

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Studi terdahulu perihal perancangan ATS yang dipaparkan dalam berbagai jurnal, penelitian, hingga produk komersial dijadikan sebagai rujukan dalam penelitian Tugas Akhir ini. Pada artikel jurnal membahas perihal perancangan sistem *smart monitoring* berbasis IoT memanfaatkan modul ESP8266 untuk mengirimkan data ATS ke *server database*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perancangan sistem tersebut berhasil menampilkan data berupa tegangan, arus, dan estimasi penggunaan baterai ke *website page* secara *real-time* [11].

ATS yang dirancang mampu melakukan *switching* dari baterai ke PLN ketika sensor membaca tegangan dibawah 11,4 V. Namun, jeda waktu *switching* dari baterai ke PLN tidak diketahui [11]. Selain itu, terdapat penelitian lain yang juga merancang sistem kontrol dan pemantauan ATS berbasis internet dengan modul ESP8266. Namun pemantauan kondisi sistem ATS ditampilkan pada *smartphone Android* dengan memanfaatkan aplikasi *Firestore* berbasis internet [12].

Berbeda dengan rancangan penelitian sebelumnya, terdapat sistem pemantauan ATS dengan memanfaatkan Arduino Uno berbasis LAN sebagai modul mikrokendalinya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pemantauan dapat dilakukan dengan modul ethernet namun tidak diketahui performansi kestabilan pengiriman data dari perangkat ke *web server*. Pada penelitian ini, peneliti melakukan validasi sistem ATS yang dirancang dengan melakukan pengujian arus dan tegangan pada pengukuran *generator set* dan sumber PLN dengan rata-rata kesalahan arus dan tegangan sebesar 3,76% dan 0,21% namun jeda waktu *switching* dari generator set ke PLN tidak diketahui [13].

Selain itu, peneliti lain juga memanfaatkan Arduino Uno sebagai pengontrol ATS namun data tegangan dan arus tidak ditampilkan melainkan diperoleh dari proses pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai 100 Ah 24 V yang disuplai oleh solar PV mampu bertahan 8,6 jam dengan beban rata-rata 171 W.

Akan tetapi, jeda waktu *switching* dari solar PV ke PLN tidak diteliti oleh peneliti [14].

Jeda waktu *switching* pada sistem ATS diketahui pada rancangan mikroendali non-Arduino, seperti diperoleh jeda waktu selama 5 detik untuk waktu *switching* dari PLN ke solar PV dan 10 detik dari PLN ke genset [15]. Selanjutnya, terdapat penelitian yang memanfaatkan sistem operasi transisi terbuka atau *break-before-make* dalam melakukan proses *switching* dengan jeda waktu 300 ms [16] dan terdapat juga penelitian lain yang tidak memaparkan jeda waktu *switching* [17], [18]. Namun, pada penelitian perancangan ATS yang lain, ATS mampu bekerja pada tegangan 12 V dan melakukan *switching* ke PLN ketika aki melemah di angka 10 V [17] dan penelitian perihal ATS pada system kelistrikan *on-grid* menggambarkan ATS skala besar yang memanfaatkan *programmable logic controller* (PLC) [18].

Pada penelitian sebelumnya telah berhasil mengembangkan ATS yang memiliki jeda waktu *switch* selama 10 ms dalam skala laboratorium [9] jeda waktu *switch* pada ujicoba lapangan selama 163 ms dan *monitoring* data secara *realtime* pada SD card [10]. Selain melalui studi penelitian, produk SMARTGEN HGM420N dan DSE3110 merupakan contoh ATS yang sudah dipasarkan secara komersial. Kedua produk diformulasikan khusus untuk sumber listrik dari generator mesin dan sudah memiliki kapasitas untuk menampilkan data melalui *liquid-crystal display* (LCD) [7], [8]. DSE3110 memiliki keunggulan dibandingkan dengan SMARTGEN HGM420N karena dapat menyediakan koneksi sederhana untuk mengoperasikan generator dari lokasi yang jauh. Pengoperasian hanya dapat dilakukan melalui *software* milik *Deep Sea Electronics* [8]. Tinjauan pustaka dari berbagai artikel jurnal penelitian dan produk yang lebih mendalam dipaparkan pada Tabel 2.1. dalam bentuk matriks.

Tabel 2.1. Tabel Tinjauan Pustaka

No	Nama Pengarang & Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Novi Kurniawan (2020) [11]	<i>Electrical Energy Monitoring System and Automatic Transfer Switch (ATS) Controller with the Internet of Things for Solar Power Plants</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Memanfaatkan teknologi IoT untuk memantau dan mengontrol baterai di PLTS • Memvalidasi komponen-komponen yang digunakan untuk membuat <i>monitoring system</i> dan ATS 	<ul style="list-style-type: none"> • Mendesain <i>smart monitoring system</i> berbasis IoT • Menggunakan modul ESP8266 WiFi untuk mengirimkan data ke <i>server database</i> guna untuk memantau secara <i>real time</i> menggunakan <i>smartphone</i> Android • Menggunakan <i>agile methods application development</i> dengan model <i>extreme programming</i> (XP) 	<ul style="list-style-type: none"> • Jeda waktu ketika <i>switching</i> dari baterai ke PLN tidak diketahui • Menghasilkan <i>page</i> yang menampilkan data (tegangan, arus, dan estimasi penggunaan baterai) secara <i>real time</i> • ATS melakukan <i>switching</i> dari baterai ke PLN ketika sensor membaca tegangan dibawah 11,4 V • Relay mampu mengubah ke DC 12 V ketika baterai melebihi 11,4 V • Sensor dapat membaca kapasitas baterai, arus, dan penggunaan daya baterai • ESP8266 mampu mengirim data dari sensor ke <i>database</i> • Aplikasi dapat menyimpan dan menampilkan data secara <i>real-time</i>
2.	Suratman, I Gusti Ngurah Wirahadi Wijaya, Arbiansyah Surya	Sistem Pemantuan dan Kendali Panel ATS Melalui Jaringan Internet Berbasis Antarmuka Android	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang perangkat keras dan perangkat lunak ATS • Melakukan pengujian kinerja ATS melalui jaringan internet dengan antarmuka Android 	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang perangkat keras ATS • Merancang perangkat lunak ATS 	<ul style="list-style-type: none"> • Jeda waktu ketika <i>switching</i> dari genset ke PLN tidak diketahui • Menghasilkan ATS dengan <i>selector switch</i> otomatis dan manual

