Digital. *Early Human Development*, 83(1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.earlhumdev.2006.05.022>
- Sitti Amalia, Rafika Andari, Y. N. (2021). Sistem Monitoring Penggunaan Beban Pada Proses Pengosongan Baterai 100WP Menggunakan Sensor PZEM-004T. *Sistem Monitoring Penggunaan Beban Pada Proses Pengosongan Baterai 100WP Menggunakan Sensor PZEM-004T*, 11(1), 29–36. <https://doi.org/10.33369/jamplifier.v11i1.15472>

LAMPIRAN

Program Arduino

ProgramTAeen3.ino

```
1  #include <Wire.h>
2  #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3  #include <PZEM004Tv30.h>
4  #include <EEPROM.h> // Tambahan EEPROM
5
6  // Pin relay dan tombol
7  #define pltson 32
8  #define plnon 36
9  #define pltson1 34
10 #define plnon1 38
11 #define relon 8
12
13 int a = 0;
14 int mode = 22;
15 int up1 = 24;
16 int down1 = 26;
17 int up2 = 28;
18 int down2 = 30;
19
20 bool last1 = HIGH;
21 bool last2 = HIGH;
22 bool last3 = HIGH;
23 bool last4 = HIGH;
24 bool last5 = HIGH;
25
26 float daya1 = 0;
27
28 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
29 PZEM004Tv30 pzem(&Serial1);
30
31 float teganganAC, arus, daya, energi, PF;
32 int b = 0;
33
```

ProgramTAeen3.ino

```
34 // Batas-batas default
35 float batasbawah = 10.05;
36 float batasatas = 13.00;
37
38 // Alamat EEPROM
39 int addrBatasBawah = 0;
40 int addrBatasAtas = sizeof(float);
41
42 // Sensor tegangan DC
43 const int pinSensor = A14;
44 const float teganganMaxSensor = 25.0;
45 const float teganganADC = 5.0;
46 float teganganDC;
47
48 // Sensor arus DC
49 const int sensorPin = A12;
50 const float sensitivity = 0.100;
51 const float vRef = 5.0;
52 const int sampleCount = 1000;
53
54 // Timer
55 unsigned long waktuMulai;
56 unsigned long jedareset;
57 unsigned long reset = 10000;
58 unsigned long daily = 8640000;
59 unsigned long jedacas = 20000;
60
61 void setup() {
62     lcd.init();
63     lcd.backlight();
64     Serial.begin(9600);
65     lcd.setCursor(0, 0);
66     lcd.print("HALLO!");
```

```
67
68   pinMode(pltson, OUTPUT);
69   pinMode(plnon, OUTPUT);
70   pinMode(pltson1, OUTPUT);
71   pinMode(plnon1, OUTPUT);
72   pinMode(re lon, OUTPUT);
73
74   pinMode(mode, INPUT_PULLUP);
75   pinMode(up1, INPUT_PULLUP);
76   pinMode(down1, INPUT_PULLUP);
77   pinMode(up2, INPUT_PULLUP);
78   pinMode(down2, INPUT_PULLUP);
79
80   digitalWrite(pltson, LOW);
81   digitalWrite(plnon, LOW);
82   digitalWrite(plnon1, LOW);
83   digitalWrite(plnon1, LOW);
84   digitalWrite(re lon, HIGH);
85
86   // Baca data dari EEPROM
87   EEPROM.get(addrBatasBawah, batasbawah);
88   EEPROM.get(addrBatasAtas, batasatas);
89   if (batasbawah < 5 || batasbawah > 15) batasbawah = 10.05;
90   if (batasatas < 10 || batasatas > 15) batasatas = 13.00;
91
92   waktuMulai = millis();
93 }
94
95 void loop() {
96   bool now1 = digitalRead(mode);
97   if (last1 == HIGH && now1 == LOW) {
98     a++;
99     b = 0;
```

```
100 | lcd.clear();
101 | }
102 | if (a >= 2) a = 0;
103 | last1 = now1;
104
105 | teganganAC = pzem.voltage();
106 | arus = pzem.current();
107 | daya = pzem.power();
108 | energi = pzem.energy();
109 | PF = pzem.pf();
110
111 | daya1 = daya / PF;
112
113 | Serial.print("PF : ");
114 | Serial.println(PF);
115
116 | if (teganganAC <= 10) teganganAC = 0;
117
118 | int nilaiADC = analogRead(pinSensor);
119 | teganganDC = ((nilaiADC * teganganMaxSensor) / 1023.0) + 0.9 + 0.21;
120
121 | float voltage, currentDC;
122 | long sensorValueSum = 0;
123 | for (int i = 0; i < sampleCount; i++) {
124 | | sensorValueSum += analogRead(sensorPin);
125 | }
126 | float averageSensorValue = sensorValueSum / sampleCount;
127 | voltage = (averageSensorValue / 1023.0) * vRef;
128 | currentDC = abs((voltage - 2.5) / sensitivity) - 0.57;
129
130 | if (a >= 1) {
131 | | bool now2 = digitalRead(up1);
132 | | if (last2 == HIGH && now2 == LOW) {
```

