



**PERANCANGAN *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH* (ATS)
MENGUNAKAN *SMART RELAY* PADA SISTEM
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN
PIEZOELEKTRIK SEBAGAI CATU DAYA
CADANGAN UNTUK RUMAH TINGGAL**

**Disusun dan Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian Akhir
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH :

NAMA : NURUL KHAIRIAH NASUTION
NPM : 1924210115
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN
2022**

**PERANCANGAN *AUTOMATIC TRANSFER SWITCH* (ATS)
MENGUNAKAN *SMART RELAY* PADA SISTEM
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN
PIEZOELEKTRIK SEBAGAI CATU DAYA
CADANGAN UNTUK RUMAH TINGGAL**

**Disusun dan Diajukan sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian Akhir
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi**

SKRIPSI

OLEH :

**NAMA : NURUL KHAIRIAH NASUTION
NPM : 1924210115
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

Diketahui dan Disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Hamdani, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II

Amani Darma Tarigan, S.T., M.T

Diketahui dan Disahkan oleh :

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Hamdani, S.T., M.T

Ketua Program Studi

Siti Anisah , S.T., M.T



PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nurul Khairiah Nasution
NPM : 1924210115
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Listrik
Fakultas : Sains dan Teknologi
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi **Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul: **“Perancangan Automatic Transfer Switch (ATS) Menggunakan Smart Relay pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk Rumah Tinggal“**, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan, mengalih-media/alih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 29 Januari 2022



NURUL KHAIRIAH NASUTION
NPM : 1924210115

Hal : Permohonan Meja Hijau

Medan, 12 Januari 2022
 Kepada Yth : Bapak/Ibu Dekan
 Fakultas SAINS & TEKNOLOGI
 UNPAB Medan
 Di -
 Tempat

Dengan hormat, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : NURUL KHAIRIAH NASUTION
 Tempat/Tgl. Lahir : MEDAN / 1 September 1997
 Nama Orang Tua : AHMAD SUKRI NASUTION
 N. P. M : 1924210115
 Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
 Program Studi : Teknik Elektro
 No. HP : 081318101454
 Alamat : Jl. Pertiwi / Tuba III No.17, Kec. Medan Denai

Datang bermohon kepada Bapak/Ibu untuk dapat diterima mengikuti Ujian Meja Hijau dengan judul **PERANCANGAN AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) MENGGUNAKAN SMART RELAY PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN PIEZOELEKTRIK SEBAGAI CATU DAYA CADANGAN UNTUK RUMAH TINGGAL**, Selanjutnya saya menyatakan :

1. Melampirkan KKM yang telah disahkan oleh Ka. Prodi dan Dekan
2. Tidak akan menuntun ujian perbaikan nilai mata kuliah untuk perbaikan indek prestasi (IP), dan mohon diterbitkan ijazahnya setelah lulus ujian meja hijau.
3. Telah tercap keterangan bebas pustaka
4. Terlampir surat keterangan bebas laboratorium
5. Terlampir pas photo untuk ijazah ukuran 4x6 = 5 lembar dan 3x4 = 5 lembar Hitam Putih
6. Terlampir foto copy STTB SLTA dilegalisir 1 (satu) lembar dan bagi mahasiswa yang lanjutan D3 ke S1 lampirkan ijazah dan transkripnya sebanyak 1 lembar.
7. Terlampir pelunasan kwintasi pembayaran uang kuliah berjalan dan wisuda sebanyak 1 lembar
8. Skripsi sudah dijilid lux 2 exemplar (1 untuk perpustakaan, 1 untuk mahasiswa) dan jilid kertas jeruk 5 exemplar untuk penguji (bentuk dan warna penjiilidan diserahkan berdasarkan ketentuan fakultas yang berlaku) dan lembar persetujuan sudah di tandatangani dosen pembimbing, prodi dan dekan
9. Soft Copy Skripsi disimpan di CD sebanyak 2 disc (Sesuai dengan Judul Skripsinya)
10. Terlampir surat keterangan BKKOL (pada saat pengambilan ijazah)
11. Setelah menyelesaikan persyaratan point-point diatas berkas di masukan kedalam MAP
12. Bersedia melunaskan biaya-biaya uang dibebankan untuk memproses pelaksanaan ujian dimaksud, dengan perincian sbb :

1. [102] Ujian Meja Hijau	: Rp.	1,000,000
2. [170] Administrasi Wisuda	: Rp.	1,750,000
Total Biaya	: Rp.	2,750,000

Ukuran Toga : **S**

Diketahui/Disetujui oleh :



Hamdani, ST., MT.
 Dekan Fakultas SAINS & TEKNOLOGI

Hormat saya



NURUL KHAIRIAH NASUTION
 1924210115

Catatan :

- 1. Surat permohonan ini sah dan berlaku bila ;
 - a. Telah dicap Bukti Pelunasan dari UPT Perpustakaan UNPAB Medan.
 - b. Melampirkan Bukti Pembayaran Uang Kuliah aktif semester berjalan
- 2. Dibuat Rangkap 3 (tiga), untuk - Fakultas - untuk BPAA (asli) - Mhs.ybs.

PERNYATAAN ORISINALITAS

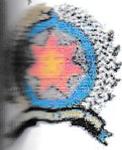
Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar keserjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Medan, 29 Januari 2022



NURUL KHAIRIAH NASUTION

NPM : 1924210115



UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI FAKULTAS SAINS & TEKNOLOGI

Jl. Jend. Gatot Subroto Km 4,5 Medan Fax. 061-8458077 PO.BOX : 1099 MEDAN

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI ARSITEKTUR	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI SISTEM KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI AGROTEKNOLOGI	(TERAKREDITASI)
PROGRAM STUDI PETERNAKAN	(TERAKREDITASI)

PERMOHONAN JUDUL TESIS / SKRIPSI / TUGAS AKHIR*

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap	: NURUL KHAIRIAH NASUTION
Tempat/Tgl. Lahir	: MEDAN / 00 0000
Nomor Pokok Mahasiswa	: 1924210115
Program Studi	: Teknik Elektro
Konentrasi	: Teknik Energi Listrik
Nilai Kredit yang telah dicapai	: 128 SKS, IPK 3.66
Nomor Hp	: 081318101454
Yang ini mengajukan judul sesuai bidang ilmu sebagai berikut	:

Judul

PERANCANGAN AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) MENGGUNAKAN SMART RELAY PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN PIEZOELEKTRIK SEBAGAI CATU DAYA CADANGAN UNTUK RUMAH TINGGALO

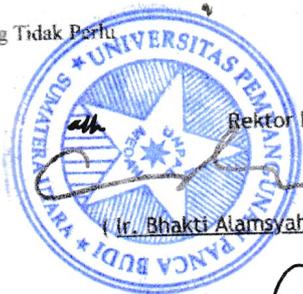
Diisi Oleh Dosen Jika Ada Perubahan Judul

Yang Tidak Perlu

Medan, 13 Agustus 2020

Remohon,

(Nurul Khairiah Nasution)



Rektor I,

(Ir. Bhakti Alamsyah, M.T., Ph.D.)

Tanggal :

Disahkan oleh:
Dosen Pembimbing I:

(Hamdani, ST., MT)

Tanggal :

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing I:

(Hamdani, ST., MT)

Tanggal :

Disetujui oleh:
Ka. Prodi Teknik Elektro

(Siti Anisah, ST., MT)

Tanggal :

Disetujui oleh:
Dosen Pembimbing II:

(Amani Darma Tarigan, ST., MT)



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA
PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
Jl. Jend. Gatot Subroto KM. 4,5 Medan Sunggal, Kota Medan Kode Pos 20122

SURAT BEBAS PUSTAKA
NOMOR: 1246/PERP/BP/2022

Kepala Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi menerangkan bahwa berdasarkan data pengguna perpustakaan atas nama saudara/i:

Nama : NURUL KHAIRIAH NASUTION
N.P.M. : 1924210115
Tingkat/Semester : Akhir
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Bahwasannya terhitung sejak tanggal 10 Januari 2022, dinyatakan tidak memiliki tanggungan dan atau pinjaman buku sekaligus tidak lagi terdaftar sebagai anggota Perpustakaan Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 10 Januari 2022
Diketahui oleh,
Kepala Perpustakaan



Rahmad Budi Utomo, ST.,M.Kom

No. Dokumen: FM-PERPUS-06-01
Revisi : 01
Tgl. Efektif : 04 Juni 2015



KARTU BEBAS PRAKTIKUM
Nomor. 02/BL/LTPE/2022

Yang bertanda tangan dibawah ini Ka. Laboratorium Elektro dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : NURUL KHAIRIAH NASUTION
N.P.M. : 1924210115
Tingkat/Semester : Akhir
Fakultas : SAINS & TEKNOLOGI
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro

Benar dan telah menyelesaikan urusan administrasi di Laboratorium Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, 12 Januari 2022
Ka. Laboratorium

[Approve By System]
D T O
Hamdani, S.T., M.T.



No. Dokumen : FM-LEKTO-06-01

Revisi : 01

Tgl. Efektif : 04 Juni 2015

SURAT KETERANGAN PLAGIAT CHECKER

Dengan ini saya Ka.LPMU UNPAB menerangkan bahwa surat ini adalah bukti pengesahan dari LPMU sebagai pengesah proses plagiat checker Tugas Akhir/ Skripsi/Tesis selama masa pandemi *Covid-19* sesuai dengan edaran rektor Nomor : 7594/13/R/2020 Tentang Pemberitahuan Perpanjangan PBM Online.

Demikian disampaikan.

NB: Segala penyalahgunaan/pelanggaran atas surat ini akan di proses sesuai ketentuan yang berlaku UNPAB.

Ka.LPMU

Yusni Muhandani Ritonga, BA., MSc

No. Dokumen : PM-UJMA-06-02	Revisi : 00	Tgl Eff : 23 Jan 2019
-----------------------------	-------------	-----------------------

Plagiarism Detector v. 1921 - Originality Report 1/11/2022 8:33:17 AM

Analyzed document: NURUL KHAIRIAH NASUTION_1924210115_T. ELEKTRO.docx Licensed to: Universitas Pembangunan Panca Budi_License03

Comparison Preset: Rewrite Detected language: Id

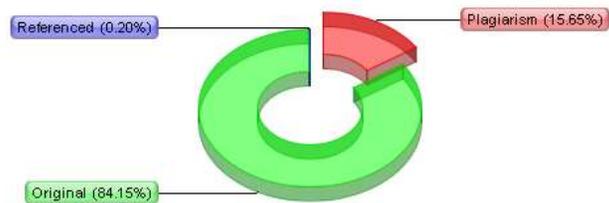
Check type: Internet Check

[tee_and_enc_string] [tee_and_enc_value]

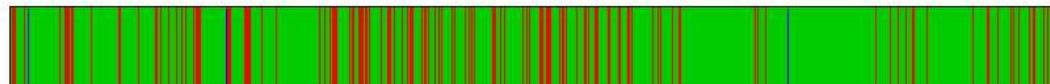


Detailed document body analysis:

Relation chart:



Distribution graph:





YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808
MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : NURUL KHAIRIAH NASUTION
Mahasiswa :
NPM : 1924210115
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : Hamdani, S.T., M.T
Judul Skripsi : PERANCANGAN AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) MENGGUNAKAN SMART RELAY PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN PIEZOELEKTRIK SEBAGAI CATU DAYA CADANGAN UNTUK RUMAH TINGGAL

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
01 September 2020	dapat lanjut seminar proposal, siapkan bahan presentasi	Disetujui	
10 Desember 2020	konduktor dihapus saja, lanjut kan bab berikutnya	Revisi	
15 Juni 2021	GAMBAR YANG BERSUMBER DARI PENULIS PERLU DI CEK, APAKAH BENAR DARI PENULIS, ATAU TEMAN PENULIS ?, YANG SAMA SAMA MELAKUKAN PENELITIAN ?	Revisi	
15 Juni 2021	LANJUTKAN SETELAH DIPERBAIKI	Revisi	
08 September 2021	perbaiki gambar 3.10, bagian adaptor 220 ke dc untuk supply board arduino. lanjutkan	Revisi	
27 September 2021	lanjutkan bab selanjutnya, dan lengkapi seluruh isi skripsi	Revisi	
16 Oktober 2021	acc seminar hasil, siapkan bahan presentasi	Disetujui	
31 Desember 2021	perbaiki tata tulis, dan kelengkapan lainnya. siapkan bahan presentasi yang lebih spesifik, pada hasil penelitian. acc sidang	Disetujui	
11 Januari 2022	acc sidang	Disetujui	

17 Februari 2022	acc jilid	Disetujui	
------------------------	-----------	-----------	--

Medan, 19 Februari 2022
Dosen Pembimbing,



Hamdani, S.T., M.T



YAYASAN PROF. DR. H. KADIRUN YAHYA

UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI

JL. Jend. Gatot Subroto KM 4,5 PO. BOX 1099 Telp. 061-30106057 Fax. (061) 4514808
MEDAN - INDONESIA

Website : www.pancabudi.ac.id - Email : admin@pancabudi.ac.id

LEMBAR BUKTI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : NURUL KHAIRIAH NASUTION
Mahasiswa :
NPM : 1924210115
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang Pendidikan : Strata Satu
Dosen Pembimbing : Amani Darma Tarigan, ST., MT
Judul Skripsi : PERANCANGAN AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS) MENGGUNAKAN SMART RELAY PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA DAN PIEZOELEKTRIK SEBAGAI CATU DAYA CADANGAN UNTUK RUMAH TINGGAL

Tanggal	Pembahasan Materi	Status	Keterangan
01 September 2020	ACC SEMINAR PROPOSAL	Disetujui	
12 Oktober 2020	silahkan lanjutkan ke BAB 2	Revisi	
03 Desember 2020	ganti beberapa gambar pada bab 2 dengan gambar asli yang akan dirancang pada skripsi	Revisi	
03 Desember 2020	lanjutkan ke BAB berikutnya	Revisi	
16 Juni 2021	tabel pada BAB 3 dibuat 2 spasi, berikan keterangan pada gambar flowchart	Revisi	
08 September 2021	lanjutkan ke bab berikutnya	Revisi	
23 September 2021	lengkapi dokumentasi pengukuran/pengujian, lanjutkan ke bab berikutnya, jadikan dalam 1 word dari cover hingga daftar pustaka	Revisi	
01 Oktober 2021	acc semhas	Disetujui	
28 Desember 2021	rapikan penulisan daftar isi daftar gambar dan daftar tabel, daftar lampiran juga masih kosong	Revisi	
06 Januari 2022	judul, 1.15 spasi dan ukuran tulisan 14, Nama, NPM, Prodi, Peminatan 1,5 spasi ukuran tulisan 12, Halaman dimulai dari kata pengantar, lihat dan baca lebih spesifik lg buku panduan penulisan skripsi. Abstrak dan Abstract 1 spasi. Perbaiki daftar isi, mana yg perlu di bold mana yg tidak di bold, daftar lampiran pada daftar isi berada paling bawah. daftar tabel dan daftar gambar belum di perbaiki dari hasil komentar saya yg lalu. judul yg ada pada latar belakang dibuat huruf kecil saja.	Revisi	
07 Januari 2022	belum ada perubahan	Revisi	

08 Januari 2022	perbaiki penulisan pada abstrak dan abstartc, halaman dari kata pengantar smpai daftar gambar berada di tengah bawah	Revisi	
08 Januari 2022	Acc sidang meja hijau	Disetujui	
17 Februari 2022	acc jilid	Disetujui	

Medan, 19 Februari 2022
Dosen Pembimbing,



Amani Darma Tarigan, ST., MT

Perancangan *Automatic Transfer Switch* (ATS) Menggunakan *Smart Relay* pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk Rumah Tinggal

Nurul Khairiah Nasution*
Hamdani, S.T., M.T**
Amani Darma Tarigan, S.T., M.T**

Universitas Pembangunan Panca Budi

ABSTRAK

Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah perusahaan penyedia sumber energi listrik di Indonesia. Namun, sumber energi listrik dari PLN dapat mengalami pemadaman yang dapat dikarenakan adanya gangguan pada sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi atau bisa juga pihak PLN sedang melakukan perawatan. Pemadaman listrik total dapat dihindari dengan cara menyediakan sumber energi listrik cadangan untuk rumah tinggal dengan memanfaatkan energi terbarukan, yaitu *solar cell* dan piezoelektrik. *Solar cell* menghasilkan energi listrik berdasarkan intensitas cahaya matahari, sedangkan piezoelektrik berdasarkan berat tekanan yang diberikan untuk piezoelektrik. Dalam proses perpindahan sumber energi listrik untuk menyuplai beban, digunakan sebuah sistem kontrol yang dikenal dengan sebutan *Automatic Transfer Switch* (ATS). ATS didesain dengan menggunakan *Smart Relay*, yaitu perangkat yang bekerja sebagai pemindah saklar sumber energi listrik. Hasil pengujian jeda waktu perpindahan *Smart Relay* saat PLN mengalami pemadaman adalah selama 0,44 detik. Pada saat PLN dapat menyuplai kembali beban, jeda waktu perpindahannya adalah selama 0,76 detik.

Kata kunci : *automatic transfer switch (ATS), solar cell, piezoelektrik, smart relay*

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro : nurulkhairiahnst@gmail.com

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

***Design of Automatic Transfer Switch (ATS) Using Smart Relay in
Solar and Piezoelectric Power Generation Systems
as Backup Power Supply for Residential Home***

Nurul Khairiah Nasution*
Hamdani, S.T., M.T**
Amani Darma Tarigan, S.T., M.T**

University of Pembangunan Panca Budi

ABSTRACT

Perusahaan Listrik Negara (PLN) is a provider of electrical energy sources in Indonesia. However, the source of electrical energy from PLN can experience blackouts which can be due to disturbances in the generating system, transmission system and distribution system or it could be that PLN is carrying out maintenance. Total power outages can be avoided by providing a backup source of electrical energy for residential home by utilizing renewable energy, namely solar cells and piezoelectric. Solar cells produce electrical energy based on the intensity of sunlight, while piezoelectricity is based on the weight of the pressure applied to the piezoelectric. In the process of transferring electrical energy sources to supply the load, a control system known as Automatic Transfer Switch (ATS) is used. ATS is designed using Smart Relay, which is a device that works as a switch switch for electrical energy sources. The test results of the Smart Relay transfer time lag when PLN experiences a blackout is 0.44 seconds. When PLN can supply the load again, the lag time for the transfer is 0.76 seconds.

Keywords : automatic transfer switch (ATS), solar cell, piezoelectric, smart relay

* *Student of Electrical Engineering Study Program :*
nurulkhairiahnst@gmail.com

** *Lecturer of Electrical Engineering Study Program*

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penayang, penulis panjatkan puja dan puji syukur atas kehadiran-Nya, yang melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi ini disusun dan diajukan sebagai salah satu syarat untuk menempuh ujian akhir memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.

Dalam skripsi ini, penulis akan membahas tentang perancangan *Automatic Transfer Switch (ATS)* menggunakan *Smart Relay* pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk rumah tinggal.

Dalam pembuatan skripsi ini, penulis banyak menghadapi masalah dan kesulitan, namun berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, baik berupa moral, informasi, maupun material. Oleh karena itu, sudah selayaknya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. H. Muhammad Isan Indrawan, S.E., M.M., selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi.
2. Bapak Hamdani, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi dan Dosen Pembimbing I yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan saran dalam pembuatan dan penulisan Skripsi ini.
3. Ibu Siti Anisah, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
4. Bapak Amani Darma Tarigan, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan saran dalam pembuatan dan penulisan Skripsi ini.

5. Seluruh staf pengajar maupun pegawai yang berada di Universitas Pembangunan Panca Budi.
6. Kedua Orang tua dan saudara-saudara penulis yang tak pernah berhenti memberi dukungan baik secara moral maupun material dalam penyusunan Skripsi ini.
7. Muhammad Rezki Sentosa yang sudah membantu dan mendukung penulis dalam pengerjaan Skripsi ini.
8. Janice Angelina Br. Tarigan, temen seperjuangan penulis yang tak pernah menyerah dan tetap saling mendukung dalam menyelesaikan Skripsi ini.
9. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Skripsi.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca.

Medan, 29 Januari 2022

**NURUL KHAIRIAH NASUTION
NPM : 1924210115**

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

ABSTRAK

ABSTRACT

KATA PENGANTAR..... i

DAFTAR ISI..... iii

DAFTAR TABEL vi

DAFTAR GAMBAR..... vii

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Batasan Masalah..... 4

1.4 Tujuan Penelitian..... 5

1.5 Manfaat Penelitian..... 5

1.6 Metode Penelitian..... 6

1.7 Sistematika Penulisan 7

BAB 2 LANDASAN TEORI..... 9

2.1 Tinjauan Pustaka 9

2.2 *Automatic Transfer Switch (ATS)*..... 17

2.3 Relay 19

2.3.1 Prinsip Kerja Relay 20

2.3.2 Jenis - Jenis Relay 21

2.4 Sel Surya (*Solar Cell*) 22

2.4.1 Sejarah Sel Surya 24

2.4.2 Prinsip Kerja Sel Surya 25

2.4.3 Jenis – Jenis Panel Surya..... 29

2.4.4 Kelebihan Sistem Pembangkit Tenaga Surya..... 29

2.5 Piezoelektrik 30

2.5.1	Prinsip Kerja Piezoelektrik	32
2.5.2	Pemanfaatan Piezoelektrik	35
2.5.3	Kelebihan dan Kekurangan Piezoelektrik	37
2.6	<i>Solar Charge Controller (SCC)</i>	37
2.7	Baterai.....	39
2.7.1	Jenis - Jenis Baterai.....	40
2.7.2	Prinsip Kerja Baterai.....	41
2.7.3	Kapasitas Baterai	42
2.8	Inverter.....	42
2.9	<i>Liquid Cristal Display (LCD)</i>	44
2.10	Lampu Indikator.....	48
2.11	Arduino Nano.....	49
2.11.1	Kelebihan Arduino	53
2.11.2	Memori Arduino Nano	54
2.11.3	Sistem Komunikasi Arduino Nano	54
2.11.4	Pemrograman Arduino Nano	55
2.12	Terminal Kabel.....	58
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	59
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	59
3.2	Perancangan Blok Diagram	59
3.3	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>).....	61
3.3.1	Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	61
3.3.2	Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik	64
3.3.3	Rangkaian Regulator Tegangan.....	67
3.3.4	Rangkaian Relay	69
3.3.5	Rangkaian <i>Liquid Crystal Display (LCD)</i>	71
3.3.6	Rangkaian Sistem <i>Automatic Transfer Switch (ATS)</i>	71
3.3.7	Rangkaian Sistem Pengisian Baterai Otomatis.....	73
3.4	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>).....	75

3.4.1	<i>Flowchart Program</i>	76
3.4.2	Pemrograman Sistem ATS	78
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	80
4.1	Pengukuran Sumber Tegangan dari PLN	80
4.2	Pengukuran Sumber Tegangan dari Catu Daya Cadangan.....	83
4.3	Pengujian Sistem <i>Automatic Transfer Switch</i> (ATS).....	87
4.3.1	Pengujian Rangkaian <i>Smart Relay</i>	87
4.3.2	Pengujian Rangkaian Lampu Indikator.....	90
4.4	Pengukuran Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	92
4.5	Pengukuran Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik.....	95
4.6	Pengukuran Baterai	102
4.7	Pengujian Sistem Pengisian Baterai secara Otomatis	107
BAB 5	PENUTUP	110
5.1	Kesimpulan	110
5.2	Saran	111
	DAFTAR PUSTAKA	114
	LAMPIRAN 1	118
	LAMPIRAN 2	119
	LAMPIRAN 3	123
	LAMPIRAN 4	125
	LAMPIRAN 5	126
	LAMPIRAN 6	133
	LAMPIRAN 7	135

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Panel Surya Monokristal Model GH10M-18	63
Tabel 3.2	Spesifikasi <i>Solar Charge Controller</i> (SCC) Tipe PWM	64
Tabel 3.3	Spesifikasi <i>Solar Charge Controller</i> (SCC) Model W88-A	67
Tabel 3.4	Spesifikasi Regulator Tegangan Modul LM2596S-ADJ	67
Tabel 3.5	Spesifikasi Arduino Nano ATmega328P	74
Tabel 4.1	Pengukuran Sumber Tegangan dari PLN	81
Tabel 4.2	Pengukuran Sumber Tegangan dari Inverter.....	84
Tabel 4.3	Pengujian Jeda Waktu Perpindahan Relay 1 (PLN) ke Relay 2 (Catu Daya Cadangan).....	88
Tabel 4.4	Pengujian Jeda Waktu Perpindahan Relay 2 (Catu Daya Cadangan) ke Relay 1(PLN).....	89
Tabel 4.5	Pengujian Jeda Waktu Perpindahan Lampu Indikator.....	91
Tabel 4.6	Pengukuran Panel Surya	93
Tabel 4.7	Pengukuran Piezoelektrik yang Disusun Secara Seri	97
Tabel 4.8	Pengukuran Piezoelektrik yang Disusun Secara Paralel.....	98
Tabel 4.9	Data Hasil Pengukuran Baterai	105
Tabel 4.10	Pengujian Jeda Waktu Perpindahan Posisi Saklar Relay 3.....	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Modul Relay	19
Gambar 2.2	Jenis-Jenis Relay Berdasarkan <i>Pole</i> dan <i>Throw</i>	22
Gambar 2.3	<i>Photovoltaic Cell</i>	23
Gambar 2.4	Proses Perubahan Cahaya Menjadi Arus Listrik	26
Gambar 2.5	Kurva Karakteristik I-V Sel Surya pada STC.....	27
Gambar 2.6	Piezoelektrik	31
Gambar 2.7	Perubahan Distribusi Muatan Pada Piezoelektrik.....	33
Gambar 2.8	<i>Solar Charge Controller</i>	38
Gambar 2.9	Baterai	39
Gambar 2.10	Inverter	44
Gambar 2.11	LCD 16×2	48
Gambar 2.12	Lampu Indikator.....	49
Gambar 2.13	Arduino Nano	50
Gambar 2.14	Tampilan Awal <i>Software</i> Arduino IDE.....	56
Gambar 2.15	Terminal <i>Block</i>	58
Gambar 3.1	Blok Diagram Rangkaian	59
Gambar 3.2	Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	62
Gambar 3.3	Rangkaian Piezoelektrik yang Disusun Secara Seri.....	65
Gambar 3.4	Rangkaian Piezoelektrik yang Disusun Secara Paralel	65
Gambar 3.5	Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik	66
Gambar 3.6	Rangkaian Regulator Tegangan.....	69
Gambar 3.7	Rangkaian Relay untuk Sistem <i>Automatic Transfer Switch</i> (ATS) .	70
Gambar 3.8	Rangkaian Relay untuk Sistem Pengisian Baterai Otomatis	70
Gambar 3.9	Rangkaian LCD 16×2.....	71
Gambar 3.10	Rangkaian Sistem <i>Automatic Transfer Switch</i> (ATS).....	72
Gambar 3.11	Rangkaian Sistem Pengisian Baterai Otomatis.....	74
Gambar 3.12	<i>Flowchart Program</i>	76
Gambar 4.1	Multimeter Analog untuk Pengukuran Sistem ATS	80

Gambar 4.2	Terminal Kabel PLN	81
Gambar 4.3	Grafik Pengukuran Sumber Tegangan PLN	82
Gambar 4.4	Posisi Kabel Multimeter untuk Pengukuran Inverter	83
Gambar 4.5	Grafik Pengukuran Tegangan <i>Input</i> dari Inverter	85
Gambar 4.6	Grafik Pengukuran Tegangan <i>Output</i> dari Inverter	86
Gambar 4.7	Rangkaian Sistem <i>Automatic Transfer Switch</i> (ATS).....	87
Gambar 4.8	Hasil Pengujian Sistem <i>Automatic Transfer Switch</i> (ATS).....	91
Gambar 4.9	Suhu Udara saat Pengukuran Panel Surya.....	93
Gambar 4.10	Grafik Pengukuran Panel Surya.....	94
Gambar 4.11	Rangkaian Seri Piezoelektrik.....	96
Gambar 4.12	Rangkaian Paralel Piezoelektrik	96
Gambar 4.13	Grafik Pengukuran Piezoelektrik yang Disusun Secara Seri.....	97
Gambar 4.14	Grafik Pengukuran Piezoelektrik yang Disusun Secara Paralel	98
Gambar 4.15	Grafik Pengukuran Piezoelektrik Disusun Secara Seri dan Paralel	100
Gambar 4.16	Kode Program Untuk Pengujian Rangkaian LCD 16×2	103
Gambar 4.17	Tampilan LCD 16×2 Berdasarkan Kode Program.....	104
Gambar 4.18	Terminal Kabel untuk Baterai.....	104
Gambar 4.19	Grafik Pengukuran Baterai	106
Gambar 4.20	Sistem Pengisian Baterai	108

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting sebagai sumber daya ekonomis yang dibutuhkan dalam suatu kegiatan usaha. Dalam waktu yang mendatang kebutuhan listrik akan meningkat, seiring dengan adanya peningkatan jumlah penduduk, jumlah investasi yang semakin meningkat akan memunculkan berbagai industri baru. Penggunaan listrik merupakan faktor yang penting dalam kehidupan masyarakat, baik pada sektor rumah tangga, industri dan sebagainya. (Akbar, 2018)

Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah perusahaan satu-satunya yang menyediakan sumber energi listrik di Indonesia. Energi listrik digunakan untuk memenuhi kehidupan sehari-hari manusia, dimana hampir semua peralatan baik di dalam rumah tangga, rumah sakit, lembaga pendidikan, maupun industri-industri sangat membutuhkan energi listrik tersebut. Namun, sumber energi listrik dari PLN tidak selamanya kontinu dalam penyalurannya. Sumber energi listrik tersebut dapat mengalami pemadaman yang dapat disebabkan oleh gangguan pada sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi atau bisa juga pihak PLN sedang melakukan perawatan. Terjadinya pemadaman akan membuat kegiatan sehari-hari terkhususnya di dalam rumah tertunda bahkan terhenti.