No	Nama Pengarang & Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
	Lesmana, I Gede Nyoman Satya Pradnyana Putra Waisnawa, I Wayan Suasnawa, I Nyoman Sugiarta, Anak Agung Ngurah Made Narottama, dan Anak Agung Ngurah Gde Sapteka (2021) [12]			<ul style="list-style-type: none"> Menguji kinerja ATS melalui jaringan internet berbasis Android dan <i>Firebase</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Memanfaatkan mikrokontroler ESP8266 untuk pengendalian peralihan suplai listrik Arduino IDE dan <i>Firebase</i> dapat digunakan dalam pemrograman ATS pada instalasi listrik, baik sebagai pengontrol sistem otomatis maupun sistem manual
3.	Robinzon Pakpahan, Dadan Nur Ramadan, dan Sugondo Hadiyoso (2016) [13]	Rancang Bangun dan Implementasi <i>Automatic Transfer Switch (ATS)</i> Menggunakan Arduino Uno dan Relai	<ul style="list-style-type: none"> Merancang perangkat ATS Memantau arus dan tegangan melalui sensor arus Memanfaatkan modul ethernet sebagai sarana komunikasi dan penyimpanan data-data hasil pengukuran di <i>database</i> Memanfaatkan relai sebagai pengontrol sumber listrik 	<ul style="list-style-type: none"> Mendesain perangkat ATS Menguji dan memvalidasi arus dan tegangan antara nilai pada multimeter dan sensor pada sumber listrik dari PLN dan generator set Menguji dan memvalidasi relai dengan memanfaatkan indikator nyala mati lampu 	<ul style="list-style-type: none"> Jeda waktu ketika <i>switching</i> dari generator set ke PLN tidak diketahui ATS dapat mengukur arus dan tegangan dengan rata-rata kesalahan 3,76% dan 0,21% pada pengukuran generator set dan sumber PLN Relai dapat berfungsi untuk memindahkan sumber listrik dari sumber utama ke sumber cadangan atau sebaliknya

No	Nama Pengarang & Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
					<ul style="list-style-type: none"> Sistem <i>monitoring</i> dapat dilakukan dengan modul ethernet namun tidak diketahui performansi kestabilan pengiriman data dari perangkat ke <i>web server</i>
4.	Suprianto (2019) [14]	Implementasi <i>Automatic Transfer Switch</i> antara Sistem Solar Sel dengan PLN Menggunakan Arduino	<ul style="list-style-type: none"> Merancang sistem ATS untuk menjaga kontinuitas aliran daya listrik ke beban Merancang sistem ATS untuk mengurangi ketergantungan listrik PLN dan membuat biaya pemakaian lebih ekonomis Merancang sistem ATS agar konsumen listrik dapat memperoleh manfaat dari aspek teknis dan ekonomis 	<ul style="list-style-type: none"> Merancang desain sistem ATS dengan metode penelitian eksperimental Menguji dan memvalidasi arus, tegangan, dan daya listrik 	<ul style="list-style-type: none"> Jeda waktu ketika switch dari solar PV ke PLN tidak diketahui Baterai 100 Ah 24 V yang disuplai dari solar PV mampu bertahan 8,6 jam dengan beban rata-rata 171 W dan energi listrik rata-rata yang disalurkan sebesar 1,482 kWh
5.	Asriyadi, Andi Wawan Indrawan, Sarwo Pranoto, Ahmad Rizal Sultan, dan Rachmat Ramadhan (2016) [15]	Rancang Bangun <i>Automatic Transfer Switch (ATS)</i> Pada PLTS dan PLN serta Genset	<ul style="list-style-type: none"> Merancang sistem kontroler ATS untuk mengatur suplai energi dari solar PV dan baterai, PLN, dan genset 	<ul style="list-style-type: none"> Mengembangkan algoritma ATS Merakit perangkat keras untuk sistem ATS 	<ul style="list-style-type: none"> Jeda waktu ketika <i>switching</i> dari PLN ke solar PV selama 5 detik Jeda waktu ketika switch dari PLN ke genset selama 10 detik Voltmeter digital PLTS menunjukkan besaran tegangan 227 V

No	Nama Pengarang & Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
6.	Furaha Kasali Jean-Rostand, Mundu M Mustapha, Ibrahim Adabara dan Abdurrahman S Hassan (2019) [16]	<i>Design of an Automatic Transfer Switch for Households Solar PV System</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang ATS untuk sektor rumah tangga di daerah afrika. • Mengevaluasi beban sistem solar PV di sektor rumah tangga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan studi literasi, pengumpulan data sistem solar PV, dan wawancara terhadap pengguna solar PV • Menguji dan memvalidasi rancangan dengan mengukur tegangan kedua sumber dan arus yang ditarik oleh beban. 	<ul style="list-style-type: none"> • Jeda waktu ketika <i>switching</i> dari solar PV ke utilitas jaringan utama selama 300 ms • <i>Monitoring</i> arus dan tegangan listrik hanya melalui LCD • Sistem solar PV sektor rumah tangga di afrika belum memenuhi kebutuhan bebannya
7.	Abdul Majid, Eliza, dan Redy Hardiansyah (2018) [17]	<i>Alat Automatic Transfer Switch (ATS) sebagai Sistem Kelistrikan Hybrid Sel Surya pada Rumah Tangga</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang sistem ATS untuk sistem kelistrikan <i>hybrid</i> (PLN & PLTS) 	<ul style="list-style-type: none"> • Merakit komponen ATS • Menguji ATS pada 3 titik, yaitu: baterai aki, <i>output regulator</i>, sumber energi 	<ul style="list-style-type: none"> • Jeda waktu <i>switching</i> dari PLN ke PLTS tidak diketahui • ATS bekerja pada relai 12 V • ATS akan melakukan <i>switch</i> ke sumber PLN ketika aki melemah pada besaran 10 V • Hasil pengujian arus menunjukkan terjadinya perbedaan arus yang disuplai oleh sumber PLN dan aki ketika diberikan pembebanan yang sama
8.	Achmad Kurniawan, Ahmad Taqwa, dan Yohandri Bow (2019) [18]	<i>PLC Application as an Automatic Transfer Switch for on-grid PV System; Case Study Jakabaring Solar Power Plant Palembang</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Menguji pengaplikasian PLC sebagai ATS untuk sistem PLTS <i>on-grid</i> • Membandingkan data produksi energi terhadap cuaca 	<ul style="list-style-type: none"> • Memanfaatkan PLC sebagai ATS • Memanfaatkan SCADA sebagai <i>user interface</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Jeda waktu <i>switching</i> dari PLN ke PLTS tidak diketahui • ATS berbasis PLC memiliki peran penting dalam sistem karena PLTS bergantung dengan radiasi matahari berlangsung

No	Nama Pengarang & Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
					<ul style="list-style-type: none"> • Sistem ditambahkan <i>monitoring</i> cuaca
9.	Fendi Radika Akhdan (2020) [9]	Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian <i>Automatic Transfer Switch</i> pada Sistem <i>Photovoltaic (PV)</i> Menggunakan Pengendali Mikro Arduino	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang, membuat, dan menguji perangkat ATS berbasis <i>digital</i> menggunakan papan kendali Arduino • ATS yang dibuat dapat mengalihkan sumber listrik antara <i>grid</i> dan <i>inverter</i> • Memiliki harga lebih rendah dibandingkan dengan perangkat ATS di pasaran 	<ul style="list-style-type: none"> • Memanfaatkan Arduino uno dan relai untuk memindahkan sumber berdasarkan tegangan baterai 	<ul style="list-style-type: none"> • Prototipe yang dirancang dapat memindahkan sumber listrik 220 VAC pada frekuensi 60 Hz dengan jeda waktu 10 ms • Pengujian belum dilakukan secara lapangan
10.	Putu Gandhi Aditya Bayuntara (2021) [10]	Rancang Bangun <i>Automatic Transfer Switch</i> pada <i>Solar Home System</i> untuk Mendukung Proses <i>Monitoring</i> secara <i>Realtime</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Merancang dan membangun ATS yang dapat menampilkan dan menyimpan data secara <i>realtime</i> • Prototipe ATS yang dibuat harus memiliki harga yang lebih rendah dibandingkan ATS dipasaran • Menguji efektivitas, jeda waktu, performa, dan membandingkan harga ATS yang sudah dirancang 	<ul style="list-style-type: none"> • Pembuatan ATS memanfaatkan Arduino MEGA 2560 dan diujikan dalam skala laboratorium dan lapangan 	<ul style="list-style-type: none"> • Perangkat ATS berhasil memindahka sumber daya, menampilkan, dan mencatat data • Biaya pembuatan perangkat ATS sebesar 19% dari harga ATS yang dijual di komersial • ATS dapat melakukan <i>switching</i> sebanyak 11 kali dalam waktu 30 detik • Pengujian lapangan menunjukkan bahwa ATS memiliki jeda waktu rata-rata sebesar 163 ms untuk melakukan <i>switching</i> sumber listrik