ProgramTAeen3.ino

```
133     batasbawah += 0.05;
134     EEPROM.put(addrBatasBawah, batasbawah);
135 }
136 last2 = now2;
137
138 bool now3 = digitalRead(down1);
139 if (last3 == HIGH && now3 == LOW) {
140     batasbawah -= 0.05;
141     EEPROM.put(addrBatasBawah, batasbawah);
142 }
143 last3 = now3;
144
145 bool now4 = digitalRead(up2);
146 if (last4 == HIGH && now4 == LOW) {
147     batasatas += 0.05;
148     EEPROM.put(addrBatasAtas, batasatas);
149 }
150 last4 = now4;
151
152 bool now5 = digitalRead(down2);
153 if (last5 == HIGH && now5 == LOW) {
154     batasatas -= 0.05;
155     EEPROM.put(addrBatasAtas, batasatas);
156 }
157 last5 = now5;
158
159 lcd.setCursor(0, 0);
160 lcd.print("PENGATURAN BATAS AKI");
161 lcd.setCursor(0, 1);
162 lcd.print("BATAS ATAS : ");
163 lcd.print(batasatas);
164 lcd.setCursor(0, 2);
165 lcd.print("BATAS BAWAH : ");
```

ProgramTAeen3.ino

```
166     lcd.print(batasbawah);
167     lcd.setCursor(1, 3);
168     lcd.print("SOLAR CHARGE");
169 }
170
171 if (a == 0) {
172     lcd.setCursor(0, 0);
173     lcd.print("V_Bat :");
174     lcd.print(teganganDC, 2);
175     lcd.print("V");
176     lcd.setCursor(0, 1);
177     lcd.print("V_L :");
178     lcd.print(teganganAC, 2);
179     lcd.print("v");
180     lcd.setCursor(0, 2);
181     lcd.print("I_L :");
182     lcd.print(arus, 2);
183     lcd.print("A");
184     lcd.setCursor(0, 3);
185     lcd.print("P_L :");
186     lcd.print(daya1, 1);
187     lcd.print("W");
188     lcd.setCursor(15, 0);
189     lcd.print("STAT");
190     lcd.setCursor(13, 2);
191     lcd.print("    ");
192     lcd.setCursor(13, 3);
193     lcd.print("    ");
194     lcd.setCursor(12, 3);
195     lcd.print("IB:");
196     lcd.print(currentDC, 1);
197     lcd.print("A");
198 }
```

```
199
200     if (arus >= 1.0) b++;
201
202 ✓   if (teganganDC > batasatas && b == 0) {
203       delay(500);
204       digitalWrite(plnon, LOW);
205       digitalWrite(plnon1, LOW);
206       delay(500);
207       digitalWrite(pltson, HIGH);
208       digitalWrite(pltson1, LOW);
209       digitalWrite(re lon, LOW);
210 ✓   if (a == 0) {
211       |   lcd.setCursor(15, 1);
212       |   lcd.print("PLTS");
213       |   }
214   }
215
216 ✓   if (teganganDC < batasbawah && b == 0) {
217       delay(500);
218       digitalWrite(pltson, LOW);
219       digitalWrite(pltson1, LOW);
220       delay(500);
221       digitalWrite(plnon, HIGH);
222       digitalWrite(plnon1, LOW);
223       digitalWrite(re lon, HIGH);
224 ✓   if (a == 0) {
225       |   lcd.setCursor(15, 1);
226       |   lcd.print("PLN ");
227       |   }
228   }
229
230 ✓   if (millis() - waktuMulai >= daily) {
231       waktuMulai = millis();
```

```
230     if (millis() - waktuMulai >= daily) {
231         | waktuMulai = millis();
232     }
233
234     if (b >= 1.0) {
235         | digitalWrite(pltson, LOW);
236         | digitalWrite(pltson1, LOW);
237         | delay(500);
238         | digitalWrite(plnon, LOW);
239         | digitalWrite(plnon1, LOW);
240         | digitalWrite(relon, HIGH);
241     }
242     if(millis() - jedareset >= reset){
243         | jedareset = millis();
244         | lcd.init();
245         | lcd.backlight();
246     }
247 }
248
```

Dokumentasi Pengambilan Data