Pemadaman listrik total dapat dihindari dengan cara menyediakan sumber energi listrik cadangan. Sumber pembangkit listrik yang dapat digunakan sebagai *back-up* suplai utama dari PLN adalah dengan menggunakan Catu Daya Cadangan. Sumber energi listrik untuk Catu Daya Cadangan dapat memanfaatkan energi terbarukan. Dengan memanfaatkan energi terbarukan dapat membantu mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan alam. Selain itu energi terbarukan memiliki jumlah yang melimpah dan berkelanjutan yang tersedia di alam dan memiliki waktu yang relatif lama, sehingga tidak perlu khawatir akan ketersediannya.

Sistem energi terbarukan telah diprioritaskan untuk meminimalkan konsekuensi yang disebabkan oleh penggunaan sumber daya alam di pembangkit energi seperti efek rumah kaca dan pencemaran lingkungan. Pemanfaatan pembangkit energi listrik terbarukan kini bisa menghasilkan daya yang relatif besar dan mengurangi konsumsi sumber daya alam. Kebutuhan untuk menghemat energi sangat penting karena akan menghasilkan efek positif yang signifikan dalam jangka panjang. (Madia, 2017)

Energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai sumber energi listrik ialah dengan memanfaatkan sinar matahari dan efek piezoelektrik. Indonesia merupakan negara tropis yang memancarkan sinar matahari pada siang hari. Pancaran sinar matahari tersebut dapat menghasilkan energi listrik dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik atau disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Selain memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi listrik, energi listrik dapat

juga dihasilkan melalui efek piezoelektrik, yaitu energi listrik yang dihasilkan apabila diberi tekanan pada kristal piezoelektrik atau disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik.

Dalam proses mengubah suatu energi menjadi energi lain diperlukan sebuah alat yang disebut *tranduser*. *Tranduser* sebagai suatu alat yang mengubah gaya mekanis menjadi sinyal listrik. *Tranduser* Piezoelektrik merupakan salah satu *tranduser* aktif dengan prinsip kerja pembangkitan listrik dari bahan kristal akibat dari gaya pijakan atau tekanan. (Utomo, Kholid, & Aris Heri Andriawan, 2019)

Pada umumnya, sistem yang digunakan dalam pengoperasian catu daya cadangan adalah dengan sistem manual. Sistem manual adalah sistem yang mengandalkan seorang operator secara penuh dalam pengoperasian catu daya cadangan. Operator bekerja sebagai pemindah saklar yaitu sebagai pemutus dan penghubung antara beban dengan sumber energi listrik, baik itu dari PLN atau catu daya cadangan. Kesiapan operator sangat diperlukan untuk menghindari terjadinya gangguan terhadap ketersediaan sumber energi listrik.

Mengubah sistem pengoperasian dari sistem manual menjadi sistem otomatis merupakan salah satu cara untuk meminimalisir gangguan terhadap ketersediaan sumber energi listrik. Sistem pengoperasian secara otomatis lebih dikenal dengan sebutan *Automatic Transfer Switch* (ATS). ATS merupakan rangkaian pemindah sumber arus listrik untuk menuju beban secara otomatis. Desain modul untuk ATS ini akan menggunakan *Smart Relay*. *Smart Relay* merupakan perangkat otomatis yang bekerja sebagai saklar pemindah dari sumber listrik PLN ke catu daya cadangan,

ketika sumber listrik PLN mengalami pemadaman atau dari catu daya cadangan ke sumber listrik PLN, ketika sumber listrik PLN dapat kembali menyuplai beban pada rumah tinggal. Rangkaian sistem ATS ini akan dirancang oleh peneliti dengan judul Perancangan *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk Rumah Tinggal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah diuraikan di atas, permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang *Automatic Transfer Switch* (ATS) pada pembangkit listrik tenaga surya dan piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk rumah tinggal?
2. Bagaimana sistem kerja alat *Automatic Transfer Switch* (ATS) pada pembangkit listrik tenaga surya dan piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk rumah tinggal?

1.3 Batasan Masalah

Diperlukan suatu ruang lingkup atau suatu batasan masalah yang jelas dalam melakukan suatu penelitian. Hal ini bertujuan supaya pembahasan dalam penelitian lebih jelas dan terarah untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik sebagai catu daya cadangan kelistrikan rumah tinggal.

2. *Solar cell* yang digunakan sebesar 10 WP.
3. Sensor piezoelektrik yang dipakai dalam rangkaian hanya 10 buah.
4. Baterai Aki 12 V_{DC} sebagai tempat penyimpan tegangan dari pembangkit.
5. Pengujian dalam proses pengisian dan pengosongan baterai tidak dilakukan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* pada sistem pembangkit listrik tenaga surya dan piezoelektrik sebagai penyuplai tegangan kelistrikan rumah tinggal.
2. *Automatic Transfer Switch* (ATS) akan bekerja jika PLN dalam keadaan *OFF* dan *Smart Relay* akan menyuplai tegangan dari pembangkit dan menyalakan sistem kelistrikan rumah tinggal.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dapat mengetahui bagaimana merancang *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* pada sistem pembangkit listrik tenaga surya dan piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk rumah tinggal.
2. Pemilik alat dapat menggunakan listrik di dalam rumah tanpa mengalami pemadaman listrik.
3. Penelitian ini merupakan salah satu jalan pembelajaran dalam pengaplikasian ilmu yang sudah diperoleh oleh peneliti ke dalam bentuk

nyata. Sehingga dengan ilmu yang diperoleh dalam perkuliahan peneliti dapat membuat rancangan alat *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* pada sistem pembangkit listrik tenaga surya dan piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk rumah tinggal.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan ada beberapa tahap antara lain:

1. Studi Literatur

Studi ini digunakan untuk memperoleh informasi tentang teori-teori dasar sebagai sumber penulisan skripsi ini. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang diberikan dosen pembimbing, rekan-rekan mahasiswa, internet, *datasheet*, dan buku-buku yang berhubungan dengan skripsi ini.

2. Perancangan Alat dan Sistem

Perancangan sistem merupakan tahap awal untuk mencoba memahami, menerapkan, dan menggabungkan semua literatur yang diperoleh maupun yang telah dipelajari.

3. Uji Sistem

Uji sistem ini berkaitan dengan pengujian sistem.

4. Metode Analisa

Metode ini merupakan pengamatan terhadap data yang diperoleh dari alat ini, sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran untuk pengembangan lebih lanjut.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pemahaman pembahasan skripsi ini maka penulis menyajikan dalam beberapa bab sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian serta sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan tentang penjelasan mengenai teori-teori yang akan digunakan dalam perancangan alat yang dipilih berdasarkan temuan dari penelitian yang pernah ditemukan pihak lain sebelumnya, serta referensi valid lain yang terkait dan menjadi dasar penelitian. Adapun teori-teori yang akan digunakan bersumber dari jurnal, prosiding, buku dan media lainnya yang dapat membantu teoritis dari penelitian ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang penjelasan dalam bentuk skema mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam proses penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan skripsi.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang alur pengujian dan hasil dari perancangan sistem disertai dengan pembahasannya, berdasarkan indikator kerja yang telah dijelaskan sebelumnya.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini menguraikan tentang kesimpulan dari hasil perancangan yang sudah dianalisa dan sesuai dengan tujuan yang diinginkan serta saran yang dapat dijadikan pedoman untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Sebagai referensi-referensi pendukung dalam penulisan skripsi ini untuk menghindari terjadinya kesamaan dalam penulisan dengan skripsi orang lain.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam penelitian Endang Susanti dan Ikro Bistama tentang Perancangan Sistem Penerangan Lampu dengan Teknologi Piezoelektrik PZT di Fakultas Teknik Universitas Riau Kepulauan. Penelitian ini akan membahas proses pembuatan dan perancangan prototipe alat penghasil listrik dari tekanan mekanik berbasis piezoelektrik, pengaruh konfigurasi rangkaian seri dan paralel serta pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi terhadap tegangan keluaran dari piezoelektrik. (Susanti & Bistama, 2020)

Dalam penelitian Fernando Tawurisi, Glanny M. Ch. Mangindaan dan Sartje Silimang tentang Rancang Bangun Sistem Kendali *Automatic Transfer Switch* Perusahaan Listrik Negara – Generator Set. Penelitian ini menghasilkan alat *Automatic transfer Switch (ATS)/Automatic Main Failure (AMF)* yang dapat memindahkan suplai dari PLN ke Genset ataupun sebaliknya. Dari beberapa analisa didapatkan, ATS/AMF mampu mengakuisisi data berupa tegangan dengan galat rata-rata sebesar 4.57 V_{AC}. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa terdapat jeda waktu antara suplai PLN yang mengalami gangguan sampai genset dihidupkan dan siap dibebani yaitu sebesar 15 detik. Dan pada saat PLN kembali normal didapatkan jeda waktu kurang dari 1 detik dalam perpindahan suplai dari genset ke PLN. (Tawurisi, Mangindaan, & Silimang, 2019)

Dalam penelitian Dido Dirgantara Dewangga, Suhanto, dan Lady Silk Moonlight tentang Rancang Bangun *Prototype Kontrol dan Monitoring Automatic Transfer Switch (ATS)* pada PLN dan *Solar Cell* Berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)*. Hasil dari perancangan *Automatic Transfer Switch (ATS)* ini dibuat menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)* dan dapat bekerja dengan baik dengan menggunakan sensor tegangan ZMPT101B sebagai pendeteksi adanya tegangan pada PLN maupun *solar cell*. Sebagai pusat kendali dalam pemindahan beban dengan *Human Machine Interface (HMI)* untuk menampilkan arus dengan menggunakan sensor arus ACS712. (Dewangga, Suhanto, & Moonlight, 2019)

Dalam penelitian Yuanda Widyo Utomo, Mohammad Abdurrokhman Kholid, dan Aris Heri Andriawan, ST. MT tentang *Hybrid Piezoelektrik dan Solar Cell*. Mengembangkan gabungan energi baru terbarukan yang memanfaatkan energi panas matahari dan energi yang diaplikasikan pada batu pijakan rematik untuk penerangan lampu taman. Cara kerja mekanismenya ketika batu rematik di pijak akan mengeluarkan listrik yang digabungkan dengan *solar cell* dan disimpan ke *battery*. Sensor alat yang digunakan adalah piezoelektrik yang dirangkai secara seri dan paralel sehingga mendapat keluaran tegangan 14 volt dengan arus 0.2 *ampere*, dan spesifikasi *sollar cell* menggunakan 100 WP, tegangan *hybrid* yang dihasilkan dari 2 pembangkit PLTS 63.5 Watt/jam dan piezoelektrik 2.7 Watt/jam. (Utomo, Kholid, & Aris Heri Andriawan, 2019)

Dalam penelitian Sumardi Sadi dan Sri Mulyani tentang *ATS (Automatic Transfer Switch)* Berbasis *Programmable Logic Controller CPM1A*. PLC digunakan

sebagai *switch control* sistem ATS yang bekerja secara otomatis dan manual dalam mengatur waktu operasi dari masing–masing unit pembangkit dalam upaya mensuplai beban. Dimana kontroler dari PLC ini bekerja sesuai instruksi yang telah dibuat oleh perancang dalam bentuk bahasa pemrograman *ladder diagram* sehingga pengaturan waktu operasi perpindahan PLN saat terjadi pemadaman listrik ke genset dapat ditentukan secara fleksibel sesuai keinginan. Berdasarkan hasil pengujian, waktu yang diperlukan dalam perpindahan sumber listrik utama saat terjadi pemadaman listrik PLN memerlukan waktu rata-rata selama 1 detik sehingga tidak terjadi kedip pada lampu penerangan. Sistem kontrol *Automatic Transfer Switch* yang dilakukan oleh PLC dapat dioperasikan secara *mode auto* dan *mode manual*. Penerapan kontroler sistem *Automatic Transfer Switch* berbasis PLC ini diterapkan pada beban skala kecil yaitu beban rumah tangga dengan kapasitas tegangan 1 fasa dari setiap sumber listrik. (Sadi & Mulyani, 2019)

Dalam penelitian Henry Alfredy Sinaga tentang Perancangan *Smart Relay* pada *Automatic Transfer Switch* (ATS) untuk Generator Set pada RSUD DR.H. Kumpulan Pane Kota Tebing Tinggi. Hasil rancangan *Smart Relay* pada *Automatic Transfer Switch* berguna untuk mempermudah pengawasan dalam penggunaan Genset dengan tegangan keluaran 220 V membutuhkan waktu selama 1.25 detik untuk mensuplai beban. Ketika suplai utama PLN hidup kembali genset akan memutus suplai selama 1.03 detik dan saat itu lah genset akan berhenti beroperasi. Tampilan *display* “*Start Failure*” pada *smart relay* akan berkedip disertai bunyi alarm pada saat genset berhenti bekerja atau trip saat terjadi gangguan. (Sinaga, 2018)

Dalam penelitian Aidil Akmal Madia tentang Prototipe Alat Penghasil Listrik dari Tekanan Mekanik Berbasis Piezoelektrik. Penelitian ini membahas proses pembuatan sebuah prototipe alat penghasil listrik dari tekanan mekanik berbasis piezoelektrik, pengaruh konfigurasi rangkaian seri dan paralel serta pengaruh pembebanan tekanan yang bervariasi terhadap tegangan keluaran dari piezoelektrik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dimana tekanan yang diberikan pada piezoelektrik bervariasi sehingga menghasilkan tegangan keluaran yang diinginkan. Pada pengujian alat untuk rangkaian seri dan paralel, digunakan masing-masing 2 objek yang berbeda yaitu pengujian terhadap pijakan manusia dan pengujian terhadap beban selain pijakan manusia. Tegangan rata-rata yang dihasilkan pengujian rangkaian seri terhadap pijakan manusia adalah 3.867 V, 6.067 V, 6.567V, 7.63 V, 9.736 V, dan 10.366 V untuk masing-masing berat badan berturut-turut 20 kg, 35 kg, 42 kg, 49 kg, 55 kg dan 60 kg. Tegangan rata-rata yang dihasilkan pengujian rangkaian seri terhadap beban selain pijakan manusia adalah 0.093 V, 0.53 V, 0.73 V, 0.867 V, dan 1.33 V untuk masing-masing berat benda berturut-turut 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, dan 5 kg. Tegangan rata-rata yang dihasilkan pengujian rangkaian paralel terhadap pijakan manusia adalah 2.23 V, 3.167 V, 3.63 V, 4.13 V, dan 4.6 V untuk masing-masing berat badan berturut-turut 20 kg, 35 kg, 42 kg, 49 kg, dan 55 kg. Tegangan rata-rata yang dihasilkan pengujian rangkaian paralel terhadap beban selain pijakan manusia adalah 0.196 V, 0.253 V, 0.306 V, 0.353 V, dan 0.503 V untuk masing-masing berat benda berturut-turut 1 kg, 2 kg, 3 kg, 4 kg, dan 5 kg. Tegangan rata-rata yang disimpan kapasitor selama 30

detik setiap 5 detik berturut-turut adalah 0.4 V, 0.9 V, 1.4 V, 1.8 V, 2.4 V dan 2.9 V. (Madia, 2017)

Dalam penelitian Rif'at, Noor Saputera, dan Rahmat Hidayat tentang *Automatic Transfer Switch* Berbasis *Programmable Logic Controller* *Zelio* Menggunakan Energi Terbarukan. Penelitian ini menggunakan PLC sebagai sistem kontrol, dimana PLC akan mengontrol ATS yaitu dengan menghidupkan *solar cell* secara otomatis, ketika terjadi pemadaman listrik. (Rif'at, Saputera, & Hidayat, 2017)

Dalam penelitian Riyan Cahya P tentang Analisa Performansi dan *Monitoring* Berbasis *Web* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Fakultas Teknologi Industri ITS. Untuk menunjang kinerja PLTS dibutuhkan *monitoring* berbasis *web* untuk *monitoring* kinerja PLTS saat terjadi kerusakan. Dengan menggunakan sistem pemantauan nirkabel *raspberry pi* sebagai pengganti *zigbee* yang dirancang untuk menggantikan penggunaan kabel secara konvensional. Dari hasil analisa *monitoring* nilai rata-rata *throughput* yang didapat adalah sebesar 0.60822047 Kbps. Rata-rata nilai *delay* yang terjadi hanya bernilai 0.469370341 ms dengan *packet loss* yang didapatkan sebesar 0%. Efisiensi rata-rata *PV array* didapatkan sebesar 10.78% dan efisiensi sistem PV sebesar 6.77%. Peramalan efisiensi rata-rata PV selama beroperasi sebesar 12%, sedangkan nilai efisiensi aktualnya 10%, kesalahan peramalan efisiensi sebesar 2%. (P, 2017)

Dalam penelitian Deni Almanda, Erwin Dermawan, Ery Diniardi, Syawaluddin, dan Anwar Ilmar Ramadhan tentang Pengujian Model Piezoelektrik PVDF Berdasarkan Variasi Tekanan. Pada penelitian ini piezoelektrik diaplikasikan dengan memanfaatkan tekanan air hujan, hal ini bertujuan untuk mengurangi

penggunaan listrik dari pemerintah untuk skala kecil di rumah tangga. Bahan dasar yang digunakan dalam membuat piezoelektrik adalah *baking soda*, *distilled water* dan *cream of tartar*. Penelitian ini dilakukan dengan menentukan ukuran cetakan piezoelektrik yang terbaik menggunakan CAD Code, yaitu $1 \times 1 \times 0.5 \text{ cm}^3$. Selanjutnya dilakukan pembuatan material piezoelektrik dengan mereaksikan beberapa bahan, lalu hasilnya diuji dengan multimeter digital dan *oscilloscop*. Hasil tegangan pada *oscilloscop* berurutan dari tekanan rendah, normal dan tinggi adalah 0.104 DC Volt, 0.496 DC Volt, dan 0.720 DC Volt. Setelah didapatkan hasil tegangan selanjutnya, dilakukan pembuatan rangkaian listrik seri dan menghasilkan tegangan sebesar 2.0 DC Volt, 2.10 DC Volt dan 2.34 DC Volt. Kemudian dibuat rangkaian listrik dan pengujian model piezoelektrik agar dapat diketahui kinerja piezoelektrik pada sistem. (Almanda, Dermawan, Diniardi, Syawaluddin, & Ramadhan, 2016)

Dalam penelitian Wira Hidayatullah, Mahdi Syukri, dan Syukriyadin tentang Perancangan *Prototype* Penghasil Energi Listrik Berbahan Dasar Piezoelektrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik serta unjuk kerja dari piezoelektrik sebagai pembangkit energi listrik. Pada penelitian ini percobaan yang dilakukan menghasilkan tegangan 0.702 V ketika diberi gaya 49 N, tegangan akan meningkat seiring kuat gaya yang diberikan terhadap piezoelektrik. Pada pengujian arus yang dilakukan dengan memberi gaya sebesar 49 N dengan beban resistor 10Ω maka arus yang dihasilkan sebesar $50.2 \mu\text{A}$, dan arus akan berkurang seiring bertambahnya beban yang diberi. (Hidayatullah, Syukri, & Syukriyadin, 2016)

Dalam penelitian Fathur Rahman, Abdul Natsir, dan Giri Wahyu W. tentang Rancang Bangun ATS/AMF sebagai Pengalih Catu Daya Otomatis Berbasis

Programmable Logic Control. ATS/AMF ini dikendalikan dengan PLC sebagai kontrol otomatis sehingga memudahkan dalam pembuatan dan meminimalisir biaya dalam penggunaan komponen. ATS yang digunakan menggunakan sensor tambahan sebagai penunjang berupa mikrokontroler yaitu arduino. Arduino membaca masukan variabel dari masukan tegangan dan frekuensi. Batas standar sensor *overvoltage* tidak melebihi dari $230 V_{AC}$ yang diwakili dengan tegangan $2.90 V_{DC}$ dan *undervoltage* tidak lebih rendah dari $200 V_{DC}$ yang diwakili dengan $2.30 V_{DC}$ serta sensor frekuensinya tidak berada di bawah 49.5 Hz dan tidak melebihi 51 Hz. Perpindahan dari suplai PLN ke genset mengalami beberapa tahap. Pertama, tahap *bumper* yang dilakukan oleh PV sebagai penanggulangan kehilangan suplai sementara sampai genset dapat digunakan. Kemudian proses *starting* genset selama 5 detik, pemanasan genset selama 10 detik. Tahap kedua adalah proses perpindahan suplai dari suplai PV sebagai *bumper* menjadi genset ketika sensor membaca masukan sesuai standar yang digunakan. Tahap ketiga adalah pengambil alihan kembali suplai oleh PLN saat PLN kembali aktif dan semua catu daya yang mensuplai ke beban diputus. (Rahman, Natsir, & W, 2015)

Dalam penelitian I. P. Krisna Darma Putra, I. A. D. Giriantari, I. W. Arta Wijaya tentang Perencanaan Sistem Jaringan Mikro (*Microgrid*) dengan *Supply* dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Generator Set di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana. Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan PLTS hanya mampu melayani beban dalam keadaan *on-grid* sebesar 0,66% dari total produksi energi listrik yang dihasilkan sedangkan dalam kondisi *off-grid* PLTS hanya mampu melayani beban gedung DJ dan gedung DH (beban penerangan dan kotak kontak)

sebesar 3,21% dan generator set yang terpasang di Jurusan Teknik Elektro melayani sebesar 96,79%. Kapasitas PLTS yang harus terpasang untuk dapat memenuhi seluruh beban gedung di Jurusan Teknik Elektro adalah sebesar 211.814 Watt dengan jumlah *PV Module* yang diperlukan sebanyak 26.267 buah. Jumlah ini dipengaruhi oleh kecilnya. (Putra, Giriantari, & Wijaya, 2015)

Dalam penelitian Utis Sutisna, Karyono dan Siswanto Nurhadiyono tentang Perancangan Saklar Pemindah Otomatis pada Instalasi Genset dengan Parameter Transisi Berupa Arus Berbasis Mikrokontroler ATmega16. Penelitian ini dibuat simulasi secara *software* dan *hardware* menggunakan mikrokontroler ATmega16 sebagai kontroler utama dari suatu saklar pemindah otomatis pada instalasi genset. Arus dari sumber ke beban dideteksi oleh sensor arus ACS712. Dari hasil pengujian diketahui bahwa sistem saklar pemindah otomatis dalam simulasi ini mempunyai waktu perpindahan dari PLN ke genset selama 6,00 detik pada simulasi *software* dan selama 6,53 detik pada simulasi *hardware*. Sedangkan perpindahan dari genset ke PLN yaitu selama 1,03 detik pada simulasi *software* dan selama 1,25 detik pada simulasi *hardware*. (Sutisna, Karyono, & Nurhadiyono, 2015)

Dalam penelitian Andi Wawan Indrawan, Hamma, Muhammad Ilyas Syarif, dan Hatma Rudito tentang Perancangan Panel ATS/AMF Tiga Fasa Menggunakan *Smart Relay* dengan Pembatasan Daya Maksimum 10000 VA. Agar suplai listrik tetap terjaga, PLC mendeteksi adanya suplai listrik dari suplai utama dan mengalihkannya ke pembangkit cadangan yaitu Genset secara otomatis ketika suplai listrik dari sumber utama terputus. Hasil pengujian rancangan menunjukkan pengalihan suplai energi utama yang berasal dari PLN ke Genset maupun sebaliknya

bekerja sesuai yang diharapkan, dimana ketika sumber dari PLN terjadi pemadaman maka ATS/AMF akan menjalankan *starting engine* hingga Genset siap dan sebaliknya ketika sumber dari PLN kembali tersedia, ATS/AMF akan mengembalikan suplai ke PLN secara otomatis. Waktu yang dibutuhkan untuk proses perpindahan sumber PLN ke Genset adalah selama 25 detik. Jeda waktu perpindahan dari Genset ke PLN adalah selama 2 detik dan dalam waktu 30 detik Genset akan mati secara otomatis. (Indrawan, Hamma, Syarif, & Rudito, 2015)

2.2 Automatic Transfer Switch (ATS)

Energi listrik sudah menjadi kebutuhan utama untuk mengoperasikan perangkat-perangkat elektronika. Banyak perangkat di bidang telekomunikasi, industri dan kesehatan memerlukan energi listrik secara kontinyu atau tidak boleh terhenti, sehingga dibutuhkan saklar otomatis dengan menggunakan suplai cadangan untuk mengantisipasi ketika aliran daya dari suplai utama (PLN) terputus. (Violeta, 2019)

Automatic Transfer Switch (ATS) adalah peralatan listrik yang dapat mengatur pergantian sumber energi listrik secara otomatis dengan mengendalikan pengaturan waktu. ATS bekerja seperti saklar otomatis yaitu sebagai pemindah posisi kontak PLN ke kontak *power inverter* (catu daya cadangan) secara otomatis ketika terjadi pemadaman pada sumber listrik utama (PLN), baik disengaja ataupun tidak sengaja. Pada saat PLN hidup kembali, ATS akan memindahkan kembali posisi kontak *power inverter* (catu daya cadangan) ke kontak PLN secara otomatis. ATS dapat dibedakan menurut kapasitas daya yang diperlukan, berdasarkan *Phasa* dan

Ampere yang melalui panel. Meskipun ATS memiliki beberapa jenis, prinsip kerja yang digunakan tetap sama.