No	Nama Pengarang & Tahun Penelitian	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
11.	SmartGen America (2021) [7]	SMART- GEN HGM420N	<ul style="list-style-type: none"> • Produk komersial <i>Automatic Main Failure (AMF)</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Tinjauan produk 	<ul style="list-style-type: none"> • Jeda waktu <i>switching</i> dari dua sumber selama 1 detik • Dapat menampilkan data tegangan dan arus melalui LCD • Tidak dapat menyimpan data tegangan dan arus
12.	Deep Sea Electronics (2021) [8]	DSE3110	<ul style="list-style-type: none"> • Produk komersial <i>auto transfer switch (ATS) controllers</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Tinjauan produk 	<ul style="list-style-type: none"> • Jeda waktu <i>switching</i> dari dua sumber tidak diketahui • Produk ATS hanya dikhususkan untuk sumber listrik sekunder dari generator bermesin • Dapat menampilkan data tegangan melalui LCD • Tidak dapat menyimpan data tegangan • Menyediakan koneksi sederhana untuk mengoperasikan generator dari lokasi yang jauh

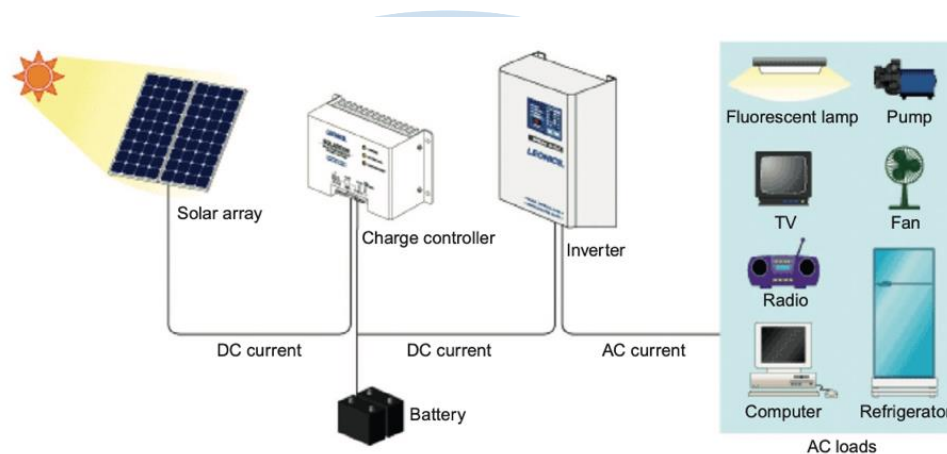
2.2 Tinjauan Teori

Dalam merancang bangun prototipe sistem *monitoing* ATS, terdapat berbagai teori-teori yang dimanfaatkan sebagai dasar dalam perancangan, pembuatan, dan pengujian prototipe ATS. Teori-teori tersebut antara lain adalah *Solar Home System*, *Automatic Transfer Switch*, sistem operasi ATS, *Internet of Things*, mikrokontroler Arduino MEGA 2560, mikrokontroler ESP32 DevKit V1, relai modul 2 *channel*, sensor arus dan tegangan, *real time clock*, ohm saklar 4 *phase/pole*, dan akurasi pengukuran.

2.2.1 *Solar Home System*

Solar Home System (SHS) merupakan *stand-alone system* atau sistem yang dapat berdiri sendiri dengan pasokan listrik otonom skala kecil untuk rumah tangga yang berada di luar jaringan atau memiliki akses energi yang kurang dapat diandalkan. Pada umumnya, SHS dirancang untuk memasok peralatan listrik rumah tangga baik DC dan/atau AC yakni peralatan rumah tangga sehari-hari, penerangan, komputer, dan pompa air [19]. Adapun, komponen SHS terdiri dari modul PV, *solar charge controller*, inverter, dan sistem baterai dipaparkan pada Gambar 2.1. SHS dapat menghasilkan listrik dari sinar matahari yang diperoleh oleh modul PV. Kemudian listrik tersebut disimpan dalam baterai yang arus listriknya diatur oleh *solar charge controller* agar baterai tidak mengalami kelebihan pengisian atau *overcharging*. Listrik yang tersimpan di dalam baterai menghasilkan arus searah (DC) yang kemudian dapat dikonversikan menjadi arus bolak-balik (AC) dengan bantuan inverter.

U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A



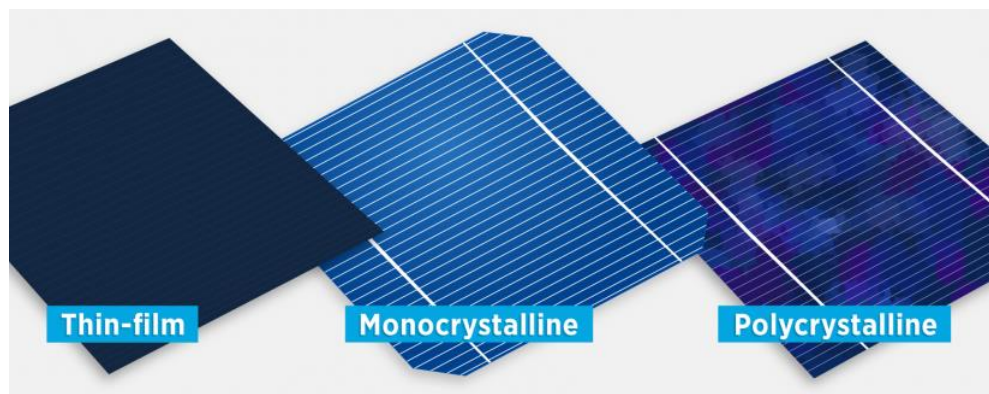
Gambar 2.1. Rangkaian Komponen *Solar Home Systems* untuk Beban Arus Listrik AC [19]

Meskipun SHS seringkali dianggap sebagai sistem *stand-alone* atau *off-grid*, saat ini sudah mulai dikembangkan SHS berbasis *grid-connected* atau *on-grid*. Suatu sistem dinyatakan sebagai sistem *off-grid* ketika pemasangan SHS diperuntukan untuk daerah terpencil yang tidak memiliki akses listrik atau kurang memadai sedangkan sistem SHS *on-grid* biasanya diperuntukan untuk sektor perumahan yang sudah memiliki akses listrik seperti PLN. Sistem *on-grid* dapat menggabungkan antara sistem pembangkit listrik berbasis tenaga surya dengan jaringan pembangkit listrik (PLN). Ketika kebutuhan beban listrik dapat ditangani oleh tenaga surya, maka sistem akan menggunakan pasokan dari tenaga surya sedangkan jika energi listrik yang dihasilkan oleh tenaga surya melebihi dari pemakaian, maka akan disimpan dalam sistem baterai atau dapat dialirkan langsung ke PLN melalui meter kWh Ekspor-Impor atau meteran EXIM.

Meter kWh Ekspor-Impor merupakan meter statis atau elektronik yang dapat mendeteksi dan mengukur energi dan besaran listrik ekspor, impor, dan netto sesuai prinsip *net metering* [20]. Melalui meteran EXIM, produksi listrik dari panel surya dapat diekspor ke jaringan *on-grid* PLN dan juga bisa dimanfaatkan untuk konsumsi rumah tangga. Jika terdapat produksi listrik

panel surya berlebihan, maka PLN akan mencatat kelebihan daya tersebut sebagai tabungan listrik dan dapat dikurangi jika pelanggan memanfaatkan listrik dari PLN. Selisih kelebihan produksi listrik panel surya dan daya konsumsi akan dicatat dan dihitung oleh PLN [21]. Pada pembuatan prototipe Tugas Akhir ini, seluruh energi listrik yang diperoleh dari modul PV akan disimpan dalam sistem baterai berbasis *lead-acid* yang bertujuan agar listrik dari modul PV dapat dimanfaatkan pada malam hari atau hari yang berawan.

Selanjutnya, *photovoltaic cell* atau sel PV merupakan kumpulan sel yang dibentuk dari bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor diartikan dapat menghantarkan listrik lebih baik dari bahan insulator namun tidak sebaik bahan metal. Tingkat efisiensi dari sel PV diukur berdasarkan jumlah energi listrik yang dihasilkan terhadap cahaya yang diterima oleh modul PV [22]. Saat ini, terdapat tiga jenis teknologi pembuatan sel surya dari bahan silikon seperti yang dipaparkan pada Gambar 2.2. Masing-masing teknologi memiliki keunggulan tersendiri dalam hal efisiensinya seperti yang dipaparkan pada Tabel 2.2.



Gambar 2.2. Jenis Teknologi Pembuatan Sel PV Berbasis Silikon [22]

Tabel 2.2. Keuntungan dan Kerugian dari Jenis Tipe Teknologi Pembuatan Sel PV Berbasis Silikon [23]

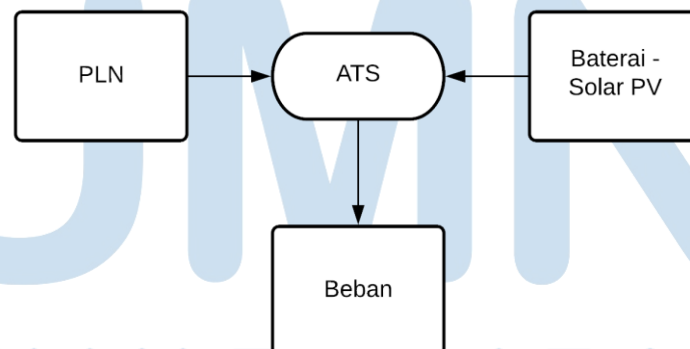
Tipe	Keuntungan	Kerugian
<i>Thin-film</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki sifat yang <i>flexible</i> • Dampak pengaruh suhu tinggi dan <i>shading</i> pada kinerja panel surya lebih kecil 	<ul style="list-style-type: none"> • Cenderung terdegradasi lebih cepat daripada panel surya <i>mono</i> dan <i>poly</i> • Pada umumnya memiliki durasi garansi yang lebih pendek daripada panel surya <i>mono</i> dan <i>poly</i>
<i>Monocrystalline</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki efisiensi tertinggi (22,5%) • Hemat ruang ketika instalasi • Memiliki ketahanan atau umur panjang • Cenderung lebih efisien dalam cuaca hangat 	<ul style="list-style-type: none"> • Mahal
<i>Polycrystalline</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Lebih sederhana untuk diproduksi • Biaya lebih murah • <i>Co-efficient</i> pada suhu yang tinggi 	<ul style="list-style-type: none"> • Hanya memiliki efisiensi sekitar 14-16% • Efisiensi ruang yang lebih rendah

Hingga saat ini, bahan silikon merupakan bahan semikonduktor yang digunakan pada sel surya. Sel surya berbahan silikon dapat menghasilkan efisiensi yang tinggi, biaya produksi yang rendah, serta memiliki durabilitas yang tinggi. Diprediksi bahwa modul PV berbasis silikon dapat bertahan hingga 25 tahun dengan kemampuan memproduksi listrik lebih dari 80% dari pada mulanya [22]. Pada tahap uji coba lapangan, SHS akan memanfaatkan modul PV berbasis silikon.

2.2.2 Automatic Transfer Switch (ATS)

Automatic Transfer Switch (ATS) memiliki peran penting dalam menunjang kestabilan pasokan listrik dari dua sumber atau lebih. ATS digunakan untuk memindahkan beban aliran dari utilitas jaringan listrik utama ke sumber listrik sekunder secara otomatis ketika sistem mendeteksi bahwa pasokan listrik utama sedang mengalami gangguan dan akan mentransfer beban listrik kembali ke utilitas jaringan listrik utama ketika pulih. Secara garis besar, sistem ATS dikoneksikan dengan beban dan sumber listrik [24].

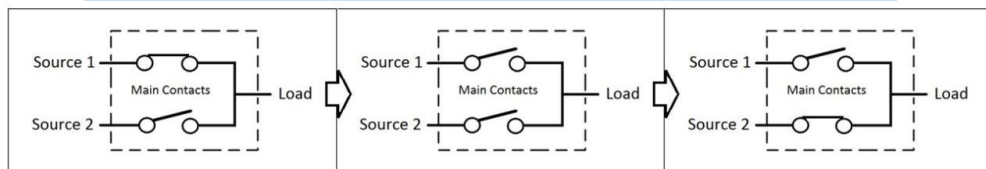
Kestabilan pasokan listrik sangat diperlukan untuk menunjang keberlangsungan aktivitas di berbagai sektor. Di sektor industri, pada umumnya memanfaatkan pembangkit listrik cadangan untuk memastikan keberlangsungan proses produksi [25]. Pada *Solar Home System*, ATS memanfaatkan sistem kelistrikan PLN sebagai *power backup* sehingga ketika baterai maupun sumber listrik tenaga surya tidak beroperasi maka PLN akan langsung tersambung sebagai sumber untuk menjaga kontinuitas pasokan aliran listrik ke beban. Skema prinsip kerja ATS secara sederhana dipaparkan pada Gambar 2.3.



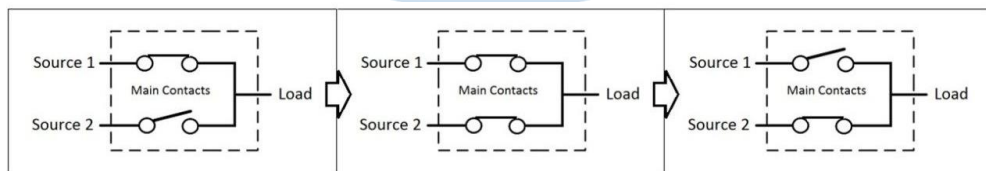
Gambar 2.3. Prinsip Kerja *Automatic Transfer Switch*

2.2.3 Sistem Operasi ATS

Pengoperasian ATS terdiri dari dua transisi yaitu: transisi terbuka atau *Break-before-make* dan transisi tertutup atau *make-before-break*. Proses *break-before-make* merupakan proses pemutusan beban dengan utilitas jaringan listrik utama kemudian dihubungkan dengan sumber listrik sekunder. Sedangkan proses *make-before-break* merupakan proses penyambungan beban dengan sumber listrik sekunder terlebih dahulu kemudian pemutusan dengan utilitas jaringan listrik utama [26], [27]. Cara kerja transisi terbuka dan tertutup diilustrasikan seperti pada Gambar 2.4. dan Gambar 2.5.