Automatic Transfer Switch ini merupakan sistem penyaluran daya secara otomatis yang berfungsi untuk menjaga kelangsungan penyaluran daya ke beban dengan dua buah penyuplai otomatis. Apabila penyuplai utama telah kembali normal, maka secara otomatis unit *stop* pada generator set akan terhubung dan *relay* pada ATS akan bekerja dan akhirnya disuplai kembali oleh penyuplai utama (PLN). (Sinaga, 2018)

Perpindahan antara penyuplai utama ke penyuplai cadangan atau penyuplai cadangan ke penyuplai utama memerlukan waktu, dimana waktu tersebut dapat diatur dalam pemrograman. Namun, waktu perpindahan antar penyuplai saat dilakukan pengujian dapat lebih cepat atau lebih lama dari yang telah diatur dalam pemrograman atau dapat dikatakan jeda waktu perpindahan tersebut mengalami kesalahan atau error. Untuk mengetahui persentase dari kesalahan jeda waktu perpindahan berdasarkan pengujian dengan waktu yang telah diatur dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\% \text{ Galat } t = \frac{|t_E - t_T|}{t_T} \times 100 \% \quad (2.1)$$

Dimana : % Galat t = Persentasi kesalahan jeda waktu perpindahan

t_E = Jeda waktu yang diperoleh dari pengamatan

t_T = Jeda waktu yang diatur dalam program

ATS adalah pengembangan dari sistem COS (*Change Over Switch*). Sistem COS adalah sistem yang menggunakan tenaga manusia untuk melakukan pemindahan sumber daya dari sumber utama ke sumber cadangan saat terjadi gangguan. Sehingga, perbedaan dari keduanya adalah ATS sudah dioperasikan secara otomatis, sedangkan COS masih dioperasikan secara manual.

2.3 Relay

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar mekanik yang digunakan untuk melakukan logika *switching*. Relay dapat memutuskan atau menghubungkan suatu rangkaian elektronik dengan rangkaian elektronik lainnya. Dalam bekerja, relay dapat menggunakan rangkaian kontrol untuk mengontrol atau mengendalikan suatu rangkaian elektronik sesuai dengan yang rancangan yang telah dibuat.

Relay memiliki 2 bagian utama, yaitu elektromagnetik dan mekanikal. Bagian elektromagnetik pada relay adalah koil. Koil adalah gulungan kawat yang dililitkan pada inti besi lunak. Sedangkan, bagian mekanikal pada relay adalah komponen kontak saklar. Apabila koil mendapatkan aliran arus listrik, inti besi lunak akan menghasilkan medan magnet dan menarik kontak saklar.



Gambar 2.1 Modul Relay
Sumber : Penulis, 2021

Adapun fungsi yang terdapat pada relay adalah sebagai berikut.

1. Mengendalikan sirkuit tegangan tinggi dengan menggunakan bantuan sinyal tegangan rendah
2. Memberikan fungsi penundaan waktu (*Time Delay Function*)
3. Menjalankan fungsi logika (*Logic Function*) seperti manusia
4. Melindungi saklar, motor atau komponen lainnya dari kelebihan tegangan atau hubung singkat

2.3.1 Prinsip Kerja Relay

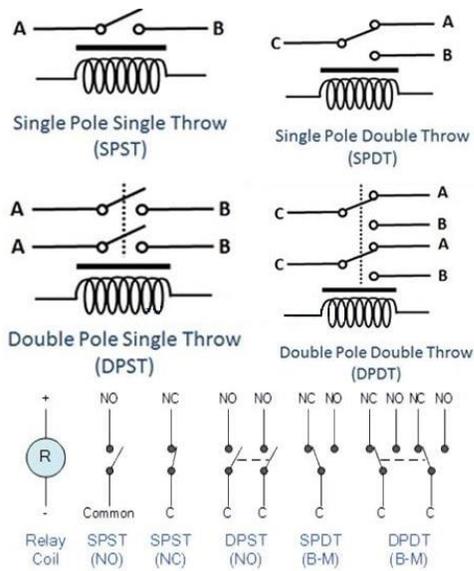
Relay merupakan saklar yang di dalamnya terdapat gulungan kawat (koil) yang dililit pada inti besi lunaknya. Relay bekerja menggunakan prinsip elektromagnetik, yaitu relay akan bekerja ketika koil dialirin sumber tegangan. Sumber tegangan yang melewati koil akan membuat inti besi lunak menghasilkan medan magnet dan mengubah posisi kontak pada relay. Berdasarkan sumber tegangan, posisi kontak relay terbagi 3, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Normally Open* (NO), yaitu kontak relay dalam posisi tertutup karena koil relay terdapat arus listrik.
2. *Normally Close* (NC), yaitu kontak relay dalam posisi terbuka karena koil relay tidak dilewati arus listrik.
3. *Change Over* (CO), yaitu kontak relay yang berada ditengah akan membuat hubungan dengan kontak relay yang lain saat posisi NC ke NO atau posisi NO ke NC.

2.3.2 Jenis - Jenis Relay

Dalam perancangan rangkaian listrik, jenis relay yang akan digunakan harus diperhatikan. Jenis relay yang akan digunakan harus disesuaikan dengan kebutuhan rangkaian listrik tersebut. Relay memiliki beberapa jenis berdasarkan *pole* (banyak terminal yang dimiliki) dan *throw* (banyak posisi berdasarkan kondisi saklar), yang diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Single Pole Single Throw* (SPST), merupakan jenis relay yang memiliki 4 terminal, yaitu 2 terminal koil dan 2 terminal saklar dan terdapat posisi *Normally Open* (NO).
2. *Single Pole Double Throw* (SPDT), merupakan jenis relay yang memiliki 5 terminal, yaitu 2 terminal koil dan 3 terminal saklar dan terdapat posisi *Normally Open* (NO) dan *Normally Close* (NC).
3. *Double Pole Single Throw* (DPST), merupakan jenis relay yang memiliki 6 terminal, yaitu 2 terminal koil dan 4 terminal saklar (2 pasang terminal saklar) dan terdapat posisi *Normally Open* (NO) pada masing-masing dua terminal saklar.
4. *Double Pole Double Throw* (DPDT), merupakan jenis relay yang memiliki 8 terminal, yaitu 2 terminal koil dan 6 terminal saklar (2 pasang relay SPDT dengan 1 koil) dan masing-masing saklar terdapat posisi *Normally Open* (NO) dan *Normally Close* (NC)



Gambar 2.2 Jenis-Jenis Relay Berdasarkan Pole dan Throw

Sumber : teknisimobil.com

Selain menentukan jenis relay berdasarkan *pole* dan *throw*-nya, besar tegangan yang dibutuhkan dalam rangkaian listrik tersebut juga harus ditentukan. Apabila besar tegangan relay melebihi tegangan yang dibutuhkan dalam rangkaian listrik, maka rangkaian tersebut menjadi tidak berfungsi dengan baik bahkan dapat menimbulkan kebakaran.

2.4 Sel Surya (*Solar Cell*)

Sel surya (*Solar Cell*) atau sering disebut juga *Photovoltaic Cell* adalah perangkat yang terbuat dari bahan semikonduktor yang dapat mengubah intensitas cahaya matahari menjadi energi listrik menggunakan prinsip efek *Photovoltaic*. Efek *photovoltaic* adalah efek yang apabila sinar matahari (cahaya) mengenai sel surya akan menghasilkan elektron bermuatan positif dan *hole* bermuatan negatif, dimana elektron dan *hole* akan mengalir membentuk arus listrik searah (DC), setelah itu

elektron akan meninggalkan sel surya dan mengalir pada rangkaian luar, dan akhirnya menimbulkan arus listrik. Sel surya terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silikon, seperti Kristal Silikon (Si). Silikon yang memiliki permukaan luas terdiri dari dua jenis lapisan, yaitu lapisan positif (tipe-p) dan lapisan negatif (tipe-n). Lapisan ini yang dapat menghasilkan aliran elektron atau disebut sebagai aliran listrik, ketika terkena sinar matahari.



Gambar 2.3 Photovoltaic Cell

Sumber : Penulis, 2021

Sel surya sudah banyak diaplikasikan, terutama untuk wilayah atau daerah yang terpencil yang tidak tersedia tenaga listrik dari *grid*, seperti satelit pengorbit (bumi), kalkulator genggam, pompa air, dan lain lain. (P, 2017)

Selama masih terdapat cahaya, walaupun cuaca mendung, sel surya tetap dapat menghasilkan arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan dari sel surya adalah arus listrik searah (DC). Arus listrik searah (DC) akan diubah menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan menggunakan inverter agar dapat digunakan oleh peralatan yang membutuhkan energi listrik.

2.4.1 Sejarah Sel Surya

Alexandre – Edmund Becquerel merupakan seorang ahli fisika Perancis pada tahun 1839. Beliau adalah orang pertama yang melakukan percobaan mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Beliau menyinari 2 elektroda yang dibalut (*coated*) dengan bahan yang sensitif terhadap cahaya, seperti AgCl dan AgBr. Percobaan tersebut dilakukan di kotak hitam yang di kelilingi campuran asam. Hasil percobaannya diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar intensitas cahaya maka tenaga listrik yang dihasilkan juga besar. *Willoughby & Smith* adalah seorang insinyur Inggris pada tahun 1873, yang menemukan elemen *photo conductivity* pada Selenium. Pada tahun 1876, penelitian *Willoughby & Smith* diteliti kembali oleh *William Grylls* dan *Richard Evans Day*. Penelitian mereka membuktikan bahwa Selenium yang disinari matahari akan menghasilkan arus listrik, tetapi belum efisien dan belum dapat digunakan untuk menggerakkan peralatan listrik.

Pada tahun 1894, *Charles Fritts* merupakan seorang peneliti pertama yang berhasil membuat *solar cell* dengan tingkat efisiensi 1%. Dikarenakan tingkat efisiensinya masih 1%, *solar cell* hanya dapat digunakan sebagai sensor cahaya. Pada tahun 1905, *Albert Einstein* mempublikasikan tulisannya mengenai *photoelectric effect* yang berisikan bahwa cahaya terdiri dari paket-paket atau “*quanta of energi*” atau lebih dikenal dengan sebutan “*photon*”. Pada tahun 1916, tulisan *Albert Einstein* tersebut, dibuktikan oleh seorang ahli fisika berkebangsaan Amerika, *Robert Andrew Millikan*. Dari penelitiannya tentang *photoelectric effect*, beliau berhasil mendapatkan *Nobel Prize*. *Albert Einstein* juga mendapatkan *Nobel Prize* pada tahun 1923 atas teorinya tentang *photoelectric effect*. Tahun 1980-an, *solar cell* belum dapat

digunakan sebagai sumber daya listrik karena tingkat efisiensinya masih sangat rendah.

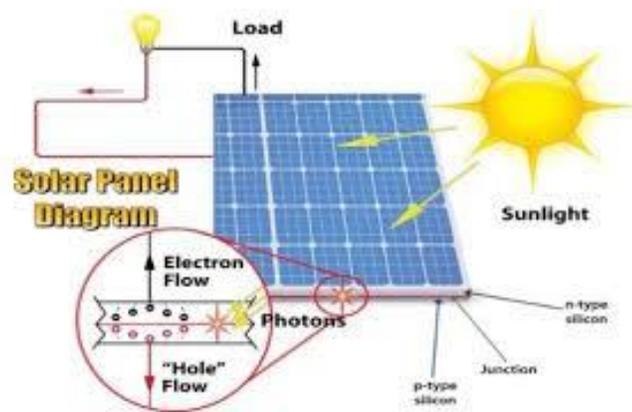
Hans Tholstrup, seseorang yang berasal dari Australia berhasil mengendarai mobil bertenaga surya pertama pada tahun 1982, untuk jarak 4000 km dan dalam waktu 20 hari dengan kecepatan maksimum 72 km/jam. Pada tahun 1985, tingkat efisiensi *solar cell* memecahkan rekor yaitu mencapai 20% yang dilakukan oleh *University of South Wales Australia*. *University of Delaware* juga berhasil meningkatkan efisiensi *solar cell* hingga mencapai 42.8% pada tahun 2007 dan merupakan rekor terbaru untuk “*thin film photovoltaic solar cell*”. Penelitian dan perkembangan mengenai *solar cell* telah mendorong komersialisasi dan produksi *solar cell* untuk penggunaannya sebagai sumber daya listrik.

2.4.2 Prinsip Kerja Sel Surya

Photovoltaic cell terbuat dari material mudah pecah dan berkarat, sel dibuat dalam bentuk panel-panel dengan ukuran sekitar 10 s/d 15 cm², yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air dan panel ini dikenal dengan panel surya, untuk mendapatkan kapasitas daya yang besar, modul surya dapat dihubungkan baik secara seri maupun paralel dalam beberapa modul membentuk *array*. (Safrizal, 2017)

Sel surya dapat menyerap sinar matahari yang mengandung gelombang elektromagnetik atau energi foton. Energi foton tersebut menghasilkan energi kinetik yang dapat melepaskan elektron-elektron ke pita konduksi yang dapat menimbulkan arus listrik. Berdasarkan pada intensitas cahaya dan panjang gelombang elektromagnetik yang diserap oleh sel surya dapat menentukan kapasitas arus yang

dihasilkan. Semakin besar intensitas cahaya dan semakin pendek gelombang elektromagnetik yang mengenai permukaan sel surya, maka energi foton yang dihasilkan semakin besar. Semakin besar energi foton yang dihasilkan, maka semakin banyak pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan dan membuat arus yang mengalir semakin tinggi. Faktor kondisi cuaca lingkungan, faktor lingkungan, faktor *temperature PV module*, dan faktor intensitas cahaya matahari dapat memengaruhi sistem kerja sel surya.



Gambar 2.4 Proses Perubahan Cahaya Menjadi Arus Listrik

Sumber : Safrizal, 2017

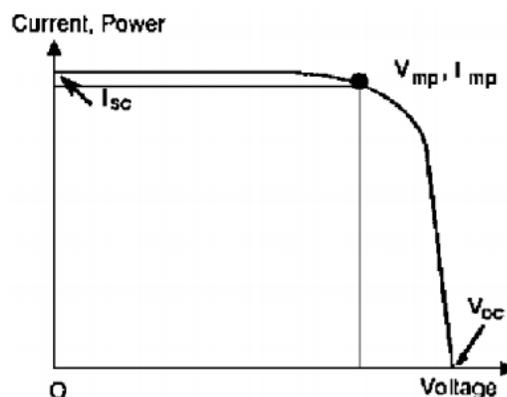
Kapasitas daya dari sel surya yang dihasilkan, diukur berdasarkan standar pengujian Internasional yaitu *Standard Test Condition* (STC) dan dilambangkan dalam besaran satuan *Wattpeak* (Wp). Sel surya harus dikombinasikan secara seri dan paralel, agar mendapatkan nilai tegangan dan daya yang sesuai dengan kebutuhan beban. Adapun aturan dalam pemasangan sel surya adalah sebagai berikut.

1. Sel surya dihubungkan secara seri, berguna untuk mendapatkan tegangan keluaran yang dua kali lebih besar dari tegangan keluaran sel surya.

2. Sel surya dihubungkan secara paralel, berguna untuk mendapatkan arus keluaran yang dua kali lebih besar dari arus keluaran sel surya.
3. Sel surya dihubungkan secara seri dan paralel (kombinasi), berguna untuk mendapatkan daya keluaran yang dua kali lebih besar dari daya keluaran sel surya dengan tegangan yang konstan.

Hubungan antara arus dan tegangan dalam modul *photovoltaic* diwakili dalam kurva I-V.

1. Arus bernilai minimum (nol) dan tegangan bernilai maksimum, ketika tahanan variabel bernilai tak terhingga dan dikenal sebagai tegangan *open circuit* (V_{OC}).
2. Arus bernilai maksimum atau arus *short circuit* (I_{SC}), ketika tahanan variabel bernilai nol (*short circuit*).
3. Arus (I) dan tegangan (V) akan diperoleh nilai yang bervariasi, jika tahanan variabel memiliki nilai yang bervariasi antara nol dan tak terhingga.



Gambar 2.5 Kurva Karakteristik I-V Sel Surya pada STC

Sumber : Safrizal, 2017

Radiasi sinar matahari akan mempengaruhi arus dan daya yang dihasilkan oleh sel surya. Semakin tinggi intensitas matahari, maka arus dan daya yang dihasilkan semakin tinggi. Semakin kecil intensitas matahari, maka arus dan daya yang dihasilkan semakin kecil. *Standard Test Condition* (STC) mengacu pada intensitas radiasi sinar matahari sebesar 1000 W/m^2 atau disebut satu matahari puncak dan pada suhu *solar cell* sebesar $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Apabila piranti semikonduktor dengan luasan satu m^2 memiliki efisiensi 12%, maka daya yang dibangkitkan oleh modul sel surya sebesar 120 *Watt*. Modul sel surya yang ada di pasaran memiliki efisiensi sekitar 4% hingga 16%, perbedaan nilai efisiensi sangat tergantung dari bahan modul sel surya tersebut. (Majid, Eliza, & Hardiansyah, 2018)

Nilai efisiensi panel surya berfungsi untuk melihat nilai persentase energi listrik yang dapat dihasilkan panel surya saat sinar matahari mengenai sel surya. Rumus yang dapat digunakan untuk mencari nilai efisiensi adalah sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{max}}{I \times A} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana : η = Nilai efisiensi panel surya (%)

P_{max} = Daya maksimum panel surya (Wp)

I = Intensitas matahari (W/m^2) ($I = 1000 \text{ W/m}^2$)

A = Luas penampang panel surya (m^2)

$$A = \text{panjang panel} \times \text{lebar panel} \quad (2.3)$$

2.4.3 Jenis – Jenis Panel Surya

Panel surya memiliki beberapa jenis yang diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Monokristal (*Mono-crystalline*), dibuat dari bahan *crystalline silicon* yang dibentuk batangan dan diiris. Digunakan di tempat yang memerlukan konsumsi listrik besar dan beriklim ekstrim. Tingkat efisiensi monokristal mencapai 15-24%. Monokristal tidak berfungsi dengan baik pada tempat yang cahaya matahari kurang dan tingkat efisiensinya akan menurun ketika mendung.
2. Polikristal (*Poly – crystalline*), memiliki susunan kristal acak. Dapat menghasilkan daya listrik yang maksimal jika memiliki permukaan yang besar. Tingkat efisiensinya sekitar 18%, lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, namun harganya lebih murah.
3. *Thin Film Photovoltaic*, memiliki 2 struktur lapisan tipis, yaitu mikrokrystal-silikon dan *amorf*. Tingkat efisiensinya sebesar 8,5%. Perkembangan terbaru tipe panel ini adalah *Thin Film Triple Junction Pv*, yang memiliki 3 struktur lapisan dan sangat efisien dalam udara yang sangat berawan, serta dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi daripada panel jenis lain dengan daya yang setara.

2.4.4 Kelebihan Sistem Pembangkit Tenaga Surya

Kelebihan yang diperoleh dari sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah sebagai berikut.

1. Menghasilkan energi listrik secara cuma-cuma dan tak terbatas

2. Mereduksi penggunaan bahan bakar fosil, mengurangi polusi atau emisi bahan bakar, bersih dan tidak berisik
3. Cadangan listrik tersedia ketika PLN padam
4. Biaya operasional yang tidak mahal
5. Pengoperasian dan perawatannya mudah.

2.5 Piezoelektrik

Piezoelektrik ditemukan pada tahun 1880 oleh *Piere Curie* dan *Jacques Curie*. Mereka mengombinasikan pengetahuan tentang piroelektrisitas. Piroelektrisitas adalah kemampuan untuk menghasilkan sebuah potensial listrik, pada saat bahan-bahan tertentu mengalami perubahan suhu, baik panas atau dingin dengan pemahaman akan struktur dan perilaku pada sebuah kristal. Efek piezoelektrik pertama didemonstrasikan dengan menggunakan kristal turmalin, kuarsa, ratna cempaka, dan garam *rossel*. Dari uji coba tersebut, diperoleh piezoelektrisitas terbesar yaitu dari bahan kristal kuarsa dan garam *rossel*

Piezoelektrik berasal dari kata *piezo* yang berarti tekanan dan *electric* yang berarti muatan listrik. Piezoelektrik dapat didefinisikan sebagai sebuah komponen yang dapat menghasilkan listrik apabila mendapatkan tekanan. Piezoelektrik dapat difungsikan sebagai sensor yang dapat membangkitkan energi listrik. Penerapan gaya pada permukaannya menginduksi polarisasi dan akan menimbulkan medan listrik sehingga bahan tersebut mengubah tekanan mekanis ke tegangan listrik. Piezoelektrik memiliki dua buah kutub, kutub positif (+) berada dibagian tengah dan kutub negatif (-) berada dibagian tepi. Apabila momentum tegangan mekanik lebih besar dari

momentum regangan mekanik, maka gelombang positif yang dihasilkan lebih besar dibandingkan gelombang negatif.



Gambar 2.6 Piezoelektrik

Sumber : Penulis, 2021

Sifat reversibel dari material piezoelektrik dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam aplikasi, antara lain sensor, aktuator, transduser dan peralatan elektronik lainnya. Pada transduser, bahan piezoelektrik mengubah sinyal listrik menjadi getaran mekanik dan mengubah kembali getaran mekanik menjadi energi listrik. Material piezoelektrik diposisikan sebagai elemen aktif transduser. Elemen aktif adalah inti dari transduser yang mengubah energi listrik menjadi energi suara dan sebaliknya. (Simbolon, 2018)

Luas dan jenis material akan menentukan besar daya yang dapat dihasilkan. Bahan material piezoelektrik memproduksi medan listrik ketika dikenai tekanan mekanis, tarikan atau getaran (*direct piezoelectric*). Jika piezoelektrik diberikan medan listrik, maka material tersebut bergetar (*inverse piezoelectric*). Piezoelektrik menggunakan bahan material yang terdiri dari keramik, batuan, tulang dan polimer. Bahan piezoelektrik terbagi dua kelompok, yaitu alami dan buatan. Adapun bahan alami piezoelektrik diantaranya: *Quartz* (SiO_2), *Berlinite*, *Turmalin*, *Garam Rossel*

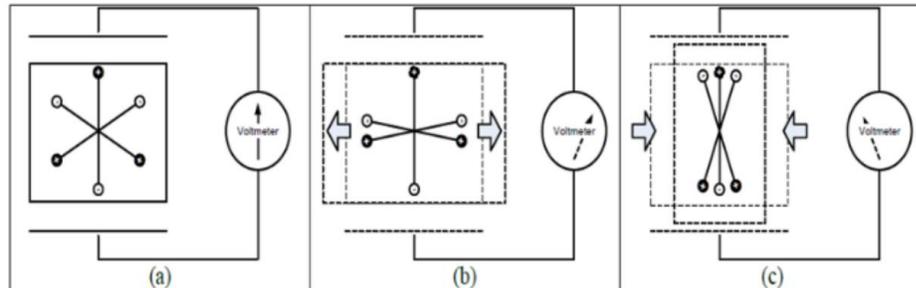
Berlinite (AlPO_4), *Topaz*, *Sucrose* dan lainnya. Bahan piezoelektrik buatan diantaranya: *Barium titanate* (BaTiO_3), *Lead Zirconate Titanate* (PZT), *Zinc Oxide* (ZnO), *Calcium Barium Titanate*, *Piezoelectric ceramics Barium Titanate*, *Lead Titanate* (PbTiO_3), *Potassium Niobate* (KNbO_3), *Lithium Tantalite* (PbTiO_3), *Polyvinilidene Diflouride* (PVDF), Gallium Ortofosfat (GaPO_4) dan *Langasite* ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$) dan lainnya. Material piezoelektrik dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu Kristal (*Quartz* (SiO_2)), Gallium Orthophosphate (GaPO_4), Keramik (Barium Titanate (BaTiO_3)), Lead Zirconate Titanate (PZT), dan Polimer (Polyvinylidene Diflouride (PVDF))

2.5.1 Prinsip Kerja Piezoelektrik

Piezoelektrisitas berfungsi sebagai penghasil arus listrik dari efek piezoelektrik. Efek piezoelektrik adalah efek yang terjadi ketika kristal diberi tekanan mekanik, lalu menghasilkan arus listrik. Kristal Piezoelektrik memiliki 2 muatan listrik, yaitu muatan listrik positif dan muatan listrik negatif. Kedua muatan listrik kristal terdistribusi simetris sehingga bersifat netral secara elektris.

Pada saat muatan listrik diberi tekanan (*stress*), distribusi muatan listrik simetris akan berubah menjadi muatan yang tidak simetris yang dapat menimbulkan medan listrik. Pada saat medan listrik melewati material piezoelektrik akan terjadi deformasi mekanik yang membuat material berubah dimensi, seperti struktur kristal dari berwujud kubik menjadi berwujud tetragonal atau rhombohedral. Medan listrik yang melewati material piezoelektrik membuat molekul terpolarisasi menyesuaikan

diri dengan medan listrik, dan dihasilkan *dipole* yang terinduksi dengan molekul atau struktur kristal materi. Fenomena tersebut dikenal dengan *electrostiction*.



Gambar 2.7 Perubahan Distribusi Muatan Pada Piezoelektrik

Sumber : Wira Hidayatullah, 2016

Penjelasan mengenai Gambar 2.7 mengenai perubahan distribusi muatan pada piezoelektrik ialah sebagai berikut.

1. Gambar 2(a), merupakan perubahan distribusi muatan pada piezoelektrik tanpa gaya luar. Susunan muatan positif dan negatif tersebar merata karena tidak menerima pengaruh gaya dari luar. Apabila menerima gaya dari luar seperti tekanan atau tarikan, maka posisi muatan berubah dan dapat menghasilkan polarisasi muatan dan tegangan listrik.
2. Gambar 2(b), merupakan perubahan distribusi muatan pada piezoelektrik ketika diberi gaya tarik. Piezoelektrik akan memendek dan meleber ketika diberi gaya tarik. Kutub negatif dan kutub positif di bagian atas dan bawah akan terbentuk pada saat muatan positif dan negatif tertarik ke bagian samping dan saling menetralkan.
3. Gambar 2(c), merupakan perubahan distribusi muatan pada piezoelektrik ketika diberi gaya tekan. Piezoelektrik menerima gaya tekan akan menjadi

memanjang dan menyempit. Muatan terbagi pada dua sisi yang akan mengalami kelebihan muatan pada tiap sisi. Lalu terbentuk kutub positif dan kutub negatif, dimana dapat menimbulkan perbedaan potensial listrik. Perbedaan potensial hanya berlangsung sesaat (*impuls*) dan akan netral kembali dengan sendirinya.

Piezoelektrik bekerja dengan prinsip tekanan dan akan menghasilkan listrik dalam jumlah yang kecil. Untuk menghasilkan listrik dalam jumlah besar, maka diperlukan piezoelektrik dalam jumlah yang banyak. Pemasangan piezoelektrik harus pada tempat yang berpotensi yang mengalami perubahan tekanan, seperti halnya polisi tidur di jalan raya atau lantai dalam rumah, sehingga dapat menghasilkan listrik.

Untuk mengetahui nilai tegangan yang dapat dihasilkan oleh 1 buah piezoelektrik berdasarkan besar tekanan yang diberikan, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut ini.

$$V = \frac{d_{33} \times d}{e_{33} \times A} \times F \quad (2.4)$$

Dimana : V = tegangan (V)

F = Gaya Penumpukan (N)

A = Diameter piezoelektrik (mm)

d = ketebalan piezoelektrik (mm)

d_{33} ; e_{33} = koefisien piezoelektrik dari bahan yang digunakan (Pc/N)

$$d_{33} = 98 \text{ Pc/N} ; e_{33} = 148 \text{ Pc/N}$$

Untuk mencari gaya penumpukan (F) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$F = m \times g \quad (2.5)$$

Dimana : F = Gaya Penumpukan (N)

m = berat massa (kg)

g = gravitasi ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

Jika piezoelektrik yang digunakan lebih dari satu, maka kita dapat menghitung nilai total tegangan keseluruhannya. Adapun persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung tegangan total piezoelektrik yang disusun secara seri dapat menggunakan rumus (2.6), sedangkan piezoelektrik yang disusun secara paralel dapat menggunakan rumus (2.7).

$$V_{seri} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \quad (2.6)$$

$$V_{paralel} = V_1 = V_2 = V_3 = V_n \quad (2.7)$$

2.5.2 Pemanfaatan Piezoelektrik

Berikut merupakan pemanfaatan dalam penggunaan piezoelektrik.