Gambar 2.4. Cara Kerja Transisi Terbuka atau *Break-Before-Make* [27]



Gambar 2.5. Cara Kerja Transisi Tertutup atau *Make-Before-Break* [27]

Sistem pengoperasian transisi terbuka memerlukan jeda waktu karena memasuki fase tunda terbuka ketika proses pemutusan kemudian penyambungan ke sumber sekunder. Akan tetapi, transisi tertutup memiliki salah satu keunggulan dibandingkan transisi terbuka yaitu memungkinkan proses transmisi listrik tetap berlangsung tanpa adanya jeda waktu [27]. Hal tersebut dikarenakan tidak terdapatnya celah ketika proses pemutusan dan penyambungan ke sumber sekunder. Namun, transisi tertutup memungkinkan terjadinya arus pendek akibat kelebihan daya sehingga diperlukan sistem

keamanan yang lebih baik seperti pemasangan *Miniatur Circuit Breaker* (MCB) maupun *AC capacitor* untuk menjaga kontinuitas aliran listrik ke beban. Pada umumnya, prosedur *make-before-break* diperuntukkan pada beban yang memerlukan kontinuitas pasokan tenaga listrik [26].

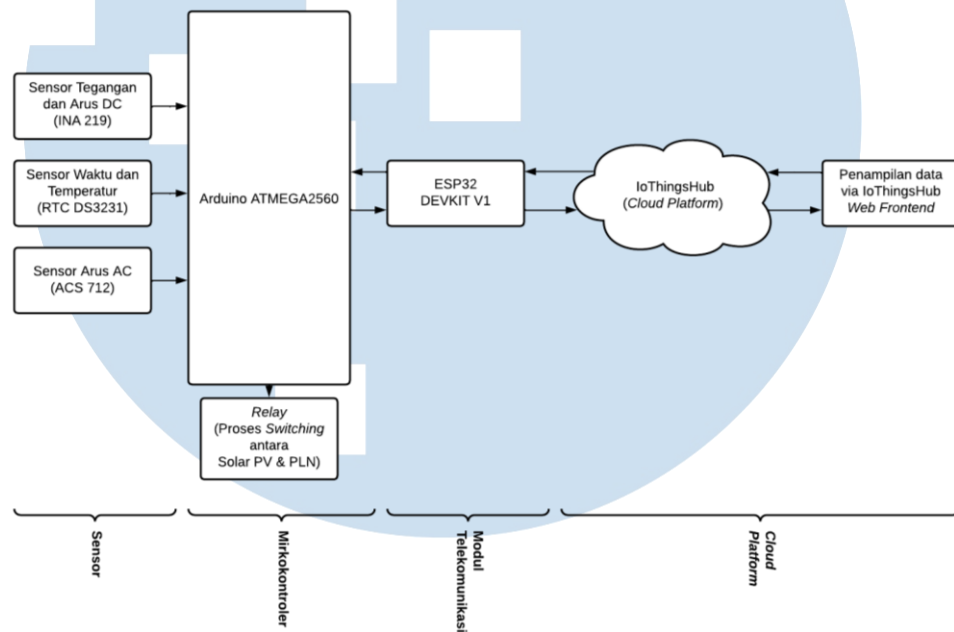
2.2.4 *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep interkoneksi dari berbagai perangkat komputasi tertanam (*embedded computing devices*) yang memanfaatkan infrastruktur internet. IoT memanfaatkan berbagai peralatan seperti mikrokontroler, pemancar gelombang, *protocol stack* sehingga memungkinkan untuk saling berkomunikasi antar pengguna internet [28]. Pengintegrasian antara IoT dengan mikrokontroler setidaknya membutuhkan *platform* IoT untuk menyimpan atau menampilkan data.

Platform IoT dapat didefinisikan sebagai (1) penghubung antara perangkat keras, (2) memproses protokol komunikasi dari berbagai perangkat keras dan lunak, (3) menyediakan keamanan untuk perangkat dan pengguna, serta (4) menyimpan, menganalisis dan memvisualisasikan data yang dikumpulkan oleh sensor dan perangkat [29]. Penggunaan mikrokontroler Arduino berbasis IoT setidaknya memerlukan modul ethernet atau modul telekomunikasi untuk mengirimkan data ke *platform* IoT sehingga data dapat disimpan dan diakses oleh berbagai pengguna yang memiliki akses internet.

Salah satu *platform* IoT *open source* yang dapat dimanfaatkan adalah *ThingSpeak*, *Arduino IoT Cloud*, dan *IoThingsHub* yang merupakan *platform* IoT berbasis *cloud platform*. *Platform* IoT berbasis *cloud platform* pada umumnya memanfaatkan protokol HTTP berbasis token API untuk mengirim dan menyimpan data dari sensor melalui internet [30], [31]. Akses token API dimanfaatkan untuk keperluan enkripsi dan otentikasi data (*data encryption and authentication*) pada *data management layer functionality*.

Pengintegrasian mikrokontroler berbasis IoT, seperti pada Gambar 2.6, memungkinkan peralatan yang memiliki sensor untuk penginderaan, mikrokontroler untuk pemrosesan, dan modul telekomunikasi untuk mentransmisikan data ke *cloud platform* sehingga data dapat disimpan, divisualisasikan, dan dianalisis.



Gambar 2.6. Cara Kerja *Internet of Things* pada Mikrokontroler berbasis Modul *WiFi*

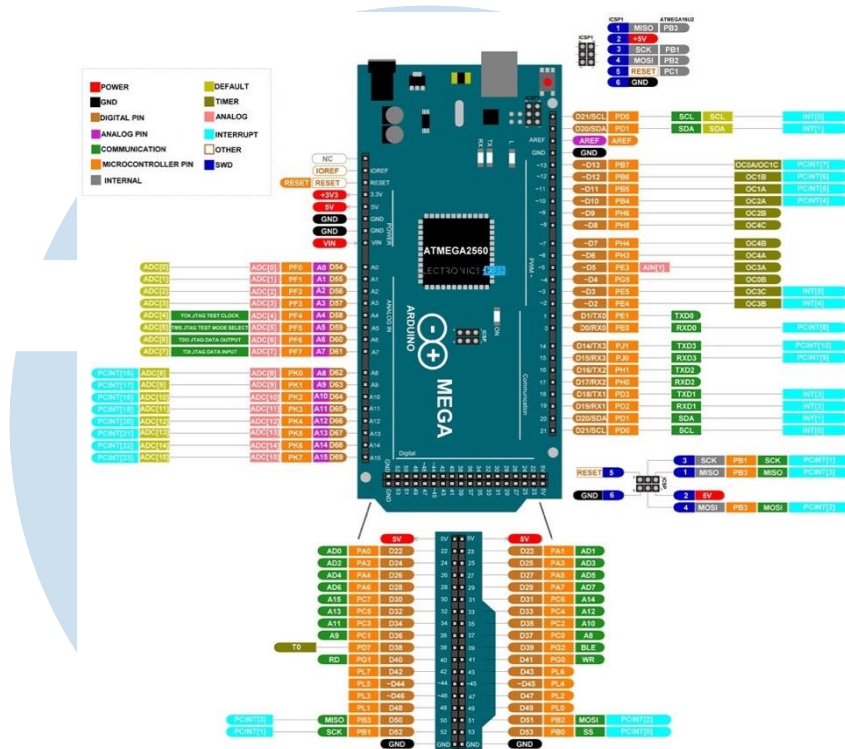
Pada Tugas Akhir ini, penyimpanan data memanfaatkan *IoThingsHub* yang merupakan platform IoT berbasis *cloud platform* yang dikembangkan oleh Universitas Multimedia Nusantara dan disimpan di server UMN dengan tujuan agar dapat berbagi data secara *real-time*. Dalam pengaplikasiannya, *IoThingsHub* terdiri dari empat elemen utama, yaitu:

1. **Node**, perangkat IoT yang terhubung ke *cloud platform*;
2. **Web API Core Module**, modul yang menyediakan HTTP API untuk konektivitas antara *layer* manajemen perangkat (*node*) dan fungsionalitas layanan (*Web Frontend*);

3. **Node Core Module**, modul yang berfungsi untuk menyimpan dan memvisualisasikan data pada platform sesuai dengan kredensial akses token. Modul ini meliputi *layer* fungsionalitas manajemen data;
4. **Web Fronted**, aplikasi berupa *website* yang terhubung ke *service layer* atau *layer* layanan yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh *user* [32].

2.2.5 Mikrokontroler Arduino MEGA 2560

Mikrokontroler Arduino seri MEGA 2560 merupakan pembaharuan untuk mikrokontroler seri Arduino Mega yang memiliki tampilan *pinout* seperti Gambar 2.7. Arduino MEGA 2560 memanfaatkan ATmega2560 yang berbasis AVR RISC sebagai mikrokontroler utamanya. Hal tersebut memungkinkan mikrokontroler mencapai keseimbangan antara konsumsi daya dan kecepatan pemrosesan eksekusi instruksi [33]. Arduino Mega 2560 memiliki 54 *pin input/output digital* yang 15 diantaranya dapat digunakan sebagai *output Pulse-width modulation (PWM)*, 16 *input analog*, 4 *Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)* yang berperan sebagai *port serial* perangkat keras, osilator Kristal 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, *In-Circuit Serial Programming (ICSP) header*, dan tombol reset [34]. Fitur-fitur tersebut diperlukan untuk mendukung eksekusi yang akan dilakukan oleh mikrokontroler.



Gambar 2.7. Konfigurasi Pinout Arduino MEGA 2560 [35]

Arduino MEGA 2560 dapat dihidupkan dengan dua cara, yaitu melakukan koneksi ke komputer dengan kabel USB dan menyalakan dengan adaptor AC-ke DC atau baterai. Tegangan untuk menghidupkan Arduino MEGA 2560 direkomendasikan pada kisaran 7 V – 12 V sehingga dapat mengoperasikan tegangan 5 V pada papan mikrokontroler [34], [35]. Dari segi komunikasi antarmuka, Arduino MEGA 2560 mendukung komunikasi secara *serial* yang digunakan untuk berkomunikasi antara papan Arduino dan komputer atau perangkat lain [35], [36].

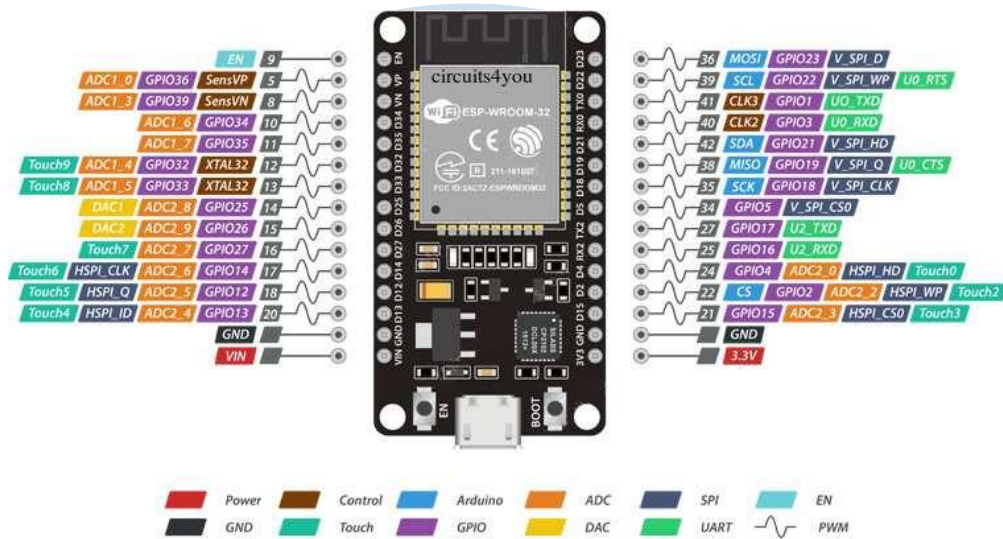
Pada komunikasi *serial*, pin digital RX (*receiver*) untuk menerima data dan pin TX (*transmitter*) untuk mengirimkan data dimanfaatkan untuk berkomunikasi antar perangkat lain. Arduino MEGA 2560 memiliki tiga *port serial* tambahan, yaitu: 1) Serial1 pada pin 19 (RX) dan 18 (TX), 2) Serial2 pada pin 17 (RX) dan 18 (TX), dan Serial3 pada pin 15 (RX) dan 14 (TX).

Agar dapat berkomunikasi dengan perangkat lain, pin TX perlu disambungkan ke pin RX perangkat tersebut dan pin RX ke pin TX perangkat tersebut [35], [36].

2.2.6 Mikrokontroler ESP32 DevKit V1

ESP32 *Development Kit* (DevKit) V1 merupakan papan pengembangan atau *development board* yang memanfaatkan modul wifi ESP-WROOM-32. Mikrokontroler ESP32 memiliki fitur yang mendukung konektivitas 2.4 GHz *dual-mode WiFi, Bluetooth* teknologi daya rendah TSMC 40nm, *Ethernet*, dan mengonsumsi daya yang rendah. Selain itu, ESP32 sudah terintegrasi baik dengan sakelar *antenna internal*, RF balun, penguat daya, penguat penerima kebisingan rendah, filter, dan modul manajemen daya. Suplai daya untuk menghidupkan ESP32 DevKit V1 dapat melalui konektor USB Micro B on-board dengan tegangan yang direkomendasikan berkisar 7 V – 12 V agar pengatur tegangan pada mikrokontroler tidak menjadi terlalu panas. Lebih lanjut lagi, ESP32 DevKit V1 mengoperasikan tegangan 3.3 V pada papan mikrokontroler serta dapat melakukan komunikasi dengan perangkat lain dengan komunikasi Serial melalui pin RX dan TX [37], [38].

ESP32 DevKit V1 mendukung sistem operasi *real-time* (RTOS) sehingga dapat mengelola secara optimal semua tugas yang diperlukan. Selain itu, ESP32 memiliki 16 pin *analog-to-digital converter* (ADC) 10 bit untuk memperoleh informasi masukan. Salah satu keunggulan utama dari ESP32 adalah dapat ditulis kodenya melalui berbagai *platform* dan bahasa pemrograman terbuka atau *open source programming language* [39]. Gambar 2.8. memaparkan *layout pinout* dari ESP32 DevKit V1.