1. Penghasil listrik tegangan tinggi

Piezoelektrik dapat menghasilkan beda potensial hingga ribuan volt. Pemantik rokok elektrik adalah salah satu alat yang bekerja dengan prinsip ini. Menekan tombol pemantik membuat palu pegas menabrak kristal piezoelektrik. Lalu menghasilkan arus listrik tegangan tinggi yang mengalir

melintasi celah percikan kecil yang dapat memanaskan dan menyalakan gas. Banyak jenis pembakar gas yang memiliki sistem pengapian berbasis piezo.

2. Sebagai sensor

Material piezoelektrik dimanfaatkan untuk mengkonversi tegangan mekanik yang berasal dari parameter fisik seperti percepatan atau tekanan menjadi sinyal elektrik.

3. Sebagai aktuator

Untuk mengatur kebutuhan presisi yang sangat tinggi pada alat-alat permesinan, lensa atau cermin, piezoelektrik mengkonversi sebuah sinyal listrik menjadi *displacement* terkontrol. Beberapa contoh penggunaan piezoelektrik sebagai aktuator yaitu mesin printer dan aktuator ukuran nano.

4. Sebagai transduser

Transduser adalah alat yang dapat mengubah suatu energi menjadi energi lain atau mengubah gaya mekanis menjadi sinyal listrik. Transduser piezoelektrik akan menghasilkan listrik dari pijakan atau tekanan.

Berikut ini adalah beberapa transduser yang bekerja menggunakan piezoelektrik.

- a. Piezoelektrik elemen sebagai pendeteksi dan pembangkit gelombang sonar
- b. Piezoelektrik pemantauan daya dalam aplikasi daya tinggi, seperti perawatan medis, sonokimia dan pemrosesan industri.
- c. Piezoelektrik mikrobiologi sebagai sensor kimia dan biologis yang sensitif.

- d. Piezoelektrik untuk pengukur getaran.
- e. Piezoelektrik *electric drum* sebagai pendeteksi sentuhan stik drum.
- f. Piezoelektrik di dunia otomotif sebagai pendeteksi letupan, dengan *men-sampling* getaran yang ada pada blok mesin.

2.5.3 Kelebihan dan Kekurangan Piezoelektrik

Kelebihan dari piezoelektrik adalah piezoelektrik tidak memerlukan daya dari luar untuk operasionalnya karena dapat membangkitkan sendiri tegangannya. Piezoelektrik sangat berguna untuk aplikasi yang konsumsi dayanya sangat terbatas.

Kekurangan dari piezoelektrik adalah muatan pada piezoelektrik mengalami sedikit kebocoran. Hal ini membuat suatu konstanta waktu penyimpangan tegangan setelah diberikan suatu gaya pada piezoelektrik. Konstanta waktu tergantung pada kapasitansi elemen dan resistansi kebocorannya. Selain itu, kekurangan dari piezoelektrik adalah piezoelektrik tidak dapat beroperasi pada perangkat yang menggunakan sensitifitas besaran statik, karena sensitifitasnya hanya bagus untuk sinyal yang berubah-ubah terhadap waktu.

2.6 *Solar Charge Controller (SCC)*

Pengontrol muatan atau pengatur muatan (*Charge Controller*) pada dasarnya adalah pengatur tegangan atau arus untuk menahan baterai dari pengisian yang berlebihan atau *overcharging*. (Violeta, 2019)

Sumber arus listrik yang berasal dari panel surya ataupun piezoelektrik akan disimpan ke dalam baterai. Arus listrik yang disimpan dalam baterai tidak boleh melebihi kapasitas baterai. Hal tersebut dapat mengurangi umur baterai dan

performansi baterai, serta dapat menimbulkan bahaya yang tak terduga. Agar tidak mengalami pengisian daya berlebih, arus listrik yang masuk ke dalam baterai harus dibatasi. Alat yang dapat digunakan untuk membatasi arus listrik yang masuk ke baterai agar tidak terjadi *overcharging* (pengisian berlebih) dan melindungi baterai dari fluktuasi tegangan adalah *Solar Charge Controller* (SCC).



Gambar 2.8 Solar Charge Controller
Sumber : Penulis, 2021

Solar Charge Controller berfungsi memonitoring arus, tegangan, suhu, daya dan beban. Selain itu digunakan untuk penyaluran daya ke baterai dan menghindari *overcharging* dan *overvoltage*, serta mengatur arus dari baterai agar baterai tidak *full discharge*. (Rif'at, Saputera, & Hidayat, 2017)

Beberapa fungsi yang dimiliki oleh *Solar Charge Controller* (SCC) adalah sebagai berikut:

1. Mengontrol arus listrik yang masuk ke dalam baterai saat pengisian agar tidak terjadi *overcharging* dan *overvoltage*.
2. Mengontrol arus listrik yang keluar dari baterai menuju beban agar tidak mengalami *full discharge* dan *overloading*.

3. Mengontrol suhu baterai.

Solar Charge Controller akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan *drop*, maka baterai akan diisi kembali. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan baterai. (Violeta, 2019)

2.7 Baterai

Baterai adalah sebuah alat penyimpan energi kimia yang dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Baterai dapat disebut juga sebagai akumulator (*accumulator*). Energi listrik yang terdapat dalam baterai, diperoleh melalui proses kimia, dimana pada saat pengisian (*charge*) energi listrik diubah menjadi energi kimia, lalu energi kimia akan diubah menjadi energi listrik pada saat pengeluaran (*discharge*).



Gambar 2.9 Baterai
Sumber : Penulis, 2021

Accumulator atau baterai adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversible* (dapat berkebalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan reaksi elektrokimia *reversibel* adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan) dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia

(proses pengisian) dengan cara proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewati arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan di dalam sel. (Sinaga, 2018)

2.7.1 Jenis - Jenis Baterai

Berdasarkan pemakaiannya, baterai terdiri dari dua jenis yang diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Baterai primer, memiliki material aktif yang tidak dapat dikembalikan, sehingga dapat digunakan sekali dan tidak bisa diisi ulang.
2. Baterai sekunder, memiliki material aktif yang dapat diputar kembali, sehingga dapat diisi ulang.

Jenis-jenis baterai berdasarkan elektrolitnya terbagi 2, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Baterai Asam (*Lead Acid Storage Acid*)

Baterai yang menggunakan larutan asam belerang (*sulfuric acid* (H_2SO_4)) untuk bahan elektrolitnya. Elektroda–elektroda yang terdapat dalam baterai terdiri dari plat–plat timah peroksida (PbO_2 (*Lead Peroxide*)) sebagai kutub positif (anoda) dan timah murni (Pb (*lead sponge*)) sebagai kutub negatif (katoda). Suhu elektrolit pada baterai akan memengaruhi nilai berat jenis elektrolit, yaitu semakin tinggi suhu elektrolit, maka semakin rendah berat jenisnya atau semakin rendah suhu elektrolit, maka semakin besar berat jenisnya. Baterai ini memiliki tegangan 2V per sel.

Baterai asam dapat berumur 10 – 15 tahun, tergantung pada penggunaan dan pemeliharannya.

2. Baterai Basa/Alkali (*Alkaline Storage Battery*)

Baterai yang menggunakan larutan alkali (*Potassium Hydroxide*) untuk bahan elektrolitnya yang terdiri dari *Nickel iron alkaline battery Ni-Fe Battery* dan *Nickel cadmium alkaline battery Ni Cd Battery*.

2.7.2 Prinsip Kerja Baterai

Baterai bertujuan untuk memberikan energi listrik kepada rangkaian atau sistem yang membutuhkan energi listrik tapi sumber listrik utama (PLN) tidak tersedia dan menyimpan energi listrik yang dihasilkan dari sumber energi cadangan seperti panel surya dan piezoelektrik. Baterai akan bekerja dengan melalui 2 proses, yaitu proses pengisian dan proses pengosongan baterai (*accumulator*).

1. Pengisian Baterai

Sumber energi listrik akan memberikan energi listriknya ke dalam baterai. Sebelum disimpan, baterai akan melakukan proses perubahan energi dari energi listrik menjadi energi kimia. Hasil perubahan energi tersebut akan disimpan di dalam baterai.

2. Pengosongan Baterai

Baterai yang telah terisi dengan energi kimia akan dihubungkan dengan rangkaian atau beban yang membutuhkan energi listrik dari baterai. Sebelum disalurkan, baterai akan mengubah energi kimia menjadi energi listrik dahulu, lalu disalurkan ke rangkaian listrik tersebut. Pemakaian

baterai dalam jangka panjang dan tanpa di *charge* kembali akan membuat energi yang terdapat dalam baterai menjadi habis atau kosong.

2.7.3 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah kemampuan baterai dalam menyimpan energi pada saat diisi (*charging*) hingga mencapai jumlah maksimum yang dapat ditampung oleh baterai dan kemampuan baterai dalam mengeluarkan arus listrik (*discharging*) ke beban selama waktu tertentu. Bahan aktif yang bereaksi pada plat positif dan plat negatif akan memengaruhi kapasitas baterai. Selain itu, pengaruh jumlah plat tiap-tiap sel, ukuran dan tebal plat, kualitas elektrolit serta umur baterai juga akan memengaruhi kapasitas baterai. Besar tegangan yang terdapat pada baterai ditentukan oleh jumlah sel baterai yang ada di dalamnya.

Satuan kapasitas baterai dinyatakan dalam *Ampere-hour* (Ah). Baterai dapat memberikan arus yang kecil untuk waktu yang lama dan arus yang besar untuk waktu yang pendek. Arus listrik akan mengalir ketika konduktor dan beban dihubungkan dengan baterai. Persamaan kapasitas ampere dinyatakan sebagai berikut.

$$Ah = I \times t \quad (2.1)$$

Dimana : Ah = kapasitas baterai aki (*Ampere-hour*)

 I = kuat arus (Ampere)

 t = waktu (jam/detik)

2.8 Inverter

Inverter adalah alat yang digunakan untuk mengubah tegangan masukan DC (arus listrik searah) menjadi tegangan keluaran AC (arus listrik bolak-balik).

Tegangan masukan inverter dapat berasal dari baterai, sel surya, piezoelektrik, dan sumber tegangan searah lainnya. Sumber tegangan DC dengan besar 12 V - 24 V dapat dikonversi menjadi tegangan AC 220 V, sesuai dengan kebutuhan arus listrik AC yang dibutuhkan. Tegangan dapat diatur dan tegangan tetap merupakan tegangan keluaran dari inverter.

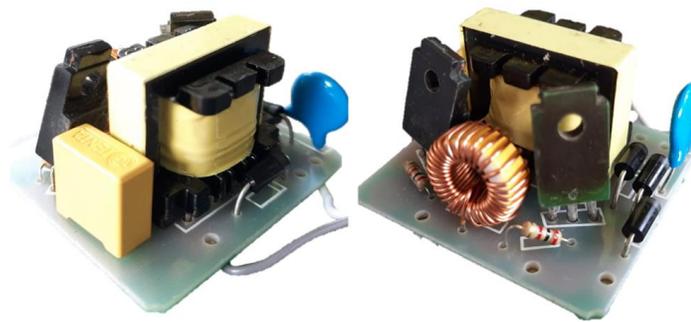
Dalam proses mengkonversi tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC, digunakan suatu penaik tegangan, yaitu *step-up transformer*. Selain itu, inverter juga memerlukan rangkaian kontrol agar mendapatkan keluaran yang diinginkan.

Agar gelombang keluarannya dapat kembali mendekati gelombang sinus, maka digunakan *filter*. *Filter* berfungsi untuk melewatkan frekuensi yang diharapkan saja. *Filter* yang digunakan disini biasanya merupakan *filter* jenis *bandpass filter* yang akan menangkal frekuensi rendah dan frekuensi tinggi yang tidak diharapkan pada keluarannya. (Sinaga, 2018)

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan inverter, yaitu: (Sinaga, 2018)

1. Kapasitas beban dalam Watt, usahakan memilih inverter yang beban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.
2. Input DC 12 V atau 24 V.
3. *Sinewave* ataupun *square wave output AC*. *True sine wave inverter* diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Oleh karena itu

dari sisi harga maka *true sine wave inverter* adalah yang paling mahal diantara yang lainnya karena dialah yang paling mendekati bentuk gelombang asli dari jaringan listrik PLN. Sedangkan pada *square wave inverter* beban-beban listrik yang menggunakan kumparan/motor tidak dapat bekerja sama sekali.



Gambar 2.10 Inverter

Sumber : Penulis, 2021

Pada umumnya tegangan AC yang disediakan oleh PLN untuk rumah tinggal adalah sebesar 220 V_{AC} . Namun saat melakukan pengukuran tegangan menggunakan multimeter, tegangan AC yang dihasilkan dapat lebih besar atau lebih rendah dari 220 V_{AC} . Dapat dikatakan tegangan listrik di rumah dalam keadaan tidak stabil, maka tegangan tersebut akan mengalami fluktuasi di rentang $180\text{ V}_{AC} - 240\text{ V}_{AC}$ atau lebih rendah dari 180 V_{AC} . Ketidakstabilan tegangan listrik tersebut dapat disebabkan berbagai faktor, seperti adanya gangguan pada peralatan listrik, gangguan instalasi listrik di rumah, kelebihan beban di luar jaringan rumah, dan lain sebagainya. Untuk mengetahui presentasi beda nilai tegangan berdasarkan standar PLN dengan

pengukuran menggunakan multimeter, maka dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\% \text{ Galat } V = \frac{|V_E - V_T|}{V_T} \times 100 \% \quad (2.8)$$

Dimana : % Galat V = Persentasi beda nilai tegangan
 V_E = Nilai tegangan berdasarkan pengukuran
 V_T = Nilai tegangan berdasarkan standar/teoritis

2.9 *Liquid Cristal Display (LCD)*

Liquid Cristal Display (LCD) adalah komponen elektronik yang berteknologi CMOS *logic* yang berfungsi untuk menampilkan data, baik dalam bentuk karakter, huruf, angka ataupun grafik. LCD merupakan komponen yang dapat memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*.

LCD adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan *seven-segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Lapisan *sandwich* memiliki *polarizer* cahaya vertikal depan dan *polarizer* cahaya horizontal belakang yang diikuti dengan lapisan reflektor. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan. (Wicaksana, 2018)

Modul LCD dilengkapi dengan *integrated circuit* yang bertugas untuk mengendalikan tampilan karakter pada LCD dengan menggunakan mikrokontroler. Modul LCD juga dilengkapi dengan memori dan *register*. Adapun memori yang terdapat pada mikrokontroler LCD adalah sebagai berikut.

1. DDRAM (*Display Data Random Access Memory*), merupakan memori tempat karakter yang akan ditampilkan berada.
2. CGRAM (*Character Generator Random Access Memory*), merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter dimana bentuk dari karakter dapat diubah-ubah sesuai dengan keinginan. Ketika sumber tegangan mati, memori akan hilang sehingga pola karakter juga hilang.
3. CGROM (*Character Generator Read Only Memory*), merupakan memori untuk menggambarkan pola sebuah karakter yang telah ditentukan secara permanen oleh pabrik pembuat LCD tersebut, sehingga pengguna tinggal mengambilnya sesuai alamat memorinya dan tidak dapat merubah karakter dasar yang ada dalam CGROM. Pola karakter tidak akan hilang meskipun sumber tegangan mati.

Register control yang terdapat pada mikrokontroler LCD diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Register* perintah, berisikan perintah-perintah dari mikrokontroler ke panel LCD pada saat proses penulisan data, tempat, status dari panel LCD yang dapat dibaca pada saat pembacaan data
2. *Register* data, untuk menuliskan atau membaca data DDRAM, sesuai dengan alamat yang telah diatur.

LCD yang biasa digunakan dalam rangkaian elektronika adalah modul LCD 16×2. LCD 16×2 artinya tampilan layar yang dimiliki sebanyak 16 kolom dan 2 baris. Dalam rangkaian elektronika, modul LCD 16×2 akan menggunakan mikrokontroler untuk menampilkan pesan, men-*debug* program, me-*monitoring* proses, mengetahui hasil sebuah proses dan memastikan data yang di *input* adalah valid. Menghubungkan LCD dengan mikrokontroler diperlukan sebuah *driver* yang berisikan rangkaian pengaman, pengatur tingkat kecerahan maupun data, dan mempermudah pemasangan mikrokontroler.

Konfigurasi pin jalur input dan kontrol LCD adalah sebagai berikut.

1. Pin VSS/GND, dihubungkan ke tegangan 0 Volt (*ground*) dan LCD
2. Pin VDD/VCC, dihubungkan ke tegangan +5 Volt yang merupakan sumber daya.
3. Pin VE, berfungsi untuk mengatur kecerahan tampilan (kontras) LCD.
4. Pin RS (*Register Select*), berfungsi sebagai indikator atau yang menentukan jenis data yang masuk, apakah data atau instruksi. Logika *low* menunjukkan instruksi, sedangkan logika *high* menunjukkan data.
5. Pin R/W (*Read Write*), berfungsi sebagai instruksi pada LCD. Jika *low* (0) artinya mode penulisan data, sedangkan *high* (1) artinya mode pembacaan data.
6. Pin E (*Enable*), digunakan untuk memegang (membaca) data baik masuk atau keluar.

memberikan informasi keadaan atau status rangkaian listrik sesuai dengan rancangan yang telah diatur oleh perancang.



Gambar 2.12 Lampu Indikator

Sumber : Penulis, 2021

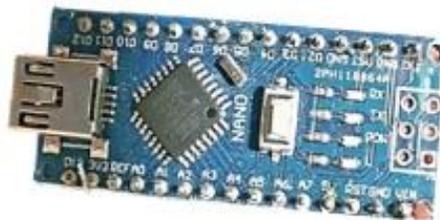
2.11 Arduino Nano

Arduino merupakan sebuah *prototyping platform* yang bersifat *open source*. Arduino dapat digunakan untuk membuat atau mengembangkan suatu peralatan elektronik yang interaktif berdasarkan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang fleksibel serta mudah digunakan. Arduino memiliki bahasa pemrograman tersendiri dan mudah untuk dipahami. Dalam pemrograman, Arduino menggunakan *software* dengan sistem *Integrated Development Environment (IDE)*, yang bertugas untuk menulis program, meng-*compile* menjadi kode biner dan meng-*upload* ke dalam memori mikrokontroler.

Arduino adalah sebuah papan elektronik berbasis mikrokontroler *Advanced Versatile RISC (AVR)* yang berasal dari perusahaan Atmel yang disertai *software* pendukung. *Software* tersebut digunakan untuk melakukan pemrograman dan pengembangan sistem digital dan sistem cerdas, *Internet of Things (IoT)* dan robotika. Mikrokontroler merupakan sebuah *chip* atau *Integrated Circuit (IC)* yang

berfungsi sebagai pengontrol atau otak suatu rangkaian elektronik untuk mengendalikan proses *input* dan *output* rangkaian sesuai dengan program yang dibuat.

Arduino Nano merupakan papan mikrokontroler yang berukuran kecil, tetapi lengkap dan mendukung penggunaan *breadboard*. Arduino Nano berfungsi mengatur alur kerja rangkaian elektronik dengan memasukkan perintah ke dalam sebuah mikroprosesor sekaligus sebagai sumber tegangan untuk komponen-komponen pendukung lainnya. Arduino Nano adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328 untuk Arduino Nano versi 3.x dan ATmega168 untuk Arduino versi 2.x. Arduino Nano tidak memiliki konektor *power supply*. Arduino menggunakan konektor USB *Mini-B* agar dapat terhubung dengan komputer. Arduino Nano dirancang dan diproduksi oleh perusahaan *Gravitech*.



Gambar 2.13 Arduino Nano

Sumber : Penulis, 2021

Arduino Nano memiliki 14 pin digital yang dapat digunakan sebagai *input* atau *output* dengan menggunakan fungsi *pinMode()*, *digitalWrite()*, dan *digitalRead()*. Pin-pin tersebut bekerja pada tegangan sebesar 5 V. Setiap pin dapat menghasilkan dan menerima arus maksimum sebesar 40 mA dan memiliki resistor

pull-up sebesar 20-50 kOhm. Adapun konfigurasi pin pada Arduino Nano adalah sebagai berikut.

1. VCC, merupakan pin masukan (*input*) catu daya digital.
2. GND, merupakan pin untuk *ground* atau negatif untuk catu daya digital
3. AREF, digunakan sebagai referensi tegangan untuk *input analog* dengan menggunakan fungsi *analogReference()*.
4. RESET, berfungsi untuk mereset atau menghidupkan ulang mikrokontroler.
5. Serial RX (0), berfungsi untuk menerima TTL data serial.
6. Serial TX (1), berfungsi untuk mengirim TTL data serial.
7. *External Interrupt*, berfungsi untuk mengaktifkan sebuah interupsi pada nilai yang rendah, meningkat atau menurun, atau perubahan nilai.
8. *Output PWM 8 Bit*, merupakan pin yang berfungsi untuk data *analog Write()*.
9. SPI, berfungsi untuk mendukung komunikasi.
10. LED, berfungsi sebagai pin yang dapat diset bernilai *HIGH* atau *LOW*. LED akan menyala, ketika pin bernilai *HIGH* dan LED akan padam, ketika pin bernilai *LOW*.
11. *Input Analog (A0-A7)*, berfungsi untuk mengukur atau mengatur besaran tegangan 0V (Ground) sampai dengan 5V, dan juga memungkinkan untuk mengubah titik jangkauan tertinggi atau terendah dengan menggunakan fungsi *analogReference()*.

Beberapa pin yang terdapat pada sumber tegangan Arduino Nano adalah sebagai berikut.

1. GND, merupakan pin ground atau pin negatif.
2. V_{IN} , merupakan pin tegangan langsung ke papan Arduino dengan rentang tegangan yang disarankan 7 V – 12 V.
3. Pin 5V, adalah pin *output* dimana pada pin tersebut mengalir tegangan 5 V yang telah melalui regulator.
4. Pin 3V3, adalah pin *output* dimana pada pin tersebut disediakan tegangan 3.3 V yang telah melalui regulator.
5. REF, adalah pin yang menyediakan referensi tegangan mikrokontroler. Biasanya digunakan pada *board shield* untuk memperoleh tegangan yang sesuai, apakah 5 V atau 3.3 V.

Selain Arduino Nano, Arduino juga memiliki beberapa jenis yang mudah ditemukan di pasaran diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Arduino Uno, papan mikrokontroler berbasis ATmega328
2. Arduino Leonardo, papan mikrokontroler berbasis ATmega32U4, dapat digunakan untuk *virtual serial port*, *mouse* dan *keyboard* komputer
3. Arduino Mega, papan mikrokontroler berbasis ATmega2560
4. Arduino Due, papan mikrokontroler berbasis CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 dan merupakan arduino pertama yang menggunakan prosesor ARM 32-bit Cortex-M3 keluaran Atmel.

5. Arduino LilyPad, papan yang berbentuk melingkar dan menggunakan mikrokontroler ATmega168V (versi daya rendah) dan ATmega328V (biasa digunakan untuk membuat proyek unik).
6. Arduino *Micro*, papan mikrokontroler berbasis ATmega32U4, mirip dengan Arduino Leonardo yang didukung dengan komunikasi USB dan dapat dihubungkan dengan *keyboard* dan *mouse* komputer.
7. Arduino Fio, papan mikrokontroler berbasis ATmega328V memiliki bentuk yang unik dan dapat meng-*upload* program secara nirkabel menggunakan kabel FTDI.
8. Arduino ProMini, papan mikrokontroler berbasis ATmega328, cocok untuk alat yang bersifat permanen.
9. Arduino *Ethernet*, mikrokontroler berbasis ATmega328 dapat digunakan untuk menyimpan *file-file* untuk data akses jaringan, juga dapat diakses melalui *library* SD.
10. Arduino Pro, mikrokontroler berbasis ATmega 168 atau ATmega328, terdiri dari versi 3.3V/8 MHz dan 5V/16 MHz.

2.11.1 Kelebihan Arduino

Kelebihan yang dimiliki oleh Arduino pada umumnya adalah sebagai berikut.

1. *Software* dan *hardware* yang bersifat *open source*
2. Pemrogramannya mudah untuk dipelajari dan *library*-nya lengkap
3. Dapat digunakan berbagai sistem operasi komputer, seperti Windows, Linux, dan Mac OS

4. Harga yang relatif murah

2.11.2 Memori Arduino Nano

Arduino Nano adalah papan yang menggunakan mikrokontroler ATmega328 atau ATmega168. Mikrokontroler tersebut dilengkapi dengan memori yang digunakan untuk menyimpan kode program. SRAM dan EEPROM digunakan untuk menyimpan data selama program utama bekerja. Mikrokontroler ATmega328 memiliki *flash memory* sebesar 32 KB yang digunakan untuk menyimpan kode program utama dan sebesar 2 KB digunakan untuk program *bootloader*, SRAM sebesar 2 KB dan EEPROM sebesar 1 KB. Mikrokontroler ATmega168 memiliki *flash memory* sebesar 16 KB yang digunakan untuk menyimpan kode program utama dan sebesar 2 KB digunakan untuk program *bootloader*, SRAM sebesar 1 KB dan EEPROM sebesar 512 B.

2.11.3 Sistem Komunikasi Arduino Nano

Arduino Nano menggunakan komunikasi serial UART TTL (5V) yang terdapat di pin TX dan pin RX agar dapat berkomunikasi dengan komputer, arduino lain, atau papan mikrokontroler lainnya. Papan Arduino Nano memiliki sebuah IC FTDI FT232RL yang berfungsi sebagai penerjemah bentuk komunikasi yang dapat menampilkan *virtual port* di komputer. Komunikasi data serial antara komputer dengan Arduino Nano ditandai dengan berkedipnya LED RX dan TX pada papan mikrokontroler. Untuk komunikasi antar *hardware*, Arduino Nano menggunakan komunikasi I2C (TWI) dan SPI.

2.11.4 Pemrograman Arduino Nano

Dalam pemrograman, Arduino Nano dapat menggunakan *Software Arduino* dengan sistem *Integrated Development Environment (IDE)*. *Software Arduino IDE* digunakan untuk menulis program, meng-*compile* program dalam bahasa *processing* menjadi kode biner, meng-*upload* program ke dalam memori mikrokontroler, dan melakukan uji coba secara terminal serial. *Software Arduino IDE* adalah aplikasi yang dapat di-*install* di komputer dengan berbagai sistem operasi (OS), seperti Windows, Linux, dan Mac OS. *Software Arduino IDE* ditulis dengan menggunakan Java. Bagian yang terdapat pada *Software Arduino IDE* adalah sebagai berikut.

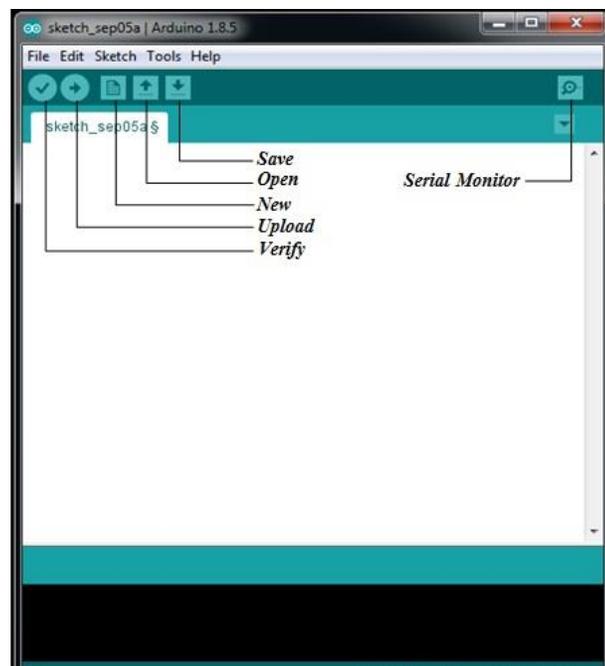
1. *Editor program*, digunakan untuk menulis dan mengedit kode program dalam bahasa *processing*.
2. *Compiler*, digunakan untuk mengubah kode program dalam bahasa *processing* menjadi kode biner. Hal ini dikarenakan mikrokontroler tidak memahami bahasa *processing*, tetapi memahami kode biner.
3. *Uploader*, digunakan untuk meng-*upload* bahasa pemrograman dalam kode biner dari komputer ke dalam memori yang terdapat pada papan Arduino.

IDE atau *Integrated Development Environment* adalah suatu program khusus untuk suatu komputer agar dapat membuat suatu rancangan atau sketsa program untuk papan Arduino. (Ramadan, 2019)

Menu – menu yang terdapat dalam aplikasi *software Arduino IDE* diantaranya adalah sebagai berikut.

1. *Save*, digunakan untuk menyimpan *file* program dalam komputer

2. *Open*, digunakan untuk membuka *file* program yang pernah dibuat dan disimpan dalam komputer
3. *New*, digunakan untuk menulis program yang baru
4. *Upload*, digunakan untuk meng-*upload* program ke papan Arduino Nano. Menu ini akan meng-*compile* program terlebih dahulu sebelum di-*upload* ke papan Arduino Nano
5. *Verify*, disebut juga *compile* digunakan untuk mengecek program yang dibuat, apakah terdapat kesalahan atau error pada program tersebut
6. *Serial Monitor*, sebagai pembuka *interface* untuk komunikasi serial



Gambar 2.14 Tampilan Awal Software Arduino IDE

Sumber : Penulis, 2021

Papan mikrokontroler pada Arduino Nano dilengkapi dengan program awal (*bootloader*). Program tersebut membuat pemrograman di *software* Arduino menjadi

lebih mudah dan sederhana tanpa memerlukan bantuan *hardware* lain. Protokol STK500 pada papan mikrokontroler digunakan untuk berkomunikasi. *Bootloader* dan mikrokontroler dapat diprogram menggunakan *header ICSP (In-Circuit Serial Programming)* dengan menggunakan Arduino ISP atau sejenisnya.

Bahasa pemrograman adalah bahasa yang berisikan perintah untuk melakukan tugas tertentu yang dapat dimengerti oleh komputer. Bahasa pemrograman arduino memiliki tiga bagian utama, diantaranya adalah sebagai berikut.

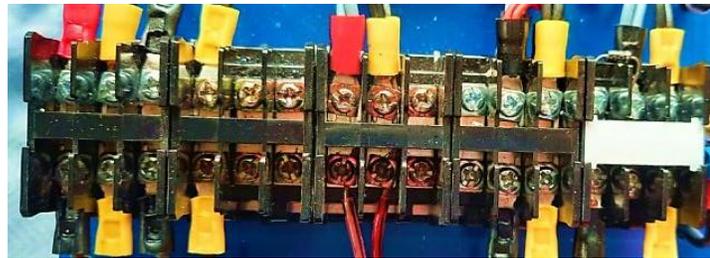
1. Struktur, terdiri dua bagian, yaitu kerangka program dan sintaks program.
 - a. Kerangka program, terdiri 2 blok atau fungsi, yaitu *Void setup()* dan *Void loop()*. *Void setup()* adalah tempat untuk melakukan inisialisasi program dan berisikan program utama yang dapat dijalankan secara berulang-ulang.
 - b. Sintaks program, terdiri dari kurung kurawal (`{ }`), komentar satu baris (`//`), komentar banyak baris (`/* */`), dan titik koma (`;`). Kurung kurawal (`{ }`) digunakan sebagai tanda awal (`{`) dan akhir program (`}`). Komentar satu baris (`//`) untuk memberi catatan arti atau fungsi kode-kode program yang dituliskan. Jika catatan yang ditulis lebih dari 1 baris maka gunakan komentar banyak baris (`/* */`). Setiap baris kode program kan diberi tanda titik koma (`;`).
2. Variabel, berfungsi untuk menampung nilai angka dan memberikan nama sesuai dengan kebutuhan membuat program.

3. Fungsi-fungsi, yang terdiri dari : Fungsi Digital I/O, Fungsi Analog I/O, Fungsi Advanced I/O, Fungsi Komunikasi, Fungsi Waktu dan Fungsi Matematika.

2.12 Terminal Kabel

Terminal kabel digunakan untuk menghubungkan komponen-komponen listrik agar komponen tersebut kelihatan rapi dan teratur. Beberapa jenis terminal diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Terminal *Block*
2. Terminal Sekrup
3. Terminal *Line Up*
4. Terminal Strip



Gambar 2.15 Terminal Block

Sumber : Penulis, 2021

BAB 3

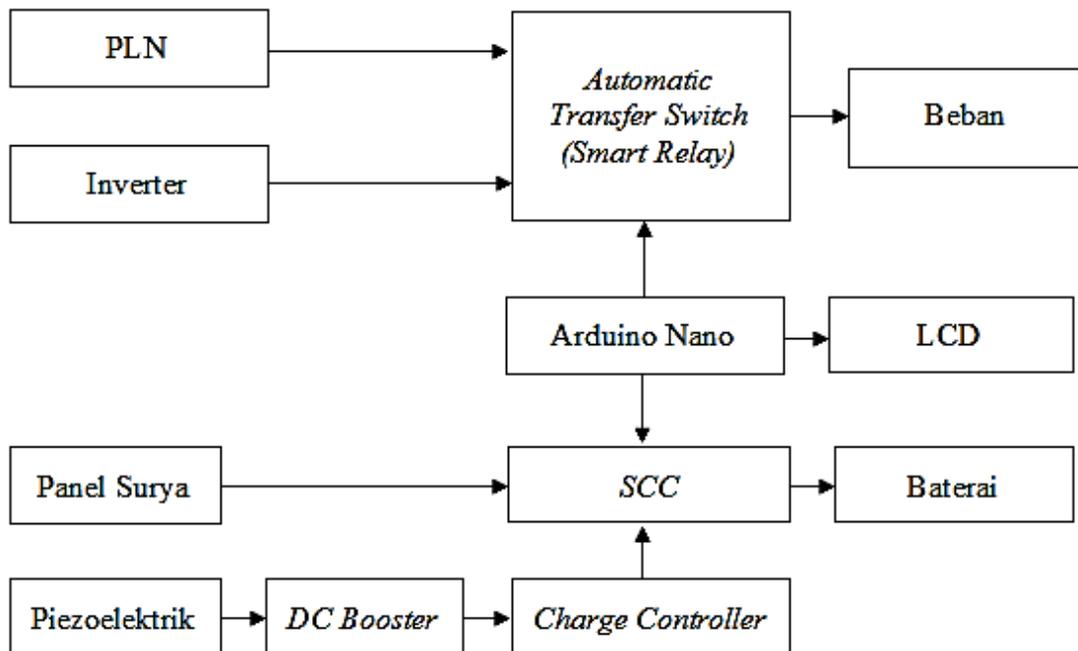
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2021, Jln. Pertiwi/Tuba III, Kecamatan Medan Denai, Sumatera Utara.

3.2 Perancangan Blok Diagram

Perancangan blok diagram dimaksudkan untuk memberikan gambaran mengenai sistem alat yang akan dirancang. Berikut merupakan blok diagram untuk Perancangan *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk Rumah Tinggal.



Gambar 3.1 Blok Diagram Rangkaian
Sumber : Penulis, 2021

Berdasarkan blok diagram di atas, dapat dilihat bahwa PLN merupakan sumber energi listrik utama. Panel Surya dan Piezoelektrik merupakan sumber energi listrik cadangan, dimana sumber energi listriknya akan disimpan di dalam baterai. Untuk membatasi arus listrik yang masuk ke baterai agar tidak terjadi *overcharging* maka diperlukan sebuah *Solar Charge Controller*. Energi listrik yang disimpan dalam baterai akan diubah menjadi energi kimia. Energi kimia akan diubah menjadi energi listrik kembali ketika baterai ingin menyuplai beban. Nilai tegangan listrik yang tersimpan dalam baterai dapat dilihat melalui *Liquid Crystal Display* (LCD). Tegangan yang terdapat dalam baterai adalah tegangan DC, sedangkan untuk menyuplai tegangan kelistrikan rumah tinggal memerlukan tegangan AC, maka dari itu, diperlukan sebuah inverter yang merupakan alat listrik yang dapat mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC.

Rangkaian sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) bekerja dengan menggunakan modul relay. Modul relay bekerja sebagai saklar untuk memindahkan posisi kontak sumber energi listrik. Arduino Nano berbasis ATmega328 digunakan dalam sistem ATS sebagai pengontrol dan pengendali sistem. Arduino Nano bekerja berdasarkan perintah yang telah diprogram dalam *software* Arduino IDE.

Adapun prinsip kerja dari rangkaian sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk Rumah Tinggal adalah sebagai berikut.

1. Ketika daya listrik PLN dalam keadaan *ON* (hidup), maka ATS akan mengaktifkan kontak jalur utama (PLN) dan kebutuhan daya listrik akan disuplai dari PLN.

2. Ketika daya listrik PLN dalam keadaan *OFF* (padam atau terputus), maka ATS akan memutuskan tegangan dari kontak jalur utama (PLN), lalu mengaktifkan kontak jalur catu daya cadangan dan kebutuhan daya listrik akan disuplai dari catu daya cadangan.
3. Jika daya listrik PLN telah kembali *ON* (hidup), ATS akan mengaktifkan kembali kontak jalur utama (PLN) dan memutuskan tegangan dari kontak jalur catu daya cadangan dan kebutuhan daya listrik akan disuplai dari PLN.
4. Panel surya dan piezoelektrik akan mengisi daya listrik ke dalam baterai secara otomatis.

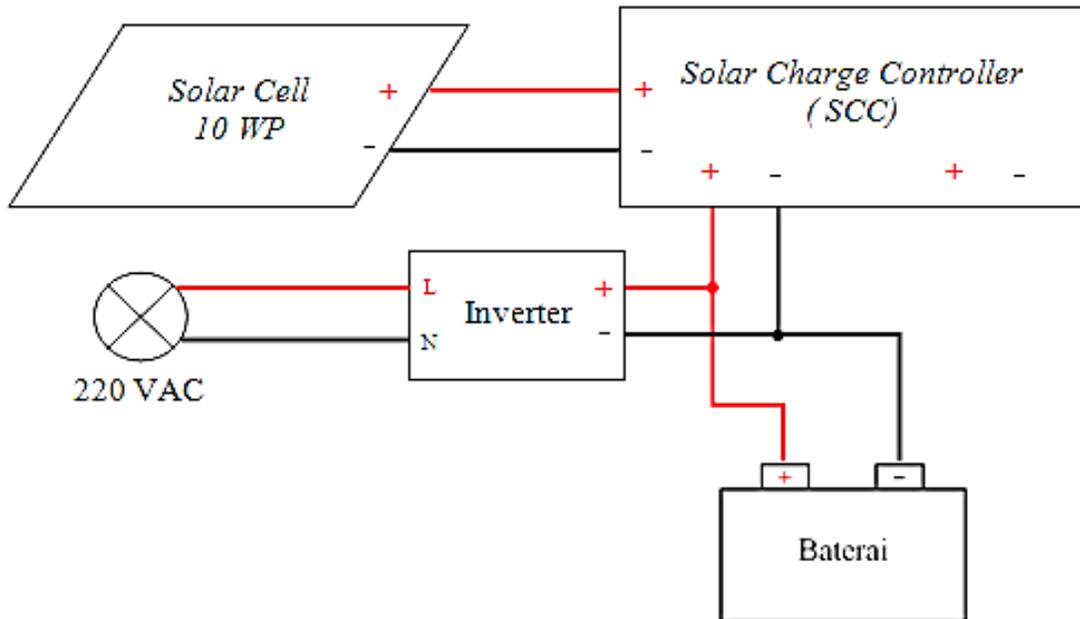
3.3 Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perancangan *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk Rumah Tinggal ini terbagi atas dua bagian, yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*).

3.3.1 Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) digunakan untuk penghasil arus listrik cadangan pada rumah tinggal, apabila sumber listrik dari PLN mati. Rangkaian PLTS akan memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan arus listrik. Untuk membuat rangkaian PLTS diperlukan beberapa perangkat listrik yang diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Panel Surya Monokristal sebesar 10 WP, yang berfungsi untuk mengubah intensitas cahaya matahari menjadi energi listrik.
2. *Solar Charge Controller* (SCC) tipe PWM, berfungsi untuk mengontrol energi listrik yang masuk ke baterai agar tidak *over voltage*.
3. Baterai Aki 12 V_{DC}, berfungsi untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan panel surya.
4. Inverter, berfungsi untuk mengubah nilai tegangan DC (V_{DC}) dari baterai menjadi tegangan AC untuk menuju beban
5. Beban (Lampu), berfungsi untuk memberikan tanda atau informasi bahwa sistem dapat bekerja dengan baik.



Gambar 3.2 Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Sumber : Penulis, 2021

Tabel 3.1 Spesifikasi Panel Surya Monokristal Model GH10M-18

<i>Rated Maximum Power (P_m)</i>	10 W
<i>Tolerance</i>	± 3%
<i>Voltage at P_{max} (V_{mp})</i>	17.82 V
<i>Current_{mn} at P_{max} (I_{mp})</i>	0.57 A
<i>Open-Circuit Voltage (V_{oc})</i>	21.96 V
<i>Short-Circuit Current (I_{sc})</i>	0.63 A
<i>Normal Operating Cell Temp (NOTC)</i>	47 ± 2 °C
<i>Maximum System Voltage</i>	1000 VDC
<i>Maximum Series Fuse Rating</i>	7 A
<i>Operating Temperature</i>	-40 to 85 °C
<i>Application Class</i>	Class A
<i>Cell Technology</i>	Mono-Si
<i>Weight</i>	1.0 Kg
<i>Dimension (mm)</i>	350 × 255 × 17 mm

Sumber : Panel Surya, 2021

Tabel 3.2 Spesifikasi *Solar Charge Controller (SCC) Tipe PWM*

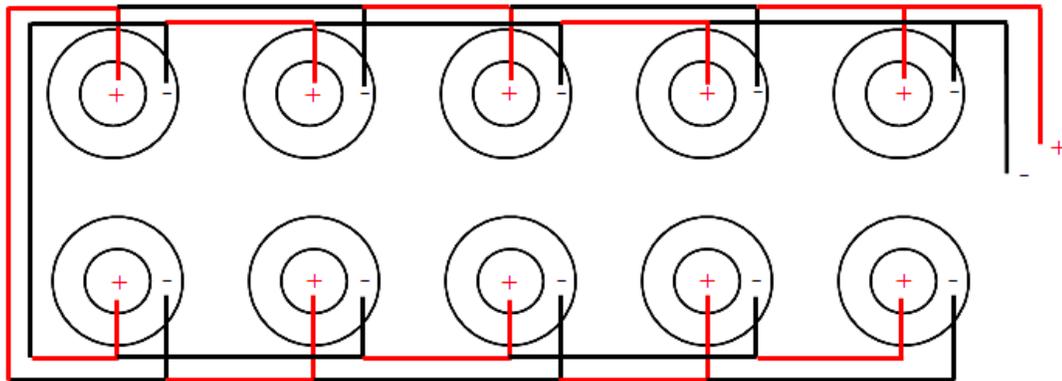
<i>Rated Voltage</i>	12 V / 24 V
<i>Rated Current</i>	20 A
<i>Max. PV Voltage</i>	50 V
<i>Max. PV Input Power</i>	260 W (12 V), 520 W (24 V)

Sumber : Solar Charge Controller, 2021

3.3.2 Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik

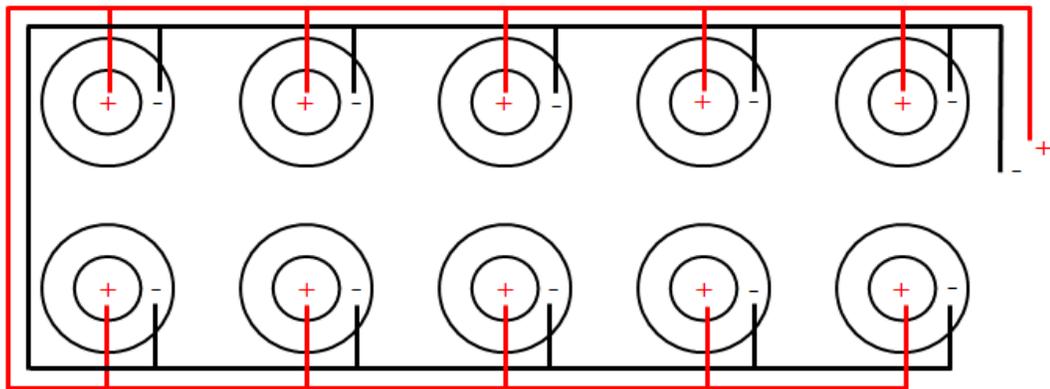
Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik adalah rangkaian yang bekerja untuk menghasilkan arus listrik cadangan pada rumah tinggal. Arus listrik akan dihasilkan ketika rangkaian piezoelektrik diberi tekanan. Rangkaian piezoelektrik akan disusun secara seri dan paralel. Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik akan menggunakan salah satu susunan rangkaian piezoelektrik tersebut (seri atau paralel). Susunan piezoelektrik yang menghasilkan nilai tegangan yang lebih besar akan dijadikan sebagai sumber arus listrik cadangan pada rumah tinggal.

1. Rangkaian piezoelektrik disusun secara seri, dilakukan dengan cara menghubungkan kutub positif piezoelektrik yang satu dengan kutub negatif piezoelektrik yang lainnya.
2. Rangkaian piezoelektrik disusun secara paralel, dihubungkan dengan cara menghubungkan kutub-kutub positif tiap piezoelektrik dan kutub-kutub negatif tiap piezoelektrik.



Gambar 3.3 Rangkaian Piezoelektrik yang Disusun Secara Seri

Sumber : Penulis, 2021



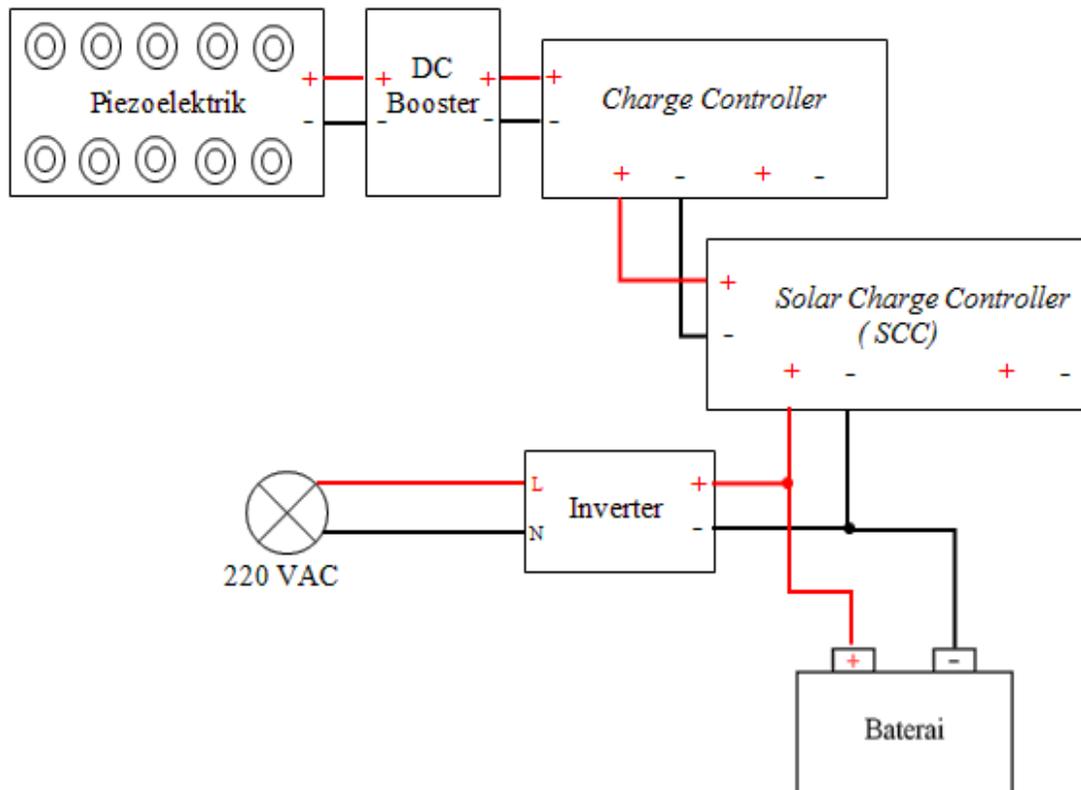
Gambar 3.4 Rangkaian Piezoelektrik yang Disusun Secara Paralel

Sumber : Penulis, 2021

Komponen-komponen yang diperlukan dalam perancangan rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Piezoelektrik sebanyak 20 buah. Piezoelektrik digunakan sebagai penghasil energi listrik cadangan, dimana 10 buah disusun secara seri dan 10 buah disusun secara paralel.
2. *DC Booster*, digunakan untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan dari piezoelektrik.

3. *Solar Charge Controller* tipe PWM dan *Charge Controller* model W88-A, digunakan untuk mengontrol energi listrik yang masuk ke baterai agar tidak mengalami *over voltage*.
4. Baterai Aki 12 V_{DC}, digunakan untuk menyimpan energi listrik yang dihasilkan piezoelektrik.
5. Inverter, digunakan untuk mengubah nilai tegangan baterai (V_{DC}) menjadi tegangan AC (V_{AC}) untuk menuju beban.
6. Beban (Lampu), digunakan sebagai pemberi tanda bahwa sistem bekerja dengan baik.



Gambar 3.5 Rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik

Sumber : Penulis, 2021

Tabel 3.3 Spesifikasi Solar Charge Controller (SCC) Model W88-A

<i>Rated Voltage</i>	12 V / 24 V
<i>Rated Current</i>	10 A
<i>Max. PV Voltage</i>	50 V
<i>Max. PV Input Power</i>	130 W (12 V), 260 W (24 V)

Sumber : Solar Charge Controller, 2021

3.3.3 Rangkaian Regulator Tegangan

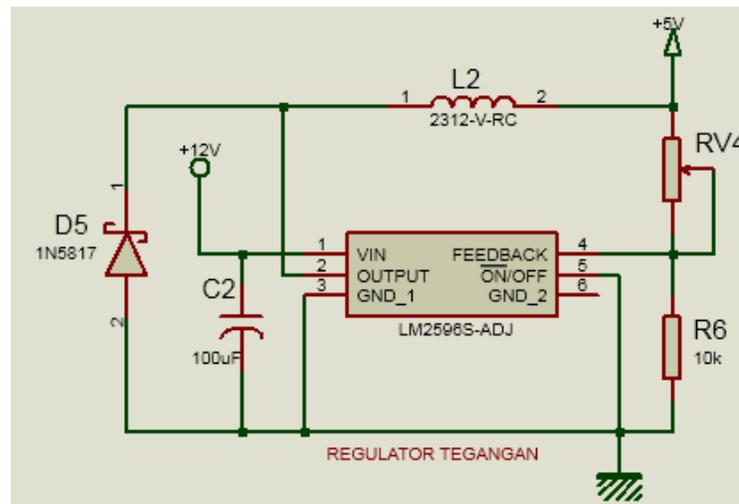
Rangkaian regulator tegangan atau disebut juga Regulator *Step/Down Converter* merupakan modul konverter daya DC ke DC yang bertugas untuk mengatur nilai tegangan *input (supply)* menjadi lebih rendah sesuai dengan yang dibutuhkan oleh beban. Regulator tegangan berfungsi menurunkan tegangan dari *power supply* agar tidak terjadinya *over voltage* pada rangkaian elektronik. Rangkaian regulator tegangan yang digunakan adalah modul konverter DC ke DC dengan IC LM2596S-ADJ.

Tabel 3.4 Spesifikasi Regulator Tegangan Modul LM2596S-ADJ

<i>Absolute Maximum Ratings</i>	
<i>Maximum Supply Voltage</i>	45 V
<i>ON /OFF Pin Input Voltage</i>	$-0.3 \leq V \leq +25V$

<i>Feedback Pin Voltage</i>	$-0.3 \leq V \leq +25V$
<i>Output Voltage to Ground (Steady State)</i>	-1V
<i>Power Dissipation</i>	<i>Internally limited</i>
<i>Storage Temperature Range</i>	$-65^{\circ}C$ to $+150^{\circ}C$
<i>ESD Susceptibility</i>	
<i>Human Body Model (Note 2)</i>	2 kV
<i>Lead Temperature</i>	
<i>DDPAK/TO-263 Package</i>	
<i>Vapor Phase (60 sec.)</i>	$+215^{\circ}C$
<i>Infrared (10 sec.)</i>	$+245^{\circ}C$
<i>TO-220 Package (Soldering, 10 sec.)</i>	$+260^{\circ}C$
<i>Maximum Junction Temperature</i>	$+150^{\circ}C$
<i>Operating Conditions</i>	
<i>Temperature Range</i>	$-40^{\circ}C \leq T_J \leq +125^{\circ}C$
<i>Supply Voltage</i>	4.5V to 40V

Sumber : datasheet, 2013



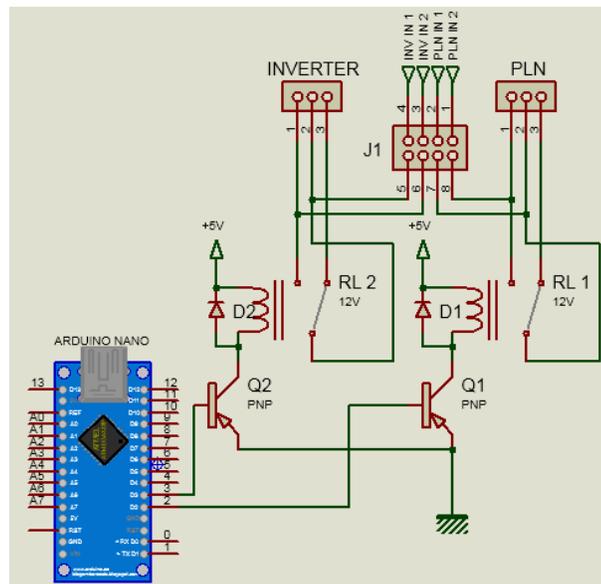
Gambar 3.6 Rangkaian Regulator Tegangan

Sumber : Penulis, 2021

3.3.4 Rangkaian Relay

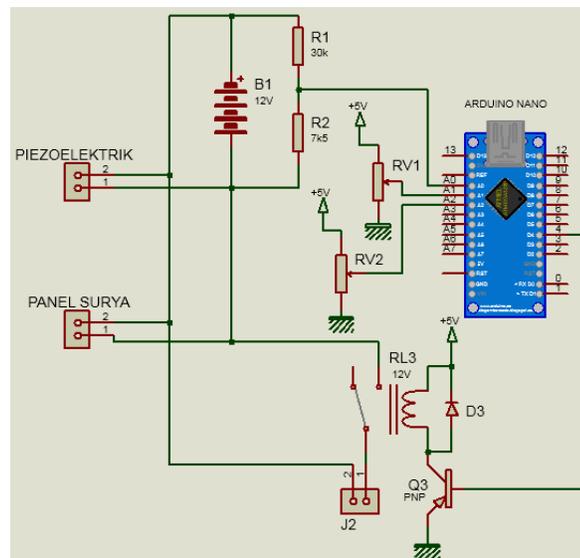
Dalam rangkaian ini, tugas relay ada 2, yaitu untuk mengontrol sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) dan mengontrol sistem pengisian baterai secara otomatis. Tipe relay yang akan digunakan dalam rangkaian sistem ATS adalah *Single Pole Double Throw* (SPDT). Relay bekerja sesuai dengan program yang telah diatur oleh *software* Arduino IDE dan telah diupload ke sebuah papan mikrokontroler berbasis ATmega328 yaitu Arduino Nano. Adapun banyak relay yang akan digunakan disertai dengan fungsinya dalam sistem ATS adalah sebagai berikut.