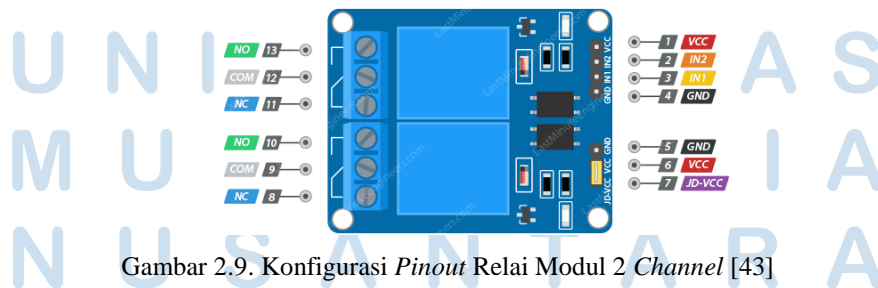


ESP32 Dev. Board Pinout

Gambar 2.8. Konfigurasi *Pinout* Mikrokontroler ESP32 DevKit V1 [40]

2.2.7 Relai Modul 2 Channel

Relai merupakan salah satu komponen pelengkap pada proyek Arduino yang mencakup dari berbagai rangkaian elektronika sederhana seperti sakelar, medan elektromagnetik (kumparan kawat) dan poros besi. Pada dasarnya, relai akan mulai bekerja ketika arus listrik mengalir (15 mA – 20 mA pada tegangan +5 V) melalui kumparan sehingga menciptakan medan magnet disekitarnya. Kemudian medan magnet tersebut akan mengubah posisi sakelar untuk meneruskan arus. Selain itu, relai mampu mengontrol arus dan tegangan listrik tinggi yang bekerja di bawah 250 VAC 10 A atau 30 VDC 10A [41], [42]. Gambar 2.9 memaparkan *layout pinout* dari relai modul 2 channel.

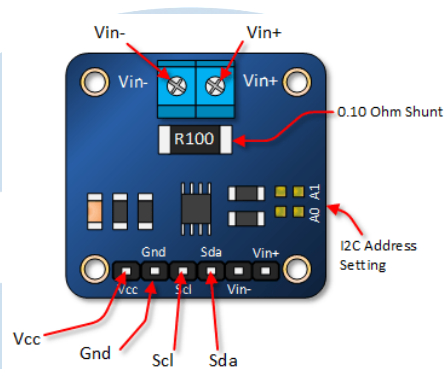


Gambar 2.9. Konfigurasi *Pinout* Relai Modul 2 Channel [43]

Pada masing-masing modul, relai memiliki satu terminal *normally close* (NC), *normally open* (NO), dan satu terminal *common* (COM) sehingga pada relai modul 2 *channel* terdapat total 2 terminal NC, 2 terminal NO, dan 2 terminal COM. Terminal NC memiliki sifat biasanya tertutup sehingga tidak mengalirkan daya sedangkan terminal NO memiliki sifat biasanya terbuka sehingga mengalirkan daya. Selain itu, terminal COM artinya *port* umum. Ketika kumparan kawat tidak memperoleh energi, terminal NC akan aktif sedangkan terminal NO akan pasif atau mati. Namun ketika kumparan kawat memperoleh energi, terminal NC akan pasif atau mati sedangkan terminal NO akan aktif. Penutupan dan pelepasan sakelar akibat efek elektromagnetik menghasilkan daya hidup dan mati pada sirkuit [42].

2.2.8 Sensor Arus dan Tegangan

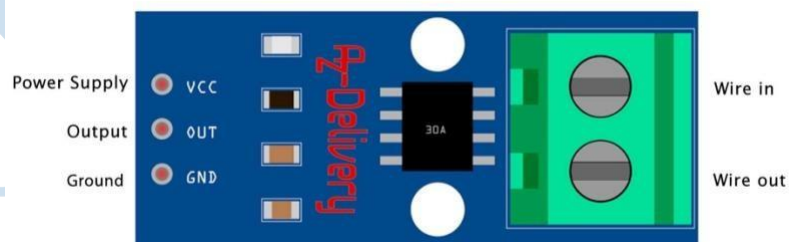
Pada prototipe ATS Tugas Akhir, diperlukan pengamatan perihal arus dan tegangan baik AC maupun DC yang melewati rangkaian Isitrik prototipe ATS. Sensor INA219 dipilih sebagai sensor pengukur arus dan tegangan DC dari aki. Sensor INA219 dapat beroperasi pada suhu $-40^{\circ}\text{C} \sim 125^{\circ}\text{C}$ serta dapat mendeteksi tegangan pada rentang $0\text{ V} \sim 26\text{ V}$. Kemudian, sensor INA219 dapat beroperasi ketika suplai daya berada pada kisaran $3\text{ V} - 5,5\text{ V}$ dengan menarik arus suplai maksimum 1 mA . Lebih lanjut lagi, sensor INA219 sudah mendukung komunikasi secara *Inter-Integrated Circuit, eye-squared-C* (I^2C) yang memungkinkan sensor berkomunikasi secara serial dua arah sehingga dapat menerima maupun mengirimkan data. Sistem I^2C tersebut memanfaatkan dua saluran yaitu *Serial Data* (SDA) dan *Serial Clock* (SCL) [44]. Gambar 2.10 memaparkan *layout pinout* dari INA219.



Gambar 2.10. Konfigurasi *Pinout* Sensor INA219 [45]

Selanjutnya, sensor ACS712 dipilih sebagai sensor pengukur arus AC yang mengalir ke beban. Sensor ACS712 memiliki karakteristik *Hall Effect current sensor* yang artinya dapat mendeteksi arus AC dan DC. Namun dalam aplikasi secara langsung, perlu dilakukan penyesuaian terlebih dahulu sebelum menggunakan sensor tersebut. Gambar 2.11 memaparkan *layout pinout* dari ACS712. Adapun, sensor ACS712 memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Memiliki respon *output rise time* 5 μ s dari arus input;
2. Memiliki *bandwidth* hingga 80 kHz;
3. Memiliki resistansi konduktor internal sebesar 1,2 m Ω ;
4. Memiliki sensitivitas keluaran 185 mV/A;
5. Dapat mengukur arus AC dan DC hingga 5 A;
6. Beroperasi pada tegangan 5 VDC [46].