1. Modul relay 2 *channel*
 - a. Relay 1, berfungsi sebagai saklar pemutus dan penghubung rangkaian listrik yang sumber arus listriknya berasal dari PLN.
 - b. Relay 2, berfungsi sebagai saklar pemutus dan penghubung rangkaian listrik yang sumber arus listriknya berasal dari catu daya cadangan.



Gambar 3.7 Rangkaian Relay untuk Sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS)
Sumber: Penulis,2021

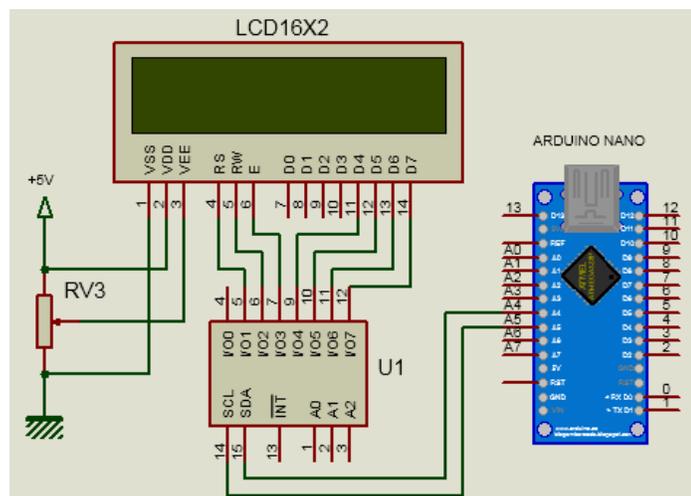
2. Modul relay 1 *channel* (Relay 3), berfungsi sebagai saklar pemutus dan penghubung baterai dengan sumber arus listrik cadangan (panel surya dan piezoelektrik) untuk melakukan pengisian baterai secara otomatis.



Gambar 3.8 Rangkaian Relay untuk Sistem Pengisian Baterai Otomatis
Sumber: Penulis,2021

3.3.5 Rangkaian *Liquid Crystal Display* (LCD)

Rangkaian *Liquid Crystal Display* (LCD) berfungsi untuk menampilkan *output* sistem dalam bentuk tulisan huruf dan angka. LCD akan menampilkan nilai tegangan yang disimpan dalam baterai untuk sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS). Dalam perancangan sistem ATS menggunakan 1 buah LCD, yaitu LCD 16×2 (16 kolom × 2 baris). LCD 16×2 dilengkapi dengan mikrokontroler Arduino Nano ATmega328P yang berfungsi untuk menampilkan *output* berupa besar kapasitas atau nilai tegangan dari baterai.



Gambar 3.9 Rangkaian LCD 16×2

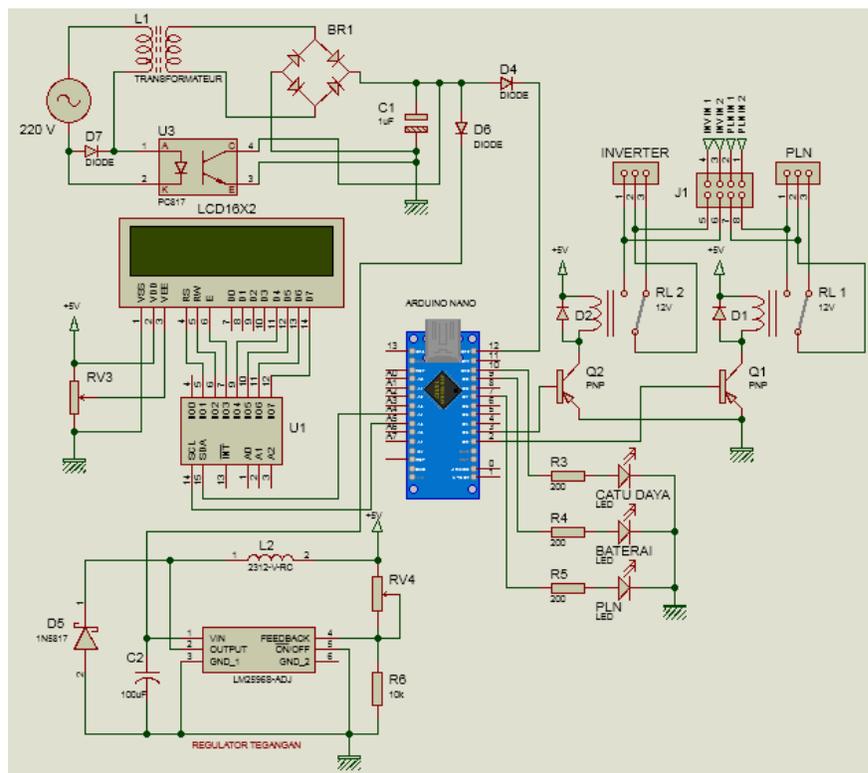
Sumber: Penulis,2021

3.3.6 Rangkaian Sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS)

Rangkaian sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) bekerja menggunakan rangkaian daya dari 3 sumber energi, yaitu 1 sumber yang bekerja sebagai sumber energi utama yang berasal dari PLN dan 2 sumber yang bekerja sebagai sumber energi cadangan yang berasal dari panel surya dan piezoelektrik. Sumber energi

cadangan akan disimpan dalam baterai. Nilai tegangan yang terdapat pada baterai akan ditampilkan oleh LCD 16×2. Aliran arus listrik menuju beban ditentukan oleh kondisi utama relay. Sistem ATS dikontrol dan dikendalikan oleh mikrikontroler Arduino Nano ATmega328P. Dalam rangkaian ATS terdapat lampu indikator yang bekerja sebagai pemberi informasi status kelistrikan pada sistem ATS. Warna dan fungsi lampu indikator berdasarkan status kelistrikan pada sistem ATS.

1. Lampu indikator hijau, bertugas untuk memberikan informasi bahwa sumber energi listrik yang digunakan berasal dari PLN.
2. Lampu Indikator kuning, bertugas untuk memberikan informasi bahwa sumber energi listrik yang digunakan berasal dari Catu Daya Cadangan.

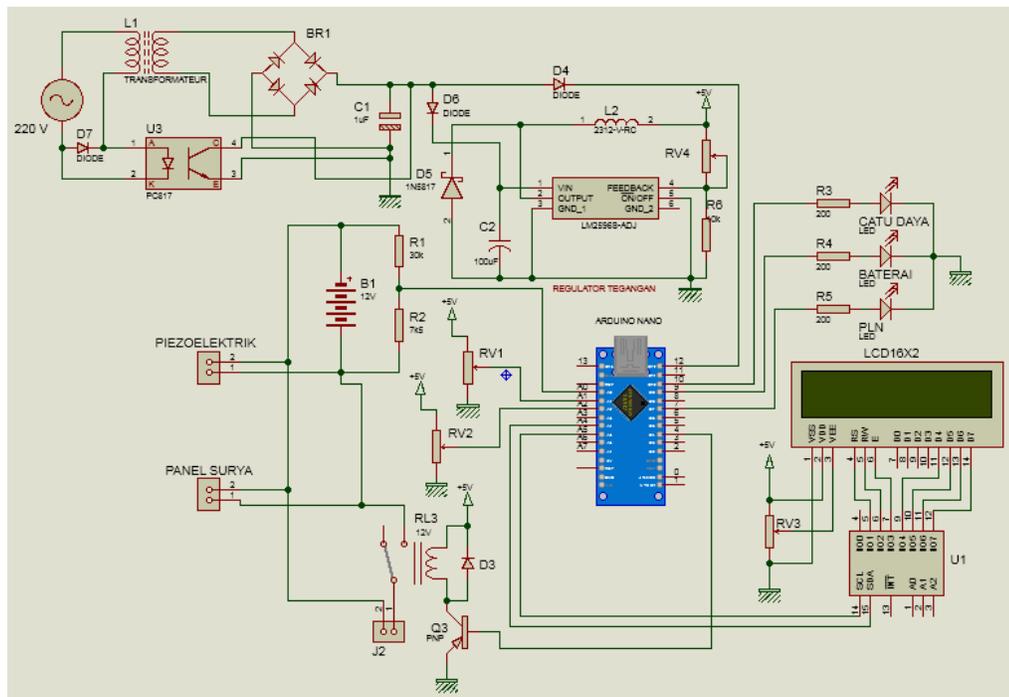


Gambar 3.10 Rangkaian Sistem Automatic Transfer Switch (ATS)

Sumber: Penulis, 2021

3.3.7 Rangkaian Sistem Pengisian Baterai Otomatis

Dalam sistem ATS, sistem pengisian baterai secara otomatis berfungsi untuk meminimalisir terjadinya kekosongan energi listrik yang disimpan dalam baterai. Sehingga, pada saat PLN mengalami pemadaman total, catu daya cadangan dapat bekerja dengan baik untuk menggantikan PLN sebagai sumber tegangan untuk beban. Rangkaian Sistem Pengisian Baterai Otomatis berfungsi untuk mengisi baterai secara otomatis ketika baterai tidak dalam keadaan penuh dan terdapat sumber energi listrik yang dihasilkan dari panel surya dan piezoelektrik. Sistem ini menggunakan komponen relay yang bekerja sebagai pemutus dan penghubung kontak baterai. Relay akan menghubungkan baterai dengan sumber energi cadangan saat baterai dalam proses pengisian. Relay akan memutuskan hubungan antara baterai dan sumber energi cadangan, ketika baterai telah terisi penuh. Proses pengisian baterai ditandai dengan hidupnya lampu indikator yang berwarna merah. Ketika baterai telah terisi penuh, lampu indikator akan mati. Sensor Arus akan digunakan sebagai pendeteksi nilai tegangan yang disimpan dalam baterai. Nilai tegangan yang terdapat pada baterai dapat dilihat atau dibaca melalui LCD 16×2. Sistem pengisian baterai otomatis, dikontrol dan dikendalikan menggunakan papan mikrokontroler Arduino Nano ATmega328P.



Gambar 3.11 Rangkaian Sistem Pengisian Baterai Otomatis

Sumber: Penulis, 2021

Tabel 3.5 Spesifikasi Arduino Nano ATmega328P

Tegangan Operasi	5 V
Tegangan <i>Input</i> (disarankan)	7 – 12 V
Tegangan <i>Input</i> (limit)	6 – 20 V
Pin Digital I/O	14 (6 pin sebagai <i>output</i> PWM)
Pin <i>Input</i> Analog	8
Arus DC per pin I/O	40 mA

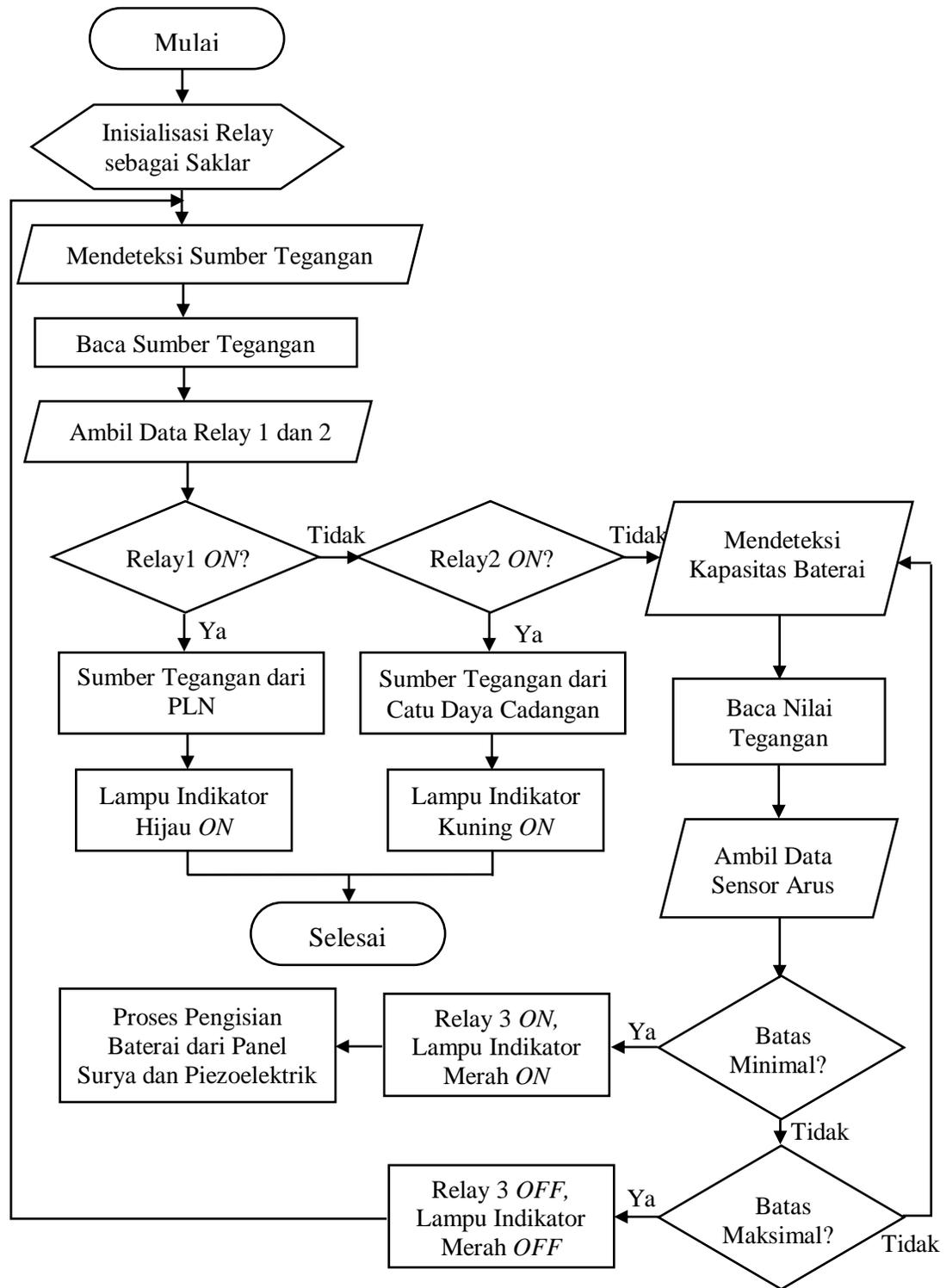
<i>Flash Memory</i>	32 KB (0.5 KB untuk <i>bootloader</i>)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz
Dimensi	0.73" × 1.70"

Sumber : datasheet

3.4 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Dalam Perancangan *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk Rumah Tinggal, setelah melakukan perancangan perangkat keras (*hardware*), maka tahap selanjutnya adalah perancangan perangkat lunak (*software*). *Software* berfungsi untuk mengolah data yang dapat diterima oleh arduino secara program, sehingga sistem ATS dapat bekerja sesuai rancangan yang diinginkan. Sebelum melakukan pemrograman, peneliti terlebih dahulu membuat Diagram Alir (*Flowchart*). *Flowchart* akan memberikan gambaran dalam bentuk bagan urutan kerja dari sistem rangkaian ATS dari suatu program.

3.4.1 Flowchart Program



Gambar 3.12 Flowchart Program

Sumber: Penulis, 2021

Berdasarkan *flowchart* yang telah dibuat, tahapan kerja dalam Perancangan *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya dan Piezoelektrik sebagai Catu Daya Cadangan untuk Rumah Tinggal adalah sebagai berikut.

1. Papan Arduino Nano ATmega328P yang digunakan sebagai pengontrol sistem kerja ATS akan menginisialisasi relay yang bekerja sebagai saklar otomatis dan memastikan semua perangkat sistem ATS terhubung dan berfungsi dengan baik.
2. Papan Arduino Nano ATmega328P akan mendeteksi sumber tegangan yang akan digunakan oleh beban lampu.
3. Relay 1 dan Relay 2 akan mengirimkan informasi sumber tegangan yang digunakan oleh beban lampu ke papan Arduino Nano ATmega328P.
4. Apabila Relay 1 dalam keadaan *ON* dan Relay 2 dalam keadaan *OFF*, maka dapat diartikan bahwa sumber tegangan yang digunakan oleh beban lampu berasal dari sumber energi utama yaitu PLN dan ditandai dengan lampu indikator hijau dalam keadaan menyala.
5. Apabila Relay 1 dalam keadaan *OFF* dan Relay 2 dalam keadaan *ON*, maka dapat diartikan bahwa sumber tegangan yang digunakan oleh beban lampu berasal dari sumber energi cadangan yaitu Catu Daya Cadangan (Baterai) dan ditandai dengan lampu indikator kuning dalam keadaan menyala.

6. Apabila Relay 1 dan 2 dalam keadaan *OFF*, maka papan Arduino Nano ATmega328P akan mendeteksi nilai kapasitas baterai menggunakan sensor tegangan.
7. Sensor tegangan akan memberikan informasi nilai tegangan yang disimpan dalam baterai ke papan Arduino Nano ATmega328P.
8. Pada saat kapasitas baterai berada di batas minimum, maka Relay 3 akan dalam keadaan *ON* dan baterai akan terisi secara otomatis pada saat terdapat sumber tegangan cadangan, baik dari panel surya ataupun piezoelektrik. Lampu indikator merah akan menyala selama proses pengisian baterai.
9. Pada saat kapasitas baterai telah mencapai batas maksimum, maka Relay 3 akan dalam keadaan *OFF* dan baterai secara otomatis akan menghentikan proses pengisian, meskipun sumber tegangan cadangan menghasilkan energi listrik. Lampu indikator merah akan mati sebagai tanda baterai telah memenuhi batas maksimal.
10. Apabila Relay 1 dan 2 dalam keadaan *OFF* dan baterai dalam keadaan batas maksimum, maka papan Arduino Nano ATmega328P akan mendeteksi kembali sumber tegangan yang akan digunakan.

3.4.2 Pemrograman Sistem ATS

Setelah membuat *flowchart*, tahap selanjutnya yang dilakukan adalah menulis program dengan menggunakan aplikasi *software* yang di-*install* dari komputer. Papan mikrokontroler yang digunakan dalam perancangan ini adalah Arduino Nano

ATMega328P, sehingga *software* yang akan digunakan untuk pemrograman adalah *software* Arduino IDE. *Software* Arduino IDE ditulis dengan menggunakan Java dan dilengkapi dengan *library* yang lengkap, sehingga penulisan program menjadi lebih mudah.

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penulisan program dalam *Software* Arduino IDE adalah sebagai berikut.

1. Meng-*install* dan membuka aplikasi *Software* Arduino IDE di komputer
2. Mengatur jenis papan dan *processor* dalam komputer dengan cara klik menu *Tools* pada aplikasi *Software* Arduino IDE, lalu pilih jenis *Board* : “Arduino Nano” dan *Processor* : “ATMega328P”
3. Menulis kode program dalam aplikasi *Software* Arduino IDE
4. Meng-*compile* atau Meng-*verify* kode program, untuk mengecek kesalahan dalam penulisan kode program. Jika terjadi kesalahan, program harus diperbaiki
5. Menyimpan file program ke dalam komputer
6. Meng-*upload* kode program dari komputer ke papan Arduino Nano
7. Arduino Nano dihubungkan dengan rangkaian sistem ATS dan dapat dilakukan pengujian sistem

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengukuran Sumber Tegangan dari PLN

Sumber tegangan yang berasal dari PLN merupakan sumber tegangan utama yang digunakan untuk mensuplai peralatan listrik pada rumah tinggal. Pengukuran sumber tegangan dari PLN bertujuan untuk mengetahui tingkat kestabilan nilai tegangan dari PLN saat beban lampu dalam keadaan menyala (daya beban = 3 Watt) dan tidak dalam keadaan menyala (daya beban = 0 Watt). Pengukuran sumber tegangan dari PLN dilakukan dengan menggunakan Multimeter Analog.



Gambar 4.1 Multimeter Analog untuk Pengukuran Sistem ATS

Sumber : Penulis, 2021

Tegangan dari PLN merupakan tegangan AC, maka saat melakukan pengukuran, saklar putar pada Multimeter Analog akan diatur ke posisi 250 ACV. Kabel Multimeter Analog akan dihubungkan ke terminal kabel PLN (Gambar 4.2) untuk mengetahui besar tegangan yang diberikan PLN untuk beban lampu.



Gambar 4.2 Terminal Kabel PLN

Sumber : Penulis, 2021

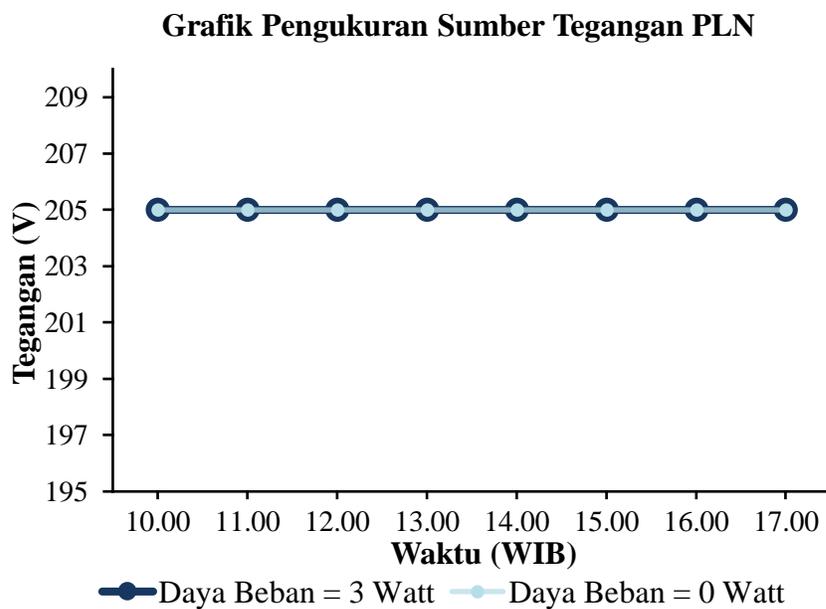
Tabel 4.1 Pengukuran Sumber Tegangan dari PLN

Waktu (WIB)	Daya Beban = 0 Watt	Daya Beban = 3 Watt
10.00	205 Volt	205 Volt
11.00	205 Volt	205 Volt
12.00	205 Volt	205 Volt
13.00	205 Volt	205 Volt
14.00	205 Volt	205 Volt
15.00	205 Volt	205 Volt
16.00	205 Volt	205 Volt

17.00	205 Volt	205 Volt
Rata-Rata	205 Volt	205 Volt

Sumber : Penulis, 2021

Berdasarkan pengukuran, nilai tegangan AC dengan daya beban 0 Watt dan 3 Watt yang berasal dari PLN menghasilkan rata-rata nilai tegangan yang sama, yaitu sebesar 205 V_{AC}. Adanya beban lampu (daya beban = 3 Watt) ataupun tidak adanya beban lampu (daya beban = 0 Watt), nilai tegangan AC yang diukur tetap sama.



Gambar 4.3 Grafik Pengukuran Sumber Tegangan PLN

Sumber : Penulis, 2021

Besar tegangan bolak-balik (V_{AC}) yang disediakan PLN untuk rumah tinggal adalah 220 V_{AC}. Sehingga, untuk mengetahui persentasi (%) galat tegangan antara

hasil pengukuran tegangan rata-rata dengan nilai tegangan berdasarkan standar/teoritis dapat menggunakan rumus (2.8).

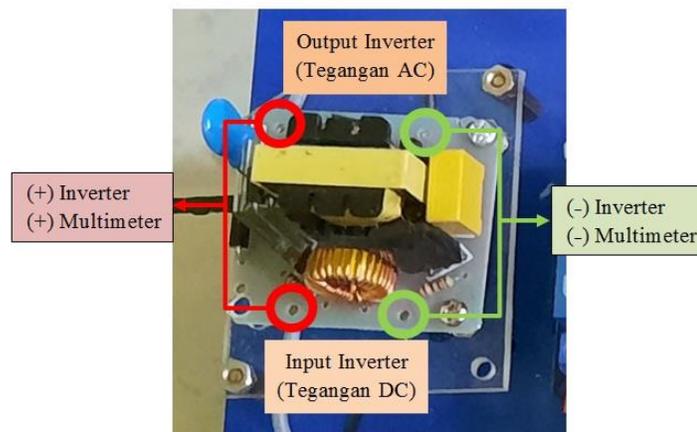
Adapun persentasi (%) galat tegangan antara hasil pengukuran rata-rata ($V_E = 205 \text{ V}_{AC}$) dengan nilai tegangan yang disediakan PLN ($V_T = 220 \text{ V}_{AC}$) adalah sebagai berikut.

$$\% \text{ Galat } V_{PLN} = \frac{|205 - 220|}{220} \times 100 \% = \frac{15}{220} \times 100 \% = 6,82 \%$$

Meskipun nilai tegangan AC yang disediakan PLN memiliki galat sebesar 6,82 % dari hasil pengukuran, tegangan AC tersebut tetap dapat menyuplai beban, seperti halnya lampu yang tetap dapat menyala dengan baik.

4.2 Pengukuran Sumber Tegangan dari Catu Daya Cadangan

Tujuan pengukuran sumber tegangan dari Catu Daya Cadangan sama dengan tujuan pengukuran sumber tegangan dari PLN, yaitu untuk mengetahui tingkat kestabilan tegangan saat beban lampu dalam keadaan menyala (daya beban = 3 Watt) dan tidak dalam keadaan menyala (daya beban = 0 Watt).



Gambar 4.4 Posisi Kabel Multimeter untuk Pengukuran Inverter

Sumber : Penulis, 2021

Inverter adalah sebuah perangkat listrik yang bekerja sebagai pengubah tegangan (dari tegangan DC menjadi tegangan AC) yang digunakan dalam pengukuran sumber tegangan dari Catu Daya Cadangan. Pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran tegangan yang masuk (*input*) dari baterai ke inverter dan pengukuran tegangan yang keluar (*output*) dari inverter untuk menuju beban. Tegangan *input* pada inverter adalah tegangan searah (tegangan DC) dan tegangan *output* pada inverter adalah arus bolak-balik (tegangan AC). Pengukuran dilakukan dengan menggunakan Multimeter Analog. Saklar putar pada Multimeter Analog akan diatur pada posisi 50 DCV untuk pengukuran tegangan *input* dan posisi 250 ACV untuk pengukuran tegangan *output*.

Tabel 4.2 Pengukuran Sumber Tegangan dari Inverter

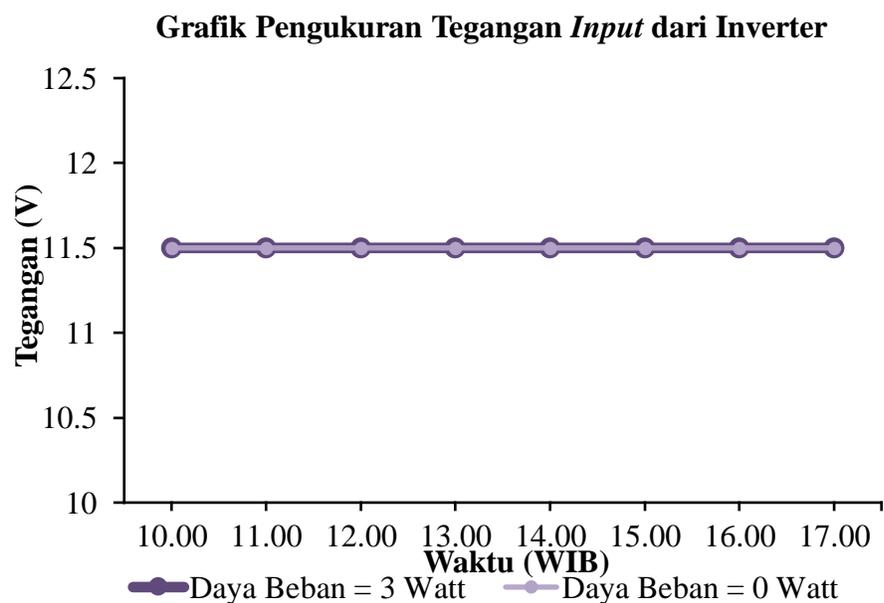
Waktu (WIB)	Daya Beban = 0 Watt		Daya Beban = 3 Watt	
	<i>Input</i>	<i>Output</i>	<i>Input</i>	<i>Output</i>
10.00	11,5 V _{DC}	170 V _{AC}	11,5 V _{DC}	165 V _{AC}
11.00	11,5 V _{DC}	170 V _{AC}	11,5 V _{DC}	165 V _{AC}
12.00	11,5 V _{DC}	170 V _{AC}	11,5 V _{DC}	165 V _{AC}
13.00	11,5 V _{DC}	170 V _{AC}	11,5 V _{DC}	165 V _{AC}
14.00	11,5 V _{DC}	170 V _{AC}	11,5 V _{DC}	165 V _{AC}
15.00	11,5 V _{DC}	170 V _{AC}	11,5 V _{DC}	165 V _{AC}

16.00	11,5 V _{DC}	170 V _{AC}	11,5 V _{DC}	165 V _{AC}
17.00	11,5 V _{DC}	170 V _{AC}	11,5 V _{DC}	165 V _{AC}
Rata-Rata	11,5 V_{DC}	170 V_{AC}	11,5 V_{DC}	165 V_{AC}

Sumber : Penulis, 2021

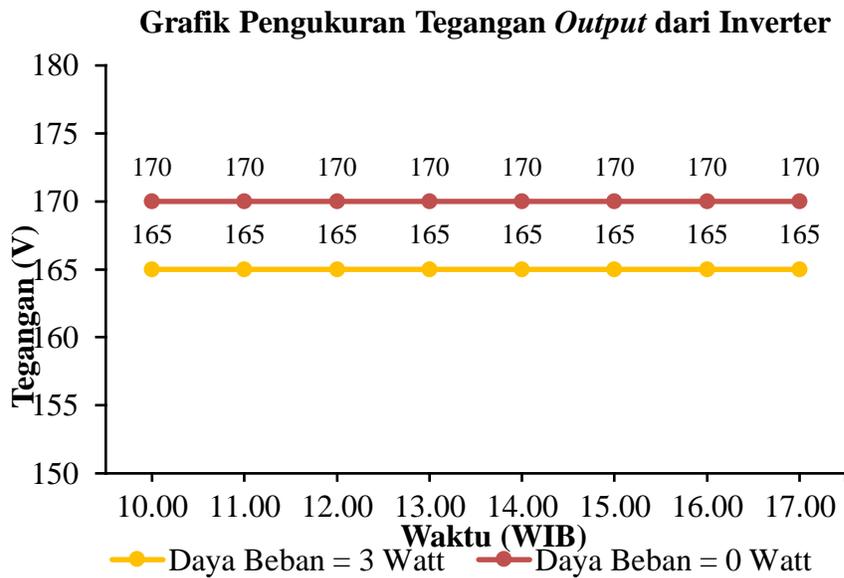
Rata-rata nilai tegangan *input* yang dihasilkan pada saat daya beban lampu 0 Watt dan 3 Watt adalah sebesar 11,5 V_{DC}. Berdasarkan pengukuran tersebut, rata-rata nilai tegangan *input* tidak memiliki selisih.

Rata-rata nilai tegangan *output* yang dihasilkan pada saat daya beban lampu 0 Watt adalah sebesar 170 V_{AC} dan saat daya beban lampu 3 Watt adalah sebesar 165 V_{AC}. Berdasarkan pengukuran tersebut, rata-rata nilai tegangan *output* memiliki selisih sebesar 5 V_{AC}.



Gambar 4.5 Grafik Pengukuran Tegangan *Input* dari Inverter

Sumber : Penulis, 2021



Gambar 4.6 Grafik Pengukuran Tegangan Output dari Inverter
Sumber : Penulis, 2021

Perhitungan galat antara tegangan yang dihasilkan dari pengukuran dengan standar nilai tegangan akan menggunakan rumus (2.8), dimana standar nilai tegangan *input* inverter adalah $12 V_{DC}$ dan nilai tegangan *output* inverter adalah $220 V_{AC}$.

1. Pada saat daya beban $P = 0$ Watt, inverter menghasilkan nilai tegangan rata-rata sebesar $11,5 V_{DC}$ untuk tegangan *input* dan $170 V_{DC}$ untuk tegangan *output*.

$$\% \text{ Galat}_{in} V_{inv} = \frac{|11,5 - 12|}{12} \times 100 \% = \frac{0,5}{12} \times 100 \% = 4,17 \%$$

$$\% \text{ Galat}_{out} V_{inv} = \frac{|170 - 220|}{220} \times 100 \% = \frac{50}{220} \times 100 \% = 22,73 \%$$

2. Pada saat daya beban $P = 3$ Watt, inverter menghasilkan nilai tegangan rata-rata sebesar $11,5 V_{DC}$ untuk tegangan *input* dan $165 V_{DC}$ untuk tegangan *output*.

$$\% \text{ Galat}_{in} V_{inv} = \frac{|11,5 - 12|}{12} \times 100 \% = \frac{0,5}{12} \times 100 \% = 4,17 \%$$

$$\% \text{ Galat}_{out} V_{inv} = \frac{|165 - 220|}{220} \times 100 \% = \frac{55}{220} \times 100 \% = 25 \%$$

Meskipun galat tegangan *output* antara hasil pengukuran dengan PLN sebesar 25%, tegangan AC dari inverter, tetap dapat bekerja sebagai catu daya cadangan untuk menyuplai beban, seperti lampu dengan daya beban sebesar 3 Watt.

4.3 Pengujian Sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS)

Dalam sistem *Automatic Transfer Switch*, peneliti melakukan 2 pengujian, yaitu pengujian jeda waktu perpindahan *Smart Relay* dan pengujian jeda waktu perpindahan lampu indikator.



Gambar 4.7 Rangkaian Sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS)

Sumber : Penulis, 2021

4.3.1 Pengujian Rangkaian *Smart Relay*

Pada sistem rangkaian ATS, salah satu pengujian yang dilakukan adalah pengujian jeda waktu yang dibutuhkan untuk perpindahan antara 2 relay, yaitu antara

Relay 1 (PLN) ke Relay 2 (Catu Daya Cadangan) dan Relay 2 (Catu Daya Cadangan) ke Relay 1 (PLN). Pada saat beban lampu menggunakan sumber energi listrik utama dari PLN mengalami pemadaman, maka Relay 1 (PLN) akan berpindah ke Relay 2 (Catu Daya Cadangan). Relay 2 (Catu Daya Cadangan) akan berpindah ke Relay 1 (PLN) pada saat sumber energi listrik dari PLN telah kembali beroperasi dan beban di suplai kembali oleh PLN. Pengujian jeda waktu perpindahan relay akan menggunakan aplikasi *stopwatch* yang terdapat pada *handphone* peneliti.

Tabel 4.3 Pengujian Jeda Waktu Perpindahan Relay 1 (PLN) ke Relay 2 (Catu Daya Cadangan)

Percobaan	Sumber yang Melayani Beban	Relay1	Relay2	Lampu	Waktu Perpindahan (detik)	Galat Waktu
1	Catu Daya Cadangan	<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>	0,62	24%
2	Catu Daya Cadangan	<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>	0,47	6%
3	Catu Daya Cadangan	<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>	0,22	56%
4	Catu Daya Cadangan	<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>	0,61	22%
5	Catu Daya Cadangan	<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>ON</i>	0,27	46%
Rata-Rata					0,44	12%

Sumber : Penulis, 2021

Tabel 4.4 Pengujian Jeda Waktu Perpindahan Relay 2 (Catu Daya Cadangan) ke Relay 1 (PLN)

Percobaan	Sumber yang Melayani Beban	Relay1	Relay2	Lampu	Jeda Waktu Perpindahan (detik)	Galat Waktu
1	PLN	ON	OFF	ON	0,81	62%
2	PLN	ON	OFF	ON	0,73	46%
3	PLN	ON	OFF	ON	0,80	60%
4	PLN	ON	OFF	ON	0,73	46%
5	PLN	ON	OFF	ON	0,74	48%
Rata-Rata					0,76	52%

Sumber : Penulis, 2021

Dalam pemrograman *software* Arduino IDE, jeda waktu perpindahan Relay 1 (PLN) ke Relay 2 (Catu Daya Cadangan) dan Relay 2 (Catu Daya Cadangan) ke Relay 1 (PLN) dirancang selama 0,5 detik. Galat antara jeda waktu perpindahan yang diatur dalam program dengan jeda waktu perpindahan yang diuji dapat menggunakan rumus (2.1) sebagai berikut.

Galat rata-rata jeda waktu perpindahan antara Relay 1 ke Relay 2 dengan yang diatur program adalah sebagai berikut.

$$\% \text{ Galat } t = \frac{|0,44 - 0,5|}{0,5} \times 100 \% = \frac{0,06}{0,5} \times 100 \% = 12 \%$$

Galat rata-rata jeda waktu perpindahan antara Relay 2 ke Relay 1 dengan yang diatur program adalah sebagai berikut.

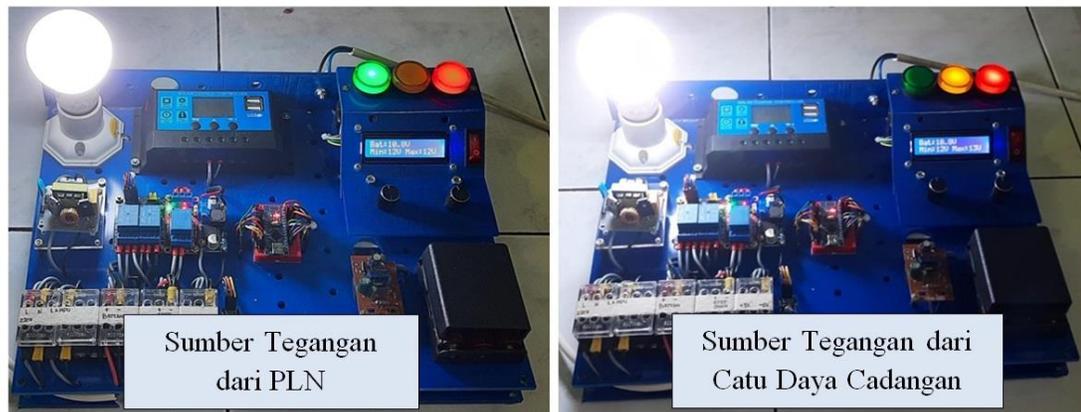
$$\% \text{ Galat } t = \frac{|0,76 - 0,5|}{0,5} \times 100 \% = \frac{0,26}{0,5} \times 100 \% = 52 \%$$

Berdasarkan pengujian *smart relay*, rata-rata jeda waktu perpindahan Relay 1 (PLN) ke Relay 2 (Catu Daya Cadangan) memiliki galat 12% dibandingkan dengan kode program dan rata-rata jeda waktu perpindahan Relay 2 (Catu Daya Cadangan) ke Relay 1 (PLN) memiliki galat 52% dibandingkan dengan kode program. Meskipun terdapat galat jeda waktu perpindahan *smart relay* antara pengujian dengan kode program, *smart relay* dapat dinyatakan dapat bekerja dengan baik dalam sistem ATS.

4.3.2 Pengujian Rangkaian Lampu Indikator

Lampu indikator berfungsi untuk memberikan informasi sumber energi yang sedang digunakan untuk menghidupkan beban lampu. Pengujian rangkaian lampu indikator yang dilakukan adalah pengujian jeda waktu yang dibutuhkan lampu indikator untuk berpindah, serta memastikan sistem ATS yang telah dirancang dapat berjalan dengan baik. Pengujian jeda waktu perpindahan relay akan menggunakan aplikasi *stopwatch* yang terdapat pada *handphone* peneliti. Lampu indikator yang digunakan dalam sistem ATS adalah bewarna hijau dan kuning. Tiap warna lampu indikator memiliki fungsi yang berbeda, yang diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Lampu indikator hijau, berfungsi untuk memberikan informasi bahwa sumber energi listrik yang digunakan berasal dari PLN.
2. Lampu Indikator kuning, berfungsi untuk memberikan informasi bahwa sumber energi listrik yang digunakan berasal dari Catu Daya Cadangan.



Gambar 4.8 Hasil Pengujian Sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS)
Sumber : Penulis, 2021

Tabel 4.5 Pengujian Jeda Waktu Perpindahan Lampu Indikator

PLN	Catu Daya Cadangan	Lampu Indikator		Jeda Waktu Perpindahan (detik)					Rata - Rata
		Hijau	Kuning	1	2	3	4	5	
<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>OFF</i>	<i>ON</i>	1,50	1,39	1,25	1,41	1,46	1,40
Galat Waktu				50%	39%	25%	41%	46%	40%
<i>ON</i>	<i>OFF</i>	<i>ON</i>	<i>OFF</i>	1,81	1,76	1,47	1,89	1,69	1,72
Galat Waktu				81%	76%	47%	89%	69%	72%

Sumber : Penulis, 2021

Berdasarkan program yang telah dibuat pada *software* Arduino IDE, jeda waktu perpindahan antara lampu indikator berwarna hijau ke kuning dan lampu indikator berwarna kuning ke hijau membutuhkan waktu selama 1 detik. Dari hasil pengujian tersebut, untuk mengetahui galat jeda waktu perpindahan yang telah diuji dengan program *software* yang telah dibuat dapat menggunakan rumus (2.1).

1. Galat rata-rata jeda waktu perpindahan lampu indikator bewarna hijau ke kuning dengan program *software* Arduino IDE.

$$\% \text{ Galat } t = \frac{|1,40 - 1|}{1} \times 100 \% = \frac{0,40}{1} \times 100 \% = 40 \%$$

2. Galat rata-rata jeda waktu perpindahan lampu indikator bewarna kuning ke hijau dengan program *software* Arduino IDE.

$$\% \text{ Galat } t = \frac{|1,72 - 1|}{1} \times 100 \% = \frac{0,72}{1} \times 100 \% = 72 \%$$

Berdasarkan pengujian lampu indikator, rata-rata jeda waktu perpindahan lampu indikator bewarna hijau ke kuning dan lampu indikator bewarna kuning ke hijau membutuhkan jeda waktu lebih lama dibandingkan dengan program *software* Arduino IDE. Meskipun demikian, lampu indikator dapat dikatakan telah berfungsi dengan baik dalam sistem ATS.

4.4 Pengukuran Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pengukuran rangkaian sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada sistem ATS bertujuan untuk mengetahui nilai tegangan DC yang dapat dihasilkan oleh panel sel surya pada siang hari. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *Solar Charge Controller* (SCC) dan Multimeter Analog.

Per 9.54 WIB 28° Sebagian Besar Berawan	Per 11.02 WIB 30° Sebagian Berawan
Per 12.06 WIB 31° Sebagian Berawan	Per 13.00 WIB 31° Sebagian Berawan
Per 13.58 WIB 32° Sebagian Besar Berawan	Per 14.59 WIB 32° Sebagian Besar Berawan
Per 15.51 WIB 31° Sebagian Besar Berawan	Per 17.00 WIB 30° Sebagian Berawan

Gambar 4.9 Suhu Udara saat Pengukuran Panel Surya

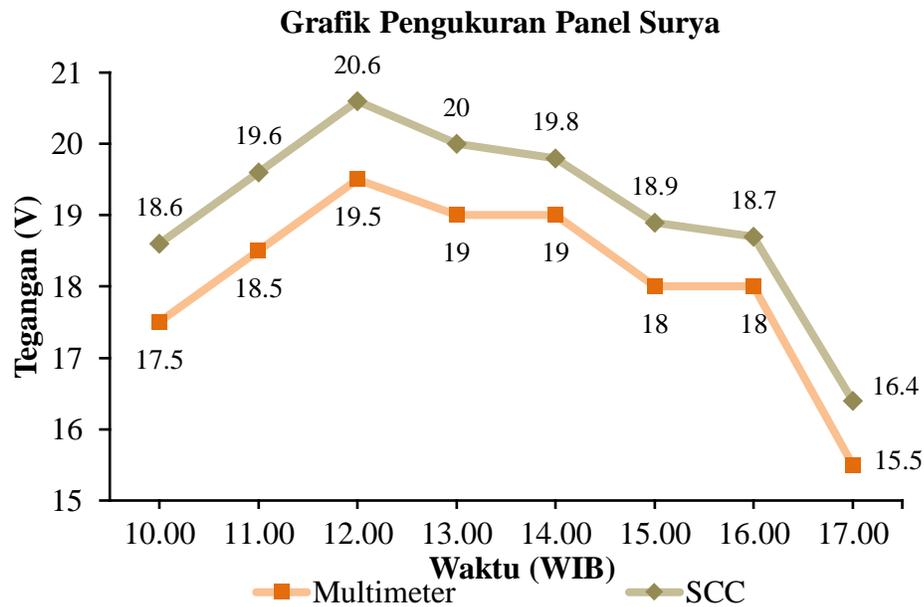
Sumber : weather.com, 2021

Tabel 4.6 Pengukuran Panel Surya

Waktu (WIB)	Indeks UV	Suhu Udara (°C)	SCC (Volt)	Multimeter (Volt)	% Galat	
					SCC	Multimeter
10.00	6 dari 10	28	18,6	17,5	15,3%	20,3%
11.00	10 dari 10	30	19,6	18,5	10,8%	15,8%
12.00	10 dari 10	31	20,6	19,5	6,2%	11,2%
13.00	10 dari 10	31	20	19	8,9%	13,5%
14.00	8 dari 10	32	19,8	19	9,8%	13,5%
15.00	5 dari 10	32	18,9	18	13,9%	18%
16.00	3 dari 10	31	18,7	18	14,9%	18%

17.00	1 dari 10	30	16,4	15,5	25,3%	29,4%
Rata-Rata			19,08	18,13	13,1%	17,4%

Sumber : Penulis, 2021



Gambar 4.10 Grafik Pengukuran Panel Surya

Sumber : Penulis, 2021

Berdasarkan data hasil pengukuran nilai tegangan pada panel surya, pengukuran dengan menggunakan *Solar Charge Controller* (SCC) dan Multimeter Analog menghasilkan selisih rata-rata nilai tegangan sebesar 0,95 Volt.

Perhitungan galat antara tegangan panel surya yang dihasilkan dari pengukuran dengan nilai tegangan berdasarkan spesifikasi panel surya (Tabel 3.1) dapat menggunakan rumus (2.8), dimana nilai tegangan *open circuit* (V_{oc}) panel surya adalah 21,96 V. Hasil perhitungan galat tegangan panel surya dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Berdasarkan spesifikasi panel surya yang terdapat pada Tabel 3.1, daya maksimum panel surya sebesar 10 Wp, panjangnya adalah 350 mm dan lebarnya adalah 255 mm. Berdasarkan rumus (2.2) dan (2.3), maka luas penampang dan nilai efisiensi dari panel surya adalah sebagai berikut.

$$A = 350 \times 255 = 89.250 \text{ mm}^2 = 0,08925 \text{ m}^2$$

$$\eta = \frac{10}{1000 \times (0,08925)} \times 100\% = \frac{10}{89,25} \times 100\% = 11,2 \%$$

Intensitas sinar matahari mencapai nilai maksimal pada saat pukul 12.00 WIB. Nilai tegangan maksimal yang dihasilkan berdasarkan pengukuran dari SCC adalah sebesar 20,6 Volt dan berdasarkan pengukuran dari Multimeter Analog adalah sebesar 19,5 Volt. Setelah lewat pukul 12.00 WIB, intensitas matahari menurun, sehingga nilai tegangan yang dihasilkan ikut menurun.

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan oleh peneliti, saat intensitas matahari mencapai maksimal, maka nilai tegangan yang dihasilkan juga maksimal dan sebaliknya, saat intensitas sinar matahari yang dihasilkan panel surya menurun, maka nilai tegangan yang dihasilkan juga menurun. Dari data pengukuran tegangan pada panel surya yang dilakukan oleh peneliti, dapat disimpulkan bahwa nilai tegangan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari.

4.5 Pengukuran Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik

Pengujian rangkaian Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik pada sistem ATS adalah dengan melakukan pengukuran nilai tegangan DC yang dihasilkan dari piezoelektrik, baik piezoelektrik yang disusun secara seri ataupun piezoelektrik yang

disusun secara paralel. Susunan piezoelektrik yang dapat menghasilkan nilai tegangan tertinggi akan digunakan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik untuk Catu Daya Cadangan pada Rumah Tinggal. Lama penekanan yang akan dilakukan pada piezoelektrik, akan dilakukan selama 5 detik. Pengukuran piezoelektrik dilakukan dengan menggunakan Multimeter Analog.



Gambar 4.11 Rangkaian Seri Piezoelektrik

Sumber : Penulis, 2021



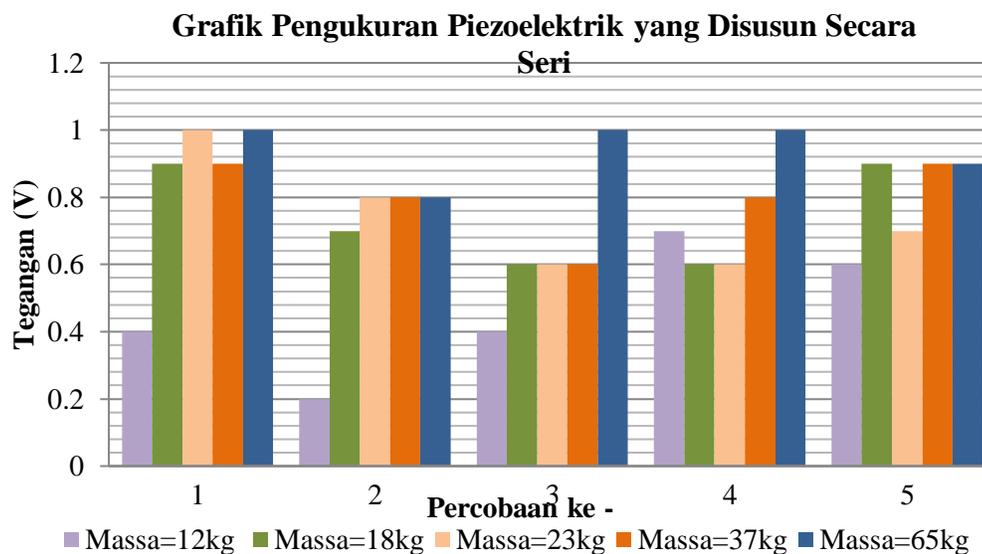
Gambar 4.12 Rangkaian Paralel Piezoelektrik

Sumber : Penulis, 2021

Tabel 4.7 Pengukuran Piezoelektrik yang Disusun Secara Seri

Percobaan	Multimeter (V)				
	12 kg	18 kg	23 kg	37 kg	65 kg
1	0,4	0,9	1,0	0,9	1,0
2	0,2	0,7	0,8	0,8	0,8
3	0,4	0,6	0,6	0,6	1,0
4	0,7	0,6	0,6	0,8	1,0
5	0,6	0,9	0,7	0,9	0,9
Rata-Rata	0,5	0,7	0,7	0,8	0,9

Sumber : Penulis, 2021



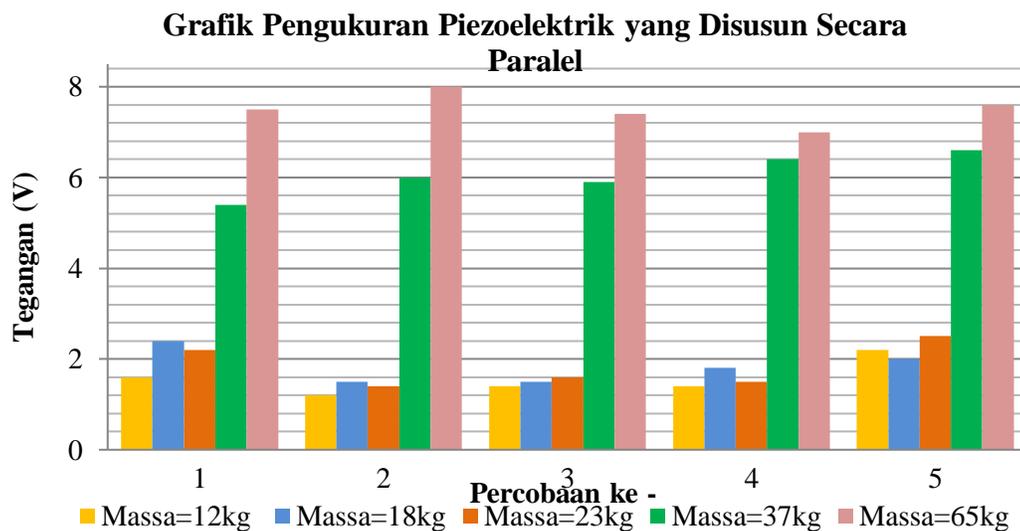
Gambar 4.13 Grafik Pengukuran Piezoelektrik yang Disusun Secara Seri

Sumber : Penulis, 2021

Tabel 4.8 Pengukuran Piezoelektrik yang Disusun Secara Paralel

Percobaan	Multimeter (V)				
	12 kg	18 kg	23 kg	37 kg	65 kg
1	1,6	2,4	2,2	5,4	7,5
2	1,2	1,5	1,4	6	8,0
3	1,4	1,5	1,6	5,9	7,4
4	1,4	1,8	1,5	6,4	7,0
5	2,2	2	2,5	6,6	7,6
Rata-Rata	1,6	1,8	1,8	6,1	7,5

Sumber : Penulis, 2021



Gambar 4.14 Grafik Pengukuran Piezoelektrik yang Disusun Secara Paralel

Sumber : Penulis, 2021

Berdasarkan hasil data pengukuran piezoelektrik, baik yang disusun secara seri maupun paralel, pada saat piezoelektrik diberi tekanan dengan berat/massa yang berbeda, maka nilai tegangan yang dihasilkan juga berbeda. Dari hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa berat/massa dapat memengaruhi nilai tegangan DC yang dihasilkan piezoelektrik saat diberi tekanan.

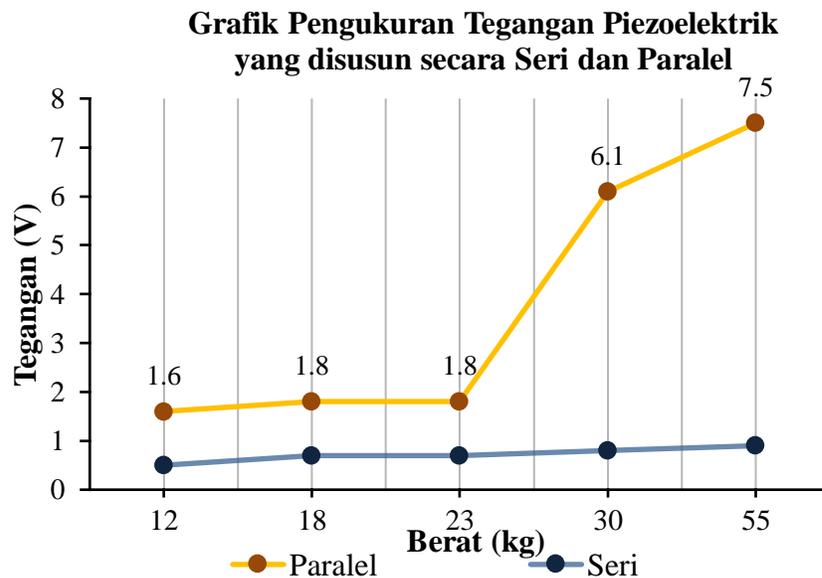
Lama waktu tekanan yang diberikan pada piezoelektrik adalah selama 5 detik. Saat piezoelektrik diberi tekanan lebih dari 5 detik, nilai tegangan yang dihasilkan piezoelektrik akan menurun hingga menjadi 0 Volt. Semakin lama piezoelektrik diberi tekanan, maka semakin sedikit nilai tegangan yang dapat dihasilkan oleh piezoelektrik.

Pengukuran piezoelektrik berdasarkan susunannya, dapat menghasilkan tegangan yang berbeda. Selisih rata-rata nilai tegangan antara piezoelektrik yang disusun secara seri dengan piezoelektrik yang disusun secara paralel adalah sebagai berikut.

1. Saat piezoelektrik diberi tekanan dengan berat 12 kg, selisih rata-rata nilai tegangan yang dihasilkan antara piezoelektrik yang disusun secara seri dan paralel adalah sebesar 1,1 Volt.
2. Saat piezoelektrik diberi tekanan dengan berat 18 kg, selisih rata-rata nilai tegangan yang dihasilkan antara piezoelektrik yang disusun secara seri dan paralel adalah sebesar 1,1 Volt.
3. Saat piezoelektrik diberi tekanan dengan berat 23 kg, selisih rata-rata nilai tegangan yang dihasilkan antara piezoelektrik yang disusun secara seri dan paralel adalah sebesar 1,1 Volt.

4. Saat piezoelektrik diberi tekanan dengan berat 37 kg, selisih rata-rata nilai tegangan yang dihasilkan antara piezoelektrik yang disusun secara seri dan paralel adalah sebesar 5,3 Volt.
5. Saat piezoelektrik diberi tekanan dengan berat 65 kg, selisih rata-rata nilai tegangan yang dihasilkan antara piezoelektrik yang disusun secara seri dan paralel adalah sebesar 6,6 Volt.

Berdasarkan grafik pengukuran piezoelektrik pada Gambar 4.14, dapat dilihat bahwa piezoelektrik yang menghasilkan nilai tegangan tertinggi adalah piezoelektrik yang disusun secara paralel. Dengan demikian, piezoelektrik yang disusun secara paralel akan digunakan sebagai Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Piezoelektrik untuk Catu Daya Cadangan pada Rumah Tinggal.



Gambar 4.15 Grafik Pengukuran Piezoelektrik Disusun Secara Seri dan Paralel
Sumber : Penulis, 2021

Nilai tegangan untuk 1 buah piezoelektrik dengan diameter 35 mm ($d = 35$ mm = 0,035 m) dan ketebalan 0,5 mm ($A = 0,5$ mm = 0,0005 m) dapat dihitung dengan menggunakan rumus (2.4), dan untuk nilai tegangan total 10 buah piezoelektrik yang disusun secara seri dapat menggunakan rumus (2.6), dan untuk piezoelektrik yang disusun secara paralel dapat menggunakan rumus (2.7). Piezoelektrik diberi tekanan dengan berat massa yang berbeda.

1. Pada saat piezoelektrik diberi tekanan dengan massa berat $m = 12$ kg

$$F = 12 \times 9,8 = 117,6 \text{ N}$$

$$V = \frac{98 \times 0,0005}{148 \times 0,035} \times 117,6 = \frac{5,7624}{5,18} = 1,11 \text{ V}$$

$$V_{seri} = 10 \times (1,11) = 11,1 \text{ V}$$

$$V_{paralel} = V_1 = \dots = V_{10} = 1,11 \text{ V}$$

2. Pada saat piezoelektrik diberi tekanan dengan massa berat $m = 18$ kg

$$F = 18 \times 9,8 = 176,4 \text{ N}$$

$$V = \frac{98 \times 0,0005}{148 \times 0,035} \times 176,4 = \frac{8,6436}{5,18} = 1,67 \text{ V}$$

$$V_{seri} = 10 \times (1,67) = 16,7 \text{ V}$$

$$V_{paralel} = V_1 = \dots = V_{10} = 1,67 \text{ V}$$

3. Pada saat piezoelektrik diberi tekanan dengan massa berat $m = 23$ kg

$$F = 23 \times 9,8 = 225,4 \text{ N}$$

$$V = \frac{98 \times 0,0005}{148 \times 0,035} \times 225,4 = \frac{11,0446}{5,18} = 2,13 \text{ V}$$

$$V_{seri} = 10 \times (2,13) = 21,3 \text{ V}$$

$$V_{paralel} = V_1 = \dots = V_{10} = 2,13 \text{ V}$$

4. Pada saat piezoelektrik diberi tekanan dengan massa berat $m = 37 \text{ kg}$

$$F = 37 \times 9,8 = 362,6 \text{ N}$$

$$V = \frac{98 \times 0,0005}{148 \times 0,035} \times 362,6 = \frac{17,7674}{5,18} = 3,43 \text{ V}$$

$$V_{seri} = 10 \times (2,13) = 34,3 \text{ V}$$

$$V_{paralel} = V_1 = \dots = V_{10} = 3,43 \text{ V}$$

5. Pada saat piezoelektrik diberi tekanan dengan massa berat $m = 65 \text{ kg}$

$$F = 65 \times 9,8 = 637 \text{ N}$$

$$V = \frac{98 \times 0,0005}{148 \times 0,035} \times 637 = \frac{31,213}{5,18} = 6,03 \text{ V}$$

$$V_{seri} = 10 \times (2,13) = 60,3 \text{ V}$$

$$V_{paralel} = V_1 = \dots = V_{10} = 6,03 \text{ V}$$

Berdasarkan perhitungan secara teoritis, piezoelektrik yang disusun secara seri menghasilkan tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan piezoelektrik yang disusun secara paralel. Hal ini berbanding terbalik dengan hasil dari pengukuran piezoelektrik, dimana piezoelektrik yang disusun secara seri menghasilkan tegangan yang lebih kecil dibandingkan dengan piezoelektrik yang disusun secara paralel.

4.6 Pengukuran Baterai

Baterai digunakan sebagai penyimpan energi listrik, dimana sumber energi listriknya berasal dari panel surya dan piezoelektrik. Pengukuran baterai dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kualitas dan tingkat kinerja dari baterai sebagai penyimpan energi listrik, dimana energi listrik tersebut akan digunakan sebagai Catu

Daya Cadangan, saat PLN mengalami pemadaman. Selain mengetahui kualitas baterai dan tingkat kinerja baterai, pengukuran juga bertujuan untuk memastikan bahwa rangkaian yang bertugas sebagai *output* untuk menampilkan nilai tegangan yang disimpan baterai dapat bekerja dengan baik. Rangkaian *Liquid Crystal Display* (LCD) 16×2 dan *Solar Charge Controller* (SCC) digunakan sebagai *output* untuk menampilkan nilai tegangan yang disimpan dalam baterai pada sistem ATS. Sebelum melakukan pengukuran baterai, peneliti akan melakukan pengujian terhadap *Solar Charge Controller* (SCC) dan LCD 16×2.

Pengujian LCD 16×2 dilakukan dengan membuat sebuah kode program pada aplikasi *Software* Arduino IDE, lalu menguploadnya ke papan Arduino Nano. Pengujian LCD 16×2 bertujuan untuk memastikan bahwasanya LCD 16×2 dapat bekerja dengan baik sesuai dengan perintah kode program yang telah dibuat oleh peneliti dalam *software* Arduino IDE. Kode program yang digunakan dalam pengujian rangkaian LCD 16×2 dapat dilihat pada Gambar 4.15.

```

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_PCF8574.h> // Library untuk LCD

LiquidCrystal_PCF8574 lcd(0x27, 16, 2);/* 0x27 adalah Addresse untuk Modul LCD
                                         16 adalah jumlah kolom LCD
                                         2 adalah jumlah baris
                                         */

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.begin(9600); // Interface antara arduino ke PC
  lcd.begin(16,2); // Komunikasi dengan LCD
  lcd.setBacklight(200);
  lcd.setCursor(0,0); // Teks di tulis pada baris 1 kolom 1
  lcd.print("=====UNPAB====="); // Menampilkan teks pada LCD
  delay(4000); // Jeda waktu 4 detik
}

```

Gambar 4.16 Kode Program Untuk Pengujian Rangkaian LCD 16×2
Sumber : Penulis, 2021



Gambar 4.17 Tampilan LCD 16×2 Berdasarkan Kode Program

Sumber : Penulis, 2021

Berdasarkan pengujian tersebut, LCD 16×2 dapat dipastikan bahwa Arduino Nano dan LCD 16×2 dapat bekerja dengan baik. Sehingga, rangkaian LCD 16×2 dapat digunakan sebagai *output* untuk menampilkan nilai tegangan yang disimpan dalam baterai.

Rangkaian sensor tegangan digunakan untuk membantu LCD 16×2 dalam membaca nilai tegangan yang disimpan dalam baterai. Untuk mengetahui kualitas sensor tegangan dalam pembacaan nilai tegangan baterai, maka diperlukan pengujian. Pengujian sensor tegangan akan dilakukan saat peneliti melakukan pengukuran baterai. Pengujian sensor tegangan menggunakan Multimeter Analog dan pengukuran baterai dilakukan dengan menggunakan *Solar Charge Controller* (SCC), LCD 16×2, dan Multimeter Analog.



Gambar 4.18 Terminal Kabel untuk Baterai

Sumber : Penulis, 2021

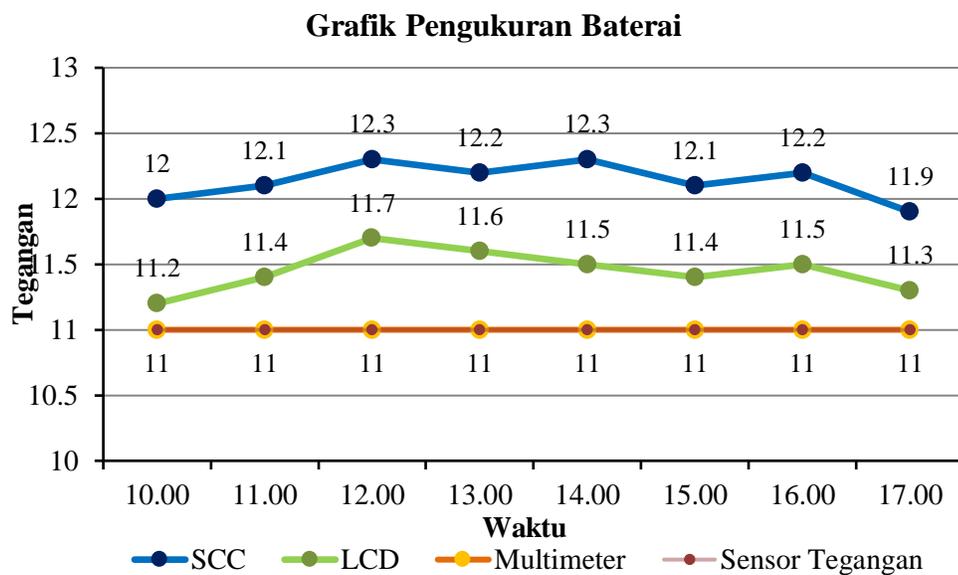
Dalam pengukuran menggunakan Multimeter Analog, saklar putar akan diatur posisinya ke 50 DCV. Lalu, posisi kabel Multimeter Analog akan diletakkan pada terminal kabel baterai. Kutub positif (+) Multimeter Analog akan dihubungkan ke kutub positif (+) terminal kabel baterai dan kutub negatif (-) Multimeter Analog akan dihubungkan ke kutub negatif (-) terminal kabel baterai.

Tabel 4.9 Data Hasil Pengukuran Baterai

Waktu (WIB)	SCC (Volt)	Multimeter (Volt)	LCD (Volt)	Sensor Tegangan (Volt)
10.00	12	11	11,2	11
11.00	12,1	11	11,4	11
12.00	12,3	11	11,7	11
13.00	12,2	11	11,6	11
14.00	12,3	11	11,5	11
15.00	12,1	11	11,4	11
16.00	12,2	11	11,5	11
17.00	11,9	11	11,3	11
Rata-Rata	12,14	11	11,5	11

Sumber : Penulis, 2021

Berdasarkan pengukuran, sensor tegangan membaca rata-rata nilai tegangan baterai adalah sebesar 11 Volt. Sedangkan LCD 16×2, membaca rata-rata nilai tegangan baterai adalah sebesar 11,5 Volt. Selisih antara rata-rata nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan dengan LCD 16×2 adalah sebesar 0,5 Volt. Dengan selisih sebesar 0,5 Volt, sensor tegangan dan LCD 16×2 dapat dinyatakan telah berfungsi dengan baik.



Gambar 4.19 Grafik Pengukuran Baterai

Sumber : Penulis, 2021

Berdasarkan pengukuran, pembacaan nilai tegangan yang disimpan dalam baterai memiliki hasil yang berbeda. Rata-rata nilai tegangan yang disimpan baterai yang dibaca oleh SCC adalah sebesar 12,14 Volt, LCD 16×2 sebesar 11,5 Volt dan Multimeter Analog sebesar 11 Volt. Adapun selisih rata-rata nilai tegangan yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

1. Selisih rata-rata nilai tegangan antara SCC dengan LCD 16×2 adalah sebesar 0,64 Volt.

2. Selisih rata-rata nilai tegangan antara SCC dengan Multimeter Analog adalah sebesar 1,14 Volt.
3. Selisih rata-rata nilai tegangan antara LCD 16×2 dengan Multimeter Analog adalah sebesar 0,5 Volt.

Berdasarkan pengukuran dan pengujian baterai yang telah dilakukan oleh peneliti, peneliti memperoleh kesimpulan bahwa baterai dapat menyimpan energi listrik dengan baik dan dapat digunakan sebagai catu daya cadangan untuk rumah tinggal saat PLN mengalami pemadaman listrik.

4.7 Pengujian Sistem Pengisian Baterai secara Otomatis

Dalam pengisian baterai secara otomatis, pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian jeda waktu yang dibutuhkan saat saklar Relay 3 berpindah posisi. Saat baterai dalam proses pengisian, posisi saklar Relay 3 akan *ON*, lalu sumber energi cadangan, baik itu dari panel surya atau piezoelektrik akan mengisi energi listrik ke baterai. Saat baterai telah terisi penuh ($12 V_{DC}$), saklar Relay 3 akan *OFF* secara otomatis, lalu baterai dapat digunakan oleh beban saat terjadinya pemadaman listrik dari PLN.

Beberapa hal yang dapat memengaruhi terjadinya proses pengisian energi listrik ke baterai adalah sebagai berikut.

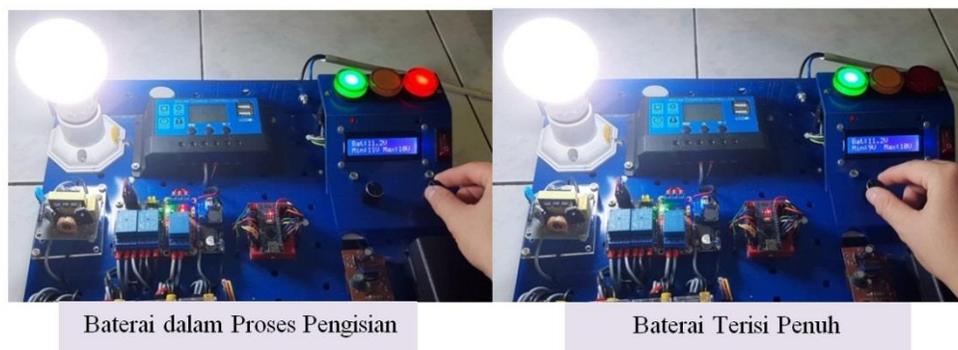
1. Nilai tegangan baterai berada di posisi minimal (minimal = $<12 V_{DC}$)
2. Nilai tegangan baterai berada di bawah maksimal (maksimal = $12 V_{DC}$)
3. Terdapat sumber energi cadangan, seperti panel surya dan piezoelektrik

Lampu indikator digunakan sebagai pemberi tanda dalam sistem pengisian baterai otomatis. Lampu indikator berfungsi untuk memberikan informasi mengenai kondisi baterai, apakah dalam proses pengisian (*ON*) atau tidak (*OFF*), serta memastikan baterai dapat terisi secara otomatis sesuai dengan rancangan. Lampu indikator yang digunakan dalam sistem ini adalah berwarna merah.

Tabel 4.10 Pengujian Jeda Waktu Perpindahan Posisi Saklar Relay 3 (Pengisian Baterai)

Nilai Tegangan	Relay 3	Lampu Indikator Merah	Waktu Perpindahan (detik)	Galat Waktu Perpindahan
$= 12V_{DC}$	<i>OFF</i>	<i>OFF</i>	0,55	10%
$< 12V_{DC}$	<i>ON</i>	<i>ON</i>	0,61	22%

Sumber : Penulis, 2021



Gambar 4.20 Sistem Pengisian Baterai

Sumber : Penulis, 2021

Dalam pemrograman *software* Arduino IDE, jeda waktu perpindahan posisi saklar Relay 3 dalam proses pengisian baterai dirancang selama 0,5 detik. Galat jeda

waktu perpindahan antara data yang telah diuji dengan program *software* yang telah dibuat dapat menggunakan rumus (2.1).

1. Galat jeda waktu perpindahan saat tegangan baterai maksimal ($=12 V_{DC}$) dengan program *software*.

$$\% \text{ Galat } t_{(12 V_{DC})} = \frac{|0,55 - 0,5|}{0,5} \times 100 \% = \frac{0,05}{0,5} \times 100 \% = 10 \%$$

2. Galat jeda waktu perpindahan saat tegangan baterai di bawah maksimal ($<12 V_{DC}$) dengan program *software*.

$$\% \text{ Error } t_{(<12 V_{DC})} = \frac{|0,61 - 0,5|}{0,5} \times 100 \% = \frac{0,11}{0,5} \times 100 \% = 22 \%$$

Berdasarkan pengujian tersebut, meskipun jeda waktu perpindahan posisi saklar relay dalam proses pengisian baterai lebih lama dibandingkan dengan kode program *software* Arduino IDE, baterai tetap dapat melakukan proses pengisian baterai secara otomatis dengan baik.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perancangan *automatic transfer switch* (ATS) menggunakan *smart relay* pada sistem pembangkit listrik tenaga surya dan piezoelektrik sebagai catu daya cadangan untuk rumah tinggal, serta dari hasil pengujian dan pengukuran yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan yang diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Jeda waktu yang diperlukan *Smart Relay* untuk berpindah dari PLN ke catu daya cadangan adalah selama 0,44 detik. Jeda waktu perpindahan yang diperlukan *Smart Relay* untuk berpindah dari catu daya cadangan ke PLN adalah selama 0,76 detik.
2. Jeda waktu yang dirancang dalam pemrograman adalah selama 0,5 detik. Sehingga persentase galat jeda waktu *smart relay* untuk berpindah dari PLN ke catu daya cadangan adalah selama 12%. Jeda waktu perpindahan yang diperlukan *Smart Relay* untuk berpindah dari catu daya cadangan ke PLN adalah selama 52%.
3. Hasil pengukuran tegangan rata-rata yang dihasilkan catu daya cadangan untuk menyuplai beban lampu (daya beban = 3 Watt) adalah sebesar 165 V_{AC} dan tegangan rata-rata yang dihasilkan oleh PLN untuk menyuplai beban lampu (daya beban = 3 Watt) adalah sebesar 205 V_{AC}

4. Berdasarkan hasil pengukuran panel surya, tegangan tertinggi yang dihasilkan adalah saat intensitas sinar matahari mencapai maksimal yaitu jam 12.00 WIB dengan tegangan yang dihasilkan sebesar 20,6 V berdasarkan pengukuran SCC dan 19,5 V berdasarkan pengukuran Multimeter Analog. Kurang dari jam 12.00 WIB ataupun lewat dari jam 12.00 WIB, intensitas matahari mengalami penurunan, sehingga nilai tegangan yang dihasilkan oleh panel surya juga mengalami penurunan. Dengan demikian, nilai tegangan yang dapat dihasilkan oleh panel surya dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari.
5. Tegangan terkecil yang dihasilkan oleh piezoelektrik adalah saat diberi tekanan selama 5 detik dengan berat massa 12 kg, yaitu sebesar 0,5 V untuk piezoelektrik yang disusun secara seri dan 1,6 V untuk piezoelektrik yang disusun secara paralel. Adapun tegangan terbesar yang dihasilkan oleh piezoelektrik adalah saat diberi tekanan selama 5 detik dengan berat massa 65 kg, yaitu sebesar 0,9 V untuk piezoelektrik yang disusun secara seri dan 7,5 V untuk piezoelektrik yang disusun secara paralel. Dengan demikian, maka semakin berat massa yang memberi tekanan untuk piezoelektrik, maka semakin besar nilai tegangan yang dapat dihasilkan oleh piezoelektrik. Begitu juga dengan susunan piezoelektrik, dimana nilai tegangan yang dihasilkan dari rangkaian piezoelektrik yang disusun secara paralel lebih besar dibandingkan rangkaian piezoelektrik yang disusun secara seri.

6. Piezoelektrik yang digunakan dalam perancangan adalah sebanyak 20 buah, dimana 10 buah disusun secara seri dan 10 buah disusun secara paralel, dimana piezoelektrik tersebut dapat menghasilkan energi listrik, tetapi tidak dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik untuk rumah tinggal. Hal ini dikarenakan tegangan piezoelektrik yang dihasilkan masih bertegangan rendah ($<12 V_{DC}$).
7. Secara teoritis/perhitungan menggunakan rumus, tegangan piezoelektrik yang disusun secara seri lebih besar dibandingkan piezoelektrik yang disusun secara paralel. Sedangkan, secara pengukuran tegangan piezoelektrik yang disusun secara seri lebih kecil dibandingkan piezoelektrik yang disusun secara paralel.
8. Baterai dapat menyimpan energi listrik hingga $12 V_{DC}$ dan akan melakukan proses pengisian secara otomatis saat tegangan baterai di bawah $12 V_{DC}$ ($<12 V_{DC}$). Sehingga, baterai dapat digunakan sebagai cadangan daya untuk rumah tinggal saat PLN mengalami pemadaman.

5.2 Saran

Dalam pembuatan tugas akhir ini, ditemukan beberapa kelemahan-kelemahan yang terdapat dalam sistem ini. Sehingga peneliti memiliki beberapa masukan atau saran yang diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Diharapkan perancangan *Automatic Transfer Switch* (ATS) menggunakan *Smart Relay* ini dapat diterapkan dan disempurnakan lebih baik lagi untuk rumah tinggal.

2. Lebih mengetahui karakteristik dari masing-masing perangkat sistem, baik itu *hardware* ataupun *software* sebelum merancang sistem *Automatic Transfer Switch* (ATS) untuk rumah tinggal.
3. Pengembangan terhadap pemanfaatan panel surya dan piezoelektrik diperlukan sebagai penghasil sumber listrik untuk rumah tinggal. Meskipun tidak dapat menggantikan sumber listrik utama dari PLN, tetapi dapat digunakan sebagai sumber listrik cadangan saat terjadinya pemadaman listrik dari PLN untuk rumah tinggal.
4. Jika ingin memanfaatkan piezoelektrik sebagai pembangkit listrik, sebaiknya dilakukan studi literatur, dimana dari studi tersebut berisikan penjelasan mengenai perhitungan secara teoritis untuk mengetahui susunan yang lebih efisien menghasilkan energi listrik dan jumlah piezoelektrik yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dalam rumah, serta persamaan antara hasil tegangan piezoelektrik secara teoritis dengan pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. M. (2016). Implementasi Kriptografi Klasik Pada Komunikasi Berbasis Teks. *Jurnal Pseudocode*, 3(2).
- Amin, M., & Nababan, A. A. (2020). Simulation Analysis Of Denial Of Services At The Computer Network: Simulation Analysis Of Denial Of Services At The Computer Network. *Jurnal Mantik*, 3(4), 656-661.
- Ayushi, M. (2010). A Symmetric Key Cryptographic Algorithm. *International Journal of Computer Applications*, 1(15), 1–6. <https://doi.org/10.5120/331-502>
- Firmansyah, E. R. (2012). Algoritma Kriptografi & Contohnya. *Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*.
- Gurevich, Y. (2012). *What Is an Algorithm?* (pp. 31–42). https://doi.org/10.1007/978-3-642-27660-6_3
- Hariyanto, E., Iqbal, M., Siahaan, A. P. U., Saragih, K. S., & Batubara, S. (2019, March). Comparative study of tiger identification using template matching approach based on edge patterns. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1196, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.
- Hendini, A. (2016). Pemodelan UML Sistem Informasi Monitoring Penjualan Dan Stok Barang. *Jurnal Khatulistiwa Informatika*, 4(2), 107–116. <https://doi.org/10.31294/jki.v4i2.1262.g1027>
- Isa, I. G. T., & Hartawan, G. P. (2017). Perancangan Aplikasi Koperasi Simpan Pinjam Berbasis Web (Studi Kasus Koperasi Mitra Setia). *Jurnal Ilmiah Ilmu Ekonomi (Jurnal Akuntansi, Pajak Dan Manajemen)*, 5(10), 139–151
- Kurniawan, T. A. (2018). Pemodelan Use Case (UML): Evaluasi Terhadap beberapa Kesalahan dalam Praktik. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 5(1), 77. <https://doi.org/10.25126/jtiik.201851610>
- Pabokory, F. N., Astuti, I. F., & Kridalaksana, A. H. (2015). Implementasi Kriptografi Pengamanan Data Pada Pesan Teks, Isi File Dokumen, Dan File Dokumen Menggunakan Algoritma Advanced Encryption Standard. *Informatika Mulawarman: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 10, 22. <https://doi.org/10.30872/jim.v10i1.23>
- Putri, R. E., Morita, K. M., & Yusman, Y. (2020). Penerapan Metode Forward Chaining Pada Sistem Pakar Untuk Mengetahui Kepribadian Seseorang. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 3(1), 60-66.
- Putri, G. G., Setyorini, W., & Rahayani, R. D. (2018). Analisis Kriptografi Simetris AES dan Kriptografi Asimetris RSA pada Enkripsi Citra Digital. *ETHOS (Jurnal Penelitian Dan Pengabdian)*, 6(2), 197–207. <https://doi.org/10.29313/ethos.v6i2.2909>
- Rahim, R., Ahmar, A. S., Abdullah, D., Hartama, D., Napitupulu, D., Siahaan, A. P. U., ... & Sriadhi, S. (2018, April). Searching Process with Raita Algorithm and its

Application. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1007, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.

Rao, R. V., & Selvamani, K. (2015). Data Security Challenges and Its Solutions in Cloud Computing. *Procedia Computer Science*, 48, 204–209. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.171>

Reswan, Y., Juhardi, U., & Yuliansyah, B. T. (2018). Implementasi Kompilasi Algoritma Kriptografi Transposisi Columnar Dan Rsa Untuk Pengamanan Pesan Rahasia. *Jurnal Informatika Upgris*, 4(2), 194–202.

Sukmawati, R., & Priyadi, Y. (2019). Perancangan Proses Bisnis Menggunakan UML Berdasarkan Fit/Gap Analysis Pada Modul Inventory Odoo. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 3(2), 104. <https://doi.org/10.29407/intensif.v3i2.12697>

Sun, Y., Zhang, J., Xiong, Y., & Zhu, G. (2014). Data Security and Privacy in Cloud Computing. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 10(7), 190903. <https://doi.org/10.1155/2014/190903>

Wibowo, H. R. (2019). *Visual Basic Database*. Jubilee Enterprise. Yakub. (2012). *Pengantar Sistem Informasi*. Graha Ilmu.

Zwass, V. (2019). *Information System*. Britannica. <https://www.britannica.com/topic/information-system>