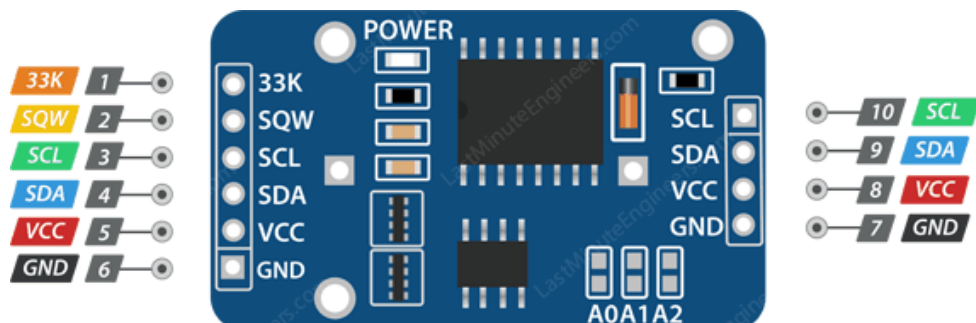


Gambar 2.11. Konfigurasi *Pinout* Sensor ACS712 [47]

2.2.9 Real Time Clock (RTC)

Sensor RTC (DS3231) merupakan modul sensor untuk menghitung waktu dan tanggal dengan sumber daya berasal dari baterai sehingga sensor tersebut dapat tetap berjalan meskipun tanpa adanya daya eksternal. Sensor RTC DS3231 memiliki 6 pin (VCC, GND, SDA, SCL, SQW, dan 32K) yang dua diantaranya tidak wajib digunakan (SQW dan 32K). Gambar 2.12 memaparkan layout pinout dari RTC DS3231. Selanjutnya terdapat beberapa fitur yang dimiliki oleh sensor RTC DS3231, yakni:

1. Dapat menghitung detik, menit, jam, dan tahun;
2. Memiliki tingkat akurasi: +2 ppm ~ -2 ppm pada 0°C ~ +40°C dan +3.5 ppm ~ -3.5ppm pada -40°C hingga +85°C;
3. Memiliki sensor suhu digital dengan akurasi $\pm 3^{\circ}\text{C}$;
4. Mengonsumsi daya rendah;
5. Antarmuka I²C 400kHz [48].

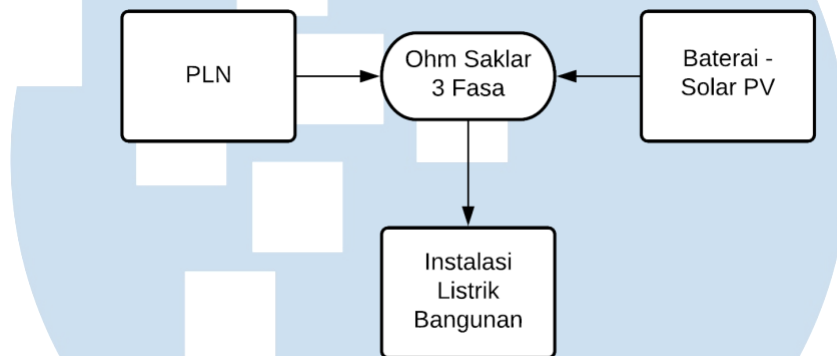


Gambar 2.12. Konfigurasi Pinout Sensor RTC DS3231 [49]

2.2.10 Manual Changeover Switch 4Pole

Manual Changeover Switch (COS) atau ohm saklar merupakan transmisi yang dioperasikan secara manual dengan fungsi untuk menghubungkan instalasi listrik bangunan dengan listrik dari PLN atau sumber lainnya [50].

Selain itu, ohm saklar dapat dipergunakan sebagai faktor keamanan manual pada ATS yang digunakan ketika terjadi pemeliharaan pada salah satu jaringan listrik. Pada umumnya, COS 3 fasa dipergunakan pada bangunan. Konektivitas sistem kelistrikan dengan ohm saklar dipaparkan pada Gambar 2.13.

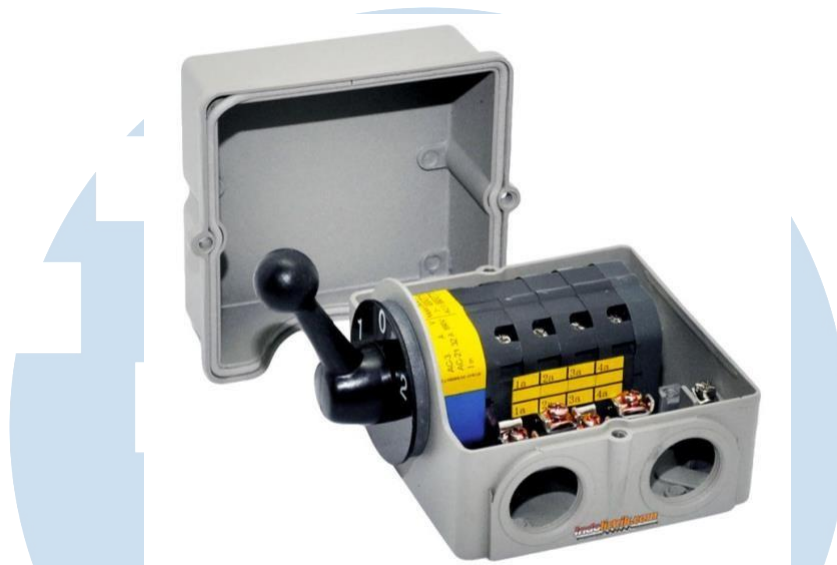


Gambar 2.13. Cara Kerja Ohm Saklar 3 Fasa pada Sistem Kelistrikan

COS 3 fasa memiliki tiga posisi, yaitu pada posisi 0 (COM) maka arus listrik tidak akan mengalir ke instalasi listrik bangunan, sedangkan untuk posisi 1 dan 2 mengindikasikan bahwa arus listrik dari PLN atau sumber lainnya akan mengalir ke instalasi listrik bangunan. Pada rangkaian prototipe ATS memanfaatkan *Wisenheim* COS 3 fasa yang memiliki 4 pole sehingga terdapat empat sirkuit terpisah seperti yang dipaparkan pada Gambar 2.14. COS *Wisenheim* 4 *pole* memiliki tiga terminal dengan pengelompokan sebagai berikut:

1. Terminal 0 (COM): 1, 2, 3, 4;
2. Terminal 1 (PLN) : 1A, 2A, 3A, 4A;
3. Terminal 2 (ATS) : 1B, 2B, 3B, 4B.

Lebih lanjut lagi, ohm saklar dapat diinstalasikan setelah dari sistem ATS dan kWh meter [51]. Ohm saklar memiliki peran penting sebagai alat faktor keamanan tambahan pada sistem ATS untuk menghindari korsleting listrik akibat kelebihan daya listrik.



Gambar 2.14. Wisenheimer Manual Change Over Switch (COS) 4 Pole [52]

2.2.11 Akurasi Pengukuran

Dalam suatu penelitian, pengukuran merupakan hal yang esensial agar hasil pengambilan data dapat dimanfaatkan untuk analisis dan pengambilan keputusan. Salah satu instrumen pengukuran adalah sensor yang memiliki fungsi untuk mengumpulkan data. Data yang dihasilkan dari sensor dapat dikatakan *valid* ketika kesalahan pengukurannya harus kecil dibandingkan dengan perubahan atau pengukuran secara langsung [53].

Istilah akurasi digunakan untuk menggambarkan kualitas data yang akan diuji serta sebagai batasan yang diharapkan dari kesalahan data. Teknik untuk dapat mendapatkan nilai akurasi adalah dengan memperhitungkan nilai bias dan standar deviasi dari pengukuran. Perhitungan nilai bias, standar deviasi dan akurasi dapat memanfaatkan persamaan 1 hingga 3 [53], [54].

$$bias = x_{benar} - \bar{x} \quad (2.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.2)$$

$$akurasi = 100\% \left(1 - \frac{bias+3\sigma}{x_{benar}} \right) \quad (2.3)$$

dengan:

x_{benar} adalah nilai variabel input yang diperoleh dari suatu pengukuran,

\bar{x} adalah rata-rata sampel dari variabel x_{benar} ,

x_i adalah pengukuran x_{benar} ke- i ,

σ adalah standar deviasi atau nilai sebaran data dalam sampel, dan

n adalah jumlah data dalam sampel.



UMMN

UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA