

OPTIMASI KINERJA PLTS OFF-GRID DENGAN TEKNOLOGI AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS)



LAUHIL MAHFUDZ HAYUSMAN

**OPTIMASI KINERJA PLTS OFF-GRID DENGAN
TEKNOLOGI AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS)**

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap :

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

**OPTIMASI KINERJA PLTS OFF-GRID DENGAN
TEKNOLOGI AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS)**

Lauhil Mahfudz Hayusman



POLIBAN PRESS

**OPTIMASI KINERJA PLTS OFF-GRID DENGAN
TEKNOLOGI AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS)**

Penulis :

Lauhil Mahfudz Hayusman

ISBN :

Editor dan Penyunting :

Nurmahaludin

Desain Sampul dan Tata letak :

Rahma Indera; Eko Sabar Prihatin

Penerbit :

POLIBAN PRESS

Anggota APPTI (Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia)

no.004.098.1.06.2019

Cetakan Pertama, 2023

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit

Redaksi :

Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basry,

Pangeran, Komp. Kampus ULM, Banjarmasin Utara

Telp : (0511)3305052

Email : press@poliban.ac.id

Diterbitkan pertama kali oleh :

Poliban Press, Banjarmasin, Desember 2023

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas anugerah rahmat dan karunia-NYA, yang telah melimpahkan berkah-NYA sehingga buku monograf berjudul "Optimasi Kinerja PLTS Off-Grid dengan Teknologi Automatic Transfer Switch (ATS)" dapat terselesaikan. Buku ini disusun sebagai upaya memberikan pemahaman mendalam kepada pembaca mengenai proses perancangan panel ATS untuk mengatur perpindahan suplai listrik antara PLTS off-grid dan jaringan listrik PLN, yang dikontrol melalui perangkat LVD berdasarkan kondisi tegangan baterai.

Akhir kata, semoga buku monograf ini bermanfaat dan dapat memberikan kontribusi positif bagi para pembaca yang berminat dalam bidang teknologi listrik.

Banjarmasin, November 2023

Penerbit

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat dan karunia-NYA sehingga penulis dapat menyelesaikan buku monograf yang berjudul Optimasi Kinerja PLTS Off-Grid dengan Teknologi Automatic Transfer Switch (ATS).

Buku ini disusun guna memberikan informasi kepada para pembaca terkait proses perancangan panel ATS untuk memindahkan suplai listrik dari PLTS *off-grid* ke jaringan listrik PLN atau sebaliknya. Dimana perpindahan suplai listrik tersebut berlangsung berdasarkan kondisi tegangan baterai yang diatur melalui peralatan LVD.

Terselesaikannya penulisan buku ini berkat dorongan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk itu disampaikan ucapan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Joni Riadi, S.ST., M.T. selaku Direktur Politeknik Negeri Banjarmasin (POLIBAN).
2. Bapak Syamsudin Noor, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro POLIBAN.
3. Bapak Nurmahaludin, S.T., M.T. selaku Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) POLIBAN.
4. Bapak Ir. Saifullah, M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik POLIBAN.
5. Kolega Dosen di lingkungan Program Studi Teknik Listrik POLIBAN yang telah banyak memberikan arahan, saran dan masukan selama proses penulisan buku monograf ini.

Akhir kata, semoga buku monograf ini dapat berguna bagi para pembaca.

Banjarmasin, September 2023

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar.....	v
Prakata	vi
Daftar Isi.....	vii
Daftar Tabel.....	viii
Daftar Gambar	ix
Bab 1 Pendahuluan	1
Bab 2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	3
2.1 PLTS Sistem <i>Off-Grid</i>	3
2.2 PLTS Sistem <i>On-Grid</i>	5
2.3 Komponen-Komponen PLTS	6
Bab 3 <i>Automatic Transfer Switch</i> (ATS).....	17
3.1 Prinsip Kerja ATS.....	17
3.2 Komponen-Komponen ATS.....	21
Bab 4 <i>Software</i> Festo Fluidsim.....	28
Bab 5 Metode Penelitian	29
Bab 6 Pembahasan.....	32
6.1 Penentuan Kapasitas PLTS	32
6.2 Penentuan Spesifikasi Komponen-Komponen PLTS	32
6.3 Penentuan Komponen Kendali ATS	36
6.4 Perancangan Panel Kendali ATS	38
6.5 Uji Coba Menggunakan Software.....	39
6.6 Desain Tata Letak Komponen ATS Dalam Box Panel.....	41
Bab 7 Kesimpulan	45
Daftar Pustaka	46
Glosarium	50

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Data teknis modul surya <i>monocrystalline</i>	8
Tabel 2.2	<i>Datasheet</i> inverter untuk PLTS <i>off-grid</i> jenis PSW	12
Tabel 2.3	Karakteristik <i>deep cycle battery</i>	13
Tabel 3.1	Contoh spesifikasi relai elektromagnetik tipe LY4 1 pole	24
Tabel 6.1	<i>Datasheet</i> modul surya MY Solar tipe MY150s-12	33
Tabel 6.2	<i>Datasheet SCC</i> jenis <i>MPPT</i> merek PowMr.....	34
Tabel 6.3	<i>Datasheet Inverter</i>	36
Tabel 6.4	Estimasi biaya perancangan panel ATS	44

Daftar Gambar

Gambar 2.1	Skema PLTS sistem <i>off-grid</i>	5
Gambar 2.2	Skema PLTS sistem <i>on-grid</i>	6
Gambar 2.3	Bentuk modul surya, (a) <i>polycrystalline</i> , (b) <i>monocrystalline</i>	7
Gambar 2.4	Cara mengukur nilai (a) Voc, (b) Isc.....	9
Gambar 2.5	(a) Bentuk SCC PWM, (b) <i>wiring diagram</i> SCC.....	9
Gambar 2.6	Bentuk SCC MPPT merek PowMR	10
Gambar 2.7	Bentuk inverter <i>pure sine wave</i>	11
Gambar 2.8	Hubungan kedalaman pengurusan baterai dengan umur baterai	15
Gambar 3.1	Rangkaian kontrol ATS (a) sumber listrik PLN (b) rangkaian kontrol socomec, (c) sumber listrik genset	20
Gambar 3.2	Rangkaian daya ATS.....	21
Gambar 3.3	<i>Miniature circuit breaker</i> (MCB).....	22
Gambar 3.4	Kerja MCB secara <i>thermal tripping</i>	23
Gambar 3.5	Kerja MCB secara <i>magnetic tripping</i>	23
Gambar 3.6	Diagram pengawatan relai elektromagnetik tipe LY4.....	24
Gambar 3.7	Bentuk relai elektromagnetik tipe LY4	24
Gambar 3.8	<i>Low voltage disconnect</i> (LVD)	26
Gambar 3.9	<i>Pilot lamp</i>	26
Gambar 3.10	Model <i>selector switch</i>	27
Gambar 5.1	Tahapan penelitian	30
Gambar 5.2	<i>Layout</i> proses suplai listrik dari PLTS dan PLN Melalui ATS	31
Gambar 6.1	Bentuk kontak relai AC tipe LY4.....	37
Gambar 6.2	Bentuk kontak relai DC tipe MY2N.....	37
Gambar 6.3	<i>Low voltage disconnect</i> (LVD)	37
Gambar 6.4	Diagram pengawatan ATS dilengkapi LVD	39
Gambar 6.5	Hasil pengujian pada saat PLTS ON	40

Gambar 6.6	Hasil pengujian pada saat PLN	41
Gambar 6.7	Desain box panel tampak depan	42
Gambar 6.8	Desain box panel tampak dalam.....	42
Gambar 6.9	<i>Layout</i> perancangan PLTS dengan panel ATS.....	43

BAB 1

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang perkembangannya cukup pesat beberapa tahun terakhir ini. PLTS sudah cukup banyak diterapkan di Indonesia baik untuk pembangkit listrik skala kecil maupun untuk pembangkit listrik skala besar. Salah satu sistem PLTS skala kecil yang umum diterapkan adalah PLTS dengan sistem *off-grid*, dimana sistem ini berdiri sendiri tanpa terkoneksi dengan sumber listrik lain untuk mensuplai kebutuhan beban, mengandalkan energi matahari yang ditangkap oleh panel surya yang selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik yang disimpan di dalam baterai (Hidayat, Hayusman and Setiawan, 2018).

Penggunaan baterai pada sistem *off-grid* bertujuan untuk menyimpan energi listrik yang berlebih apabila kebutuhan beban rendah dan ikut mensuplai energi listrik apabila kebutuhan beban tinggi serta untuk mensuplai energi listrik pada saat malam hari (Prayogo, 2019). Dalam pengoperasiannya ada beberapa hal yang harus diperhatikan agar kinerja baterai bisa optimal sesuai dengan spesifikasi teknis yaitu proses *charge-discharging*, *state of health (SOH)*, *depth of discharge (DOD)* dan suhu baterai (Widjanarko et al., 2019). Kekeliruan dalam memahami parameter-parameter tersebut dapat menyebabkan kesalahan dalam mendesain jumlah kebutuhan baterai yang berakibat pada tidak optimalnya pembangkitan listrik oleh PLTS, karena salah satu komponen penting dan memiliki nilai investasi paling mahal untuk PLTS *off-grid* terletak pada penggunaan baterai (Farizi and Asfani, 2016; Diantri, Erlina and Widyastuti, 2017; Iskandar, Elysees and Ridwanulloh, 2021).

Kinerja PLTS *off-grid* yang sepenuhnya mengandalkan energi matahari agar dapat beroperasi dengan optimal untuk melayani beban masih memiliki kendala, karena efektifitas sinar matahari yang dapat ditangkap dengan optimal oleh panel surya berkisar 4-5 jam dan apabila masuk musim hujan intensitas sinar matahari akan turun drastis sehingga

kinerja PLTS akan sangat berkurang atau bahkan tidak dapat beroperasi (Majid, 2017). Agar suplai listrik yang dibutuhkan beban dapat berlangsung secara terus menerus, maka perlu digabungkan 2 (dua) sumber energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dengan energi listrik eksisting dari jaringan listrik PLN melalui teknologi *automatic transfer switch* (ATS) yang didesain tanpa jeda, perpindahan sumber listrik berlangsung secara otomatis dengan mempertimbangkan aspek proteksi dan *lifetime* penggunaan baterai. Tentunya hal ini merupakan salah satu solusi yang dapat diambil untuk menutupi beberapa kelemahan dari PLTS sistem *off-grid*.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi desain panel kendali PLTS-PLN berupa teknologi *automatic transfer switch* (ATS), dimana perpindahan suplai listrik dirancang secara otomatis berdasarkan persentase kedalaman pengurasan baterai/*depth of discharge* (DOD) yang diatur melalui peralatan *low voltage disconnect* (LVD), dan estimasi biaya yang diperlukan untuk merealisasikan hasil desain/perancangan tersebut. Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan dalam merancang dan mengimplementasikan panel kendali PLTS-PLN.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini yaitu diperolehnya hasil kajian pendahuluan berupa perhitungan dan penentuan komponen-komponen yang diperlukan untuk melakukan perancangan *automatic transfer switch* (ATS), rancangan dalam bentuk diagram pengawatan dan *layout* panel kendali serta pengujian hasil perancangan menggunakan *software* sehingga pada saat tahapan realisasi akan dengan mudah untuk diimplementasikan.

BAB 2

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan pembangkit energi yang memanfaatkan sinar matahari yang dikonversikan menjadi listrik arus searah (DC) melalui modul surya (Nugroho and Jamaludin, 2021). Sistem PLTS dapat dibedakan menjadi dua, yaitu sistem *off-grid* dan sistem *on-grid*. Perbedaan mendasar dari dua sistem tersebut adalah PLTS sistem *on-grid* dapat beroperasi jika dihubungkan dengan listrik PLN atau terdapat jaringan listrik PLN. Sistem ini dapat mengirimkan kelebihan (surplus) daya listrik yang dihasilkan modul surya melalui kWh ekspor-impor yang nantinya dapat digunakan kembali.

Sedangkan PLTS sistem *off-grid* dapat dioperasikan tanpa dihubungkan dengan listrik PLN. Kelebihan daya listrik yang dihasilkan oleh modul surya pada saat sinar matahari bersinar optimal disimpan kedalam baterai dan akan digunakan kembali jika sinar matahari tidak optimal atau waktu malam tiba (Wiranto, 2014).

2.1 PLTS Sistem Off-Grid

Sistem *off-grid* yang digunakan dalam PLTS menggunakan modul surya yang sama dengan PLTS sistem *on-grid*, tetapi memiliki perbedaan dalam tata letak dan jenis komponen yang digunakan. Sistem *off-grid* tidak terintegrasi dengan energi listrik PLN, suplai beban listrik yang digunakan pada sistem *off-grid* murni dari hasil modul surya tidak menggunakan dari energi listrik dari PLN, sehingga pemakaian energi dalam waktu 24 jam dihasilkan dari sistem modul surya. Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik maka untuk sistem *off-grid* membutuhkan penambahan komponen baterai untuk menyimpan energi listrik selama modul surya tidak bisa menangkap sinar matahari.

Perencanaan dalam sistem *off-grid* harus mengacu terhadap beberapa faktor yakni penentuan jumlah modul surya dan kapasitas baterai, sehingga dapat menentukan lamanya pengisian dan lamanya pemakaian

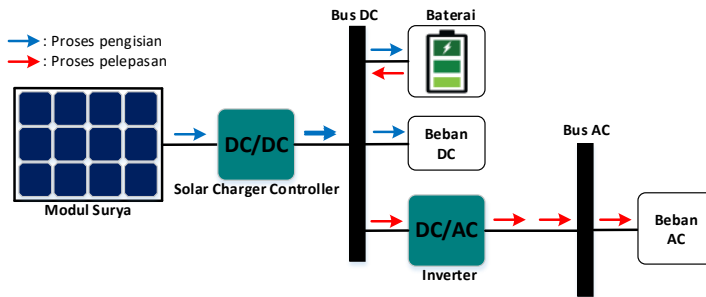
untuk mensuplai kebutuhan beban. PLTS memanfaatkan energi sinar matahari untuk dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi modul surya. Modul surya adalah jenis teknologi yang menggunakan bahan semikonduktor untuk mengubah energi sinar matahari menjadi listrik yang dapat digunakan. Sel-sel mentransfer energi dari foton menembus panel surya untuk elektron yang disalurkan ke sirkuit eksternal untuk menyalakan sebuah beban listrik. PLTS mengubah secara langsung dan seketika energi matahari menjadi energi listrik tanpa menggunakan bahan bakar apapun. Sebagai fakta, teknologi modul surya mengeksploitasi efek fotolistrik, melalui beberapa semikonduktor yang sesuai "didoping" menghasilkan listrik ketika terkena radiasi matahari.

Karena PLTS sistem *off-grid* adalah PLTS independen, PLTS yang bisa berdiri sendiri sehingga cocok diaplikasikan pada: PJU terpencil; BTS telekomunikasi di daerah terpencil; PLTS di daerah terpencil yang belum memiliki jaringan listrik PLN, seperti kantor/asrama perusahaan tambang; kantor/asrama perusahaan perkebunan/kelapa sawit; Sumber listrik cadangan (*backup*).

Gambar 2.1 diperlihatkan skema pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) sistem *off-grid*. Sinar matahari yang ditangkap oleh modul surya dikonversikan menjadi listrik arus searah (DC). Besar kecilnya daya listrik yang dihasilkan modul surya tergantung dari jumlah dan kapasitas modul surya yang dipasang. Melalui *solar charger controller* (SCC), tegangan DC yang dihasilkan modul surya dikonversikan menjadi tegangan DC yang sesuai dengan tegangan baterai. Disamping itu, SCC mengatur proses pengisian panel surya ke baterai serta mengatur proses pemakaian listrik dari baterai menuju ke beban. Apabila beban yang digunakan merupakan beban arus bolak balik (AC), maka diperlukan peralatan berupa *inverter* yang dapat merubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC).

Inverter dapat dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu inverter jenis *modified sine wave* (MSW) dengan gelombang keluaran non sinusoidal, harganya murah cocok untuk mensuplai tegangan ke beban resistif seperti

lampu, tv dll. Sedangkan inverter jenis *pure sine wave* (PSW) menghasilkan gelombang keluaran sinusoidal murni cocok untuk mensuplai tegangan ke beban induktif seperti mesin pompa air, air conditioner (ac), kipas angin, kulkas dan beban-beban non linear lainnya (Yulianto, Dwiono and Winarso, 2019).



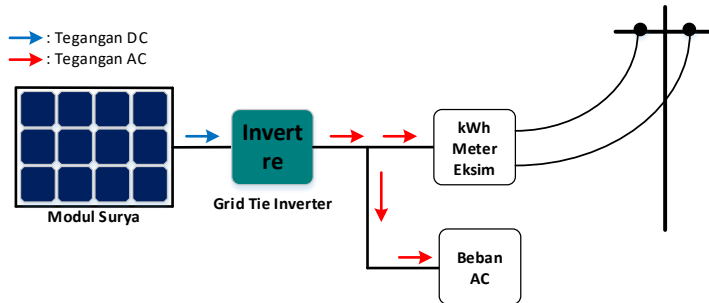
Gambar 2.1 Skema PLTS sistem *off-grid*

2.2 PLTS Sistem *On-Grid*

PLTS sistem *on-grid* disebut juga dengan *grid tie*, pada sistem ini menggunakan modul surya (panel *photovoltaic*) untuk menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi tanpa menggunakan bahan bakar. Pada sistem *on-grid* tetap terhubung dengan jaringan listrik yang dihasilkan oleh PLN, sehingga penggunaan listrik pada waktu siang hari mendapatkan pasokan energi dari dua sumber yaitu modul surya dan PLN, sehingga pemakaian energi yang digunakan terdapat dari 2 (dua) sumber berdasarkan persentase. Untuk pemakaian energi listrik di malam hari PLTS sistem *on-grid* tidak dapat digunakan, dikarenakan tidak adanya penyimpanan energi listrik, sehingga pemakaian energi listrik sepenuhnya menggunakan energi listrik dari PLN.

Pemakaian sistem *on-grid* hanya bisa digunakan disiang hari, oleh karena itu alangkah baiknya penggunaan beban dimaksimalkan disiang hari, sehingga dapat menekan biaya pemakaian energi listrik. Perencanaan dan perhitungan dalam menentukan sistem *on-grid* harus disesuaikan dengan kebutuhan pemakaian, sehingga dapat menekan biaya dalam

pembuatan sistem tersebut. Gambar 2.2 diperlihatkan PLTS sistem *on-grid*.



Gambar 2.2 Skema PLTS sistem *on-grid*

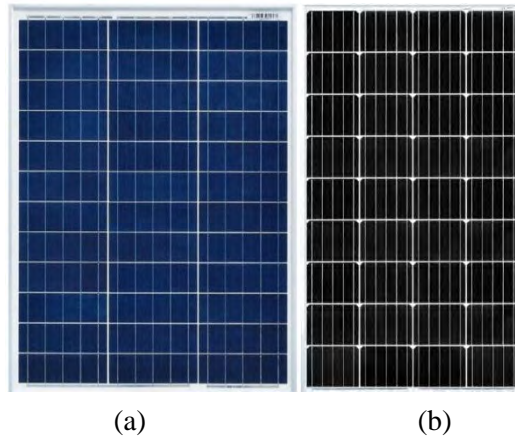
Perbedaan yang mendasar antara PLTS sistem *off-grid* dan PLTS sistem *on-grid* terletak pada penggunaan baterai pada PLTS *off-grid* dan adanya jaringan listrik eksisting agar dapat beroperasi pada PLTS *on-grid*. Disamping itu, diperlukan komponen tambahan berupa kWh meter ekspor-impor (kWh Exim) yang berfungsi untuk mencatat kelebihan energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS yang dikirim ke jaringan listrik PLN (ekspor) dan jika kondisi malam/sinar matahari tidak optimal maka sistem akan mengambil (impor) energi listrik yang tersimpan di jaringan listrik PLN untuk mencukupi energi listrik yang dibutuhkan beban. Jika terdapat selisih energi listrik yang di ekspor dan yang di impor maka itulah yang dapat mengurangi tagihan listrik pelanggan.

2.3 Komponen-Komponen PLTS

a. Modul surya

Komponen pembangkit listrik yang berfungsi untuk menangkap dan mengkonversikan radiasi sinar matahari menjadi sumber energi listrik searah yaitu modul surya (*photovoltaic*). Jenis modul surya yang umum dijual di pasaran terdiri dari 2 (dua) yaitu modul surya berjenis *polycrystalline* dan modul surya berjenis *monocrystalline*. Modul surya berjenis *monocrystalline* memiliki efisiensi lebih baik jika dibandingkan modul surya berjenis *polycrystalline*. Nilai efisiensi modul surya yang besar akan mempengaruhi nilai temperatur modul surya, sehingga akan mempengaruhi daya keluaran modul surya (Alamsyah, Hiendro and

Abidin, 2021). Gambar 2.3 diperlihatkan bentuk dari modul surya berjenis *polycrystalline* dan modul surya berjenis *monocrystalline*.



Gambar 2.3 Bentuk modul surya (a) *polycrystalline* (b) *monocrystalline*

Kinerja modul surya dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jenis modul surya, efisiensi, radiasi sinar matahari, temperatur, cuaca dan lain sebagainya. Parameter *output* dan efisiensi modul surya diukur di bawah *standar tes condition* (STC) yang dapat dihitung menggunakan persamaan (Witono, Asrori and Harijon, 2021):

$$P_{max} = V_{max} \times I_{max} \dots\dots\dots (3-1)$$

$$\eta_p = \left(\frac{P_{max}}{A \times 1000} \right) \times 100 \dots\dots\dots (3-2)$$

Keterangan :

P_{max} = Daya maksimum dalam kondisi STC (W)

V_{max} = Tegangan maksimum dalam kondisi STC (V)

I_{max} = Arus maksimum dalam kondisi STC (A)

η_p = Efisiensi dalam kondisi STC (%)

A = Luas panel (m²)

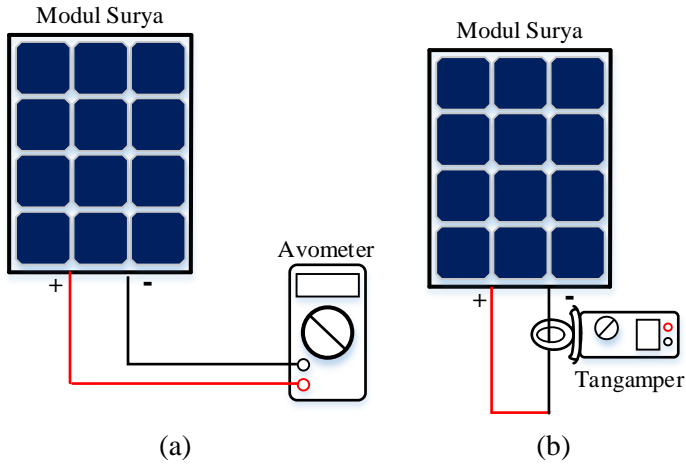
Dalam melakukan perancangan pembangkit listrik tenaga surya, pemahaman data teknis setiap komponen-komponen PLTS perlu untuk diperhatikan agar tidak terjadi kesalahan dalam melakukan perancangan. Tabel 2.1 diperlihatkan contoh data teknis modul surya jenis *monocrystalline* merek ICA Solar yang memiliki daya keluaran maksimal

sebesar $P = 220$ Watt Peak. Hasil perkalian antara V_{mp} dan I_{mp} akan menghasilkan nilai yang sama atau mendekati daya maksimal modul surya (P_{max}). *Open circuit voltage* (V_{oc}) atau tegangan sirkuit terbuka adalah nilai tegangan maksimum yang dapat dihasilkan modul surya dalam kondisi tidak berbeban (*no-load*). Nilai V_{oc} dapat diukur menggunakan avometer/multimeter dengan cara menghubungkan terminal positif (merah) alat ukur dengan terminal positif modul surya dan terminal negatif (hitam) alat ukur dengan terminal negatif (MC4) modul surya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4 (a). Sedangkan *Short circuit current* (I_{sc}) atau arus hubung singkat dapat diukur menggunakan tang amper dengan terlebih dahulu dihubungkan/*dishort* antara terminal positif dan terminal negatif modul surya seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4 (b). Tegangan pada daya maksimum (V_{mp}) adalah nilai tegangan yang terukur pada saat daya maksimal. Sedangkan arus pada daya maksimum (I_{mp}) adalah nilai arus yang terukur pada daya maksimal. Pada kondisi lapangan nilai V_{mp} dan I_{mp} bervariasi tergantung kondisi suhu, bayangan, debu dan kotoran yang menempel pada modul surya.

Tabel 2.1 Data teknis modul surya *monocrystalline*

<i>Max Power (W)</i>	220
<i>Efficiency (%)</i>	16,8
<i>Max. Power Voltage, V_{mp} (V)</i>	38,4
<i>Max Power Current, I_{mp} (A)</i>	5,73
<i>Open Circuit Voltage , V_{oc} (V)</i>	47
<i>Short Circuit Current, I_{sc} (A)</i>	6,07
<i>Weight (kg)</i>	15,20
<i>Dimension of module (mm)</i>	1320 x 992 x 40
<i>Maximum System Voltage (VDC)</i>	1000
<i>Maximum Series Fuse Rating (A)</i>	15
<i>Operating temperature (°C)</i>	-45 - +80
<i>NOTC (°C)</i>	45±

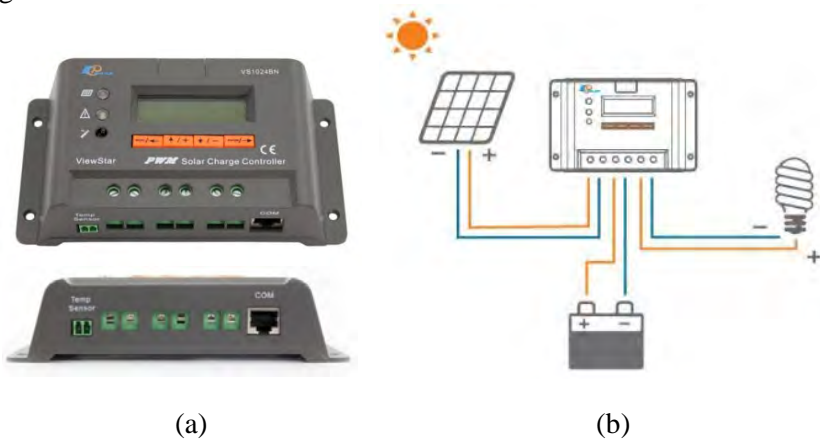
Sumber : *Datasheet ICA Solar*



Gambar 2.4 Cara mengukur nilai (a) V_{oc} , (b) I_{sc}

b. *Solar charger controller (SCC)*

Solar charger controller adalah suatu peralatan yang dapat merubah tegangan DC yang dihasilkan modul surya menjadi tegangan DC yang sesuai dengan tegangan input baterai, dan sekaligus dapat menjaga kondisi baterai agar tidak terjadi *overcharge* (kelebihan pengisian) dan *overdischarge* (kelebihan pengurasan). Jenis SCC dapat dibedakan menjadi 2 (dua) berdasarkan metode kerjanya, yaitu SCC berjenis PWM dan SCC berjenis MPPT. Gambar 2.5 diperlihatkan bentuk dan wiring diagram SCC PWM.



Gambar 2.5 (a) Bentuk SCC PWM, (b) *wiring diagram* SCC

SCC PWM memiliki teknologi sederhana, harga yang murah dan efisiensi yang rendah, bekerja mengatur aliran energi ke baterai dengan cara mengurangi daya secara bertahap yang masuk ke baterai. Jika modul surya memiliki spesifikasi I_{mp} 10 Amper dan V_{mp} 35 Volt, ini memperlihatkan bahwa kapasitas daya modul surya sebesar 350 Watt. Jika tegangan baterai sebesar 12 V, maka SCC PWM akan menyesuaikan tegangan modul surya yang semula 35 V turun menjadi 12 V. Pengurangan tegangan tersebut membuat kapasitas modul surya tidak lagi 350 Watt tetapi turun menjadi 120 Watt apabila menggunakan SCC PWM.

SCC jenis MPPT bekerja dengan cara mencari titik kerja maksimal dan mempertahankan modul surya untuk bekerja pada titik daya maksimum dengan cara mengatur nilai tegangan modul surya dan kelebihan tegangan, dikonversikan menjadi nilai arus yang besar (Ekaputri et al., 2021). Gambar 2.6 diperlihatkan bentuk SCC MPPT merek PowMr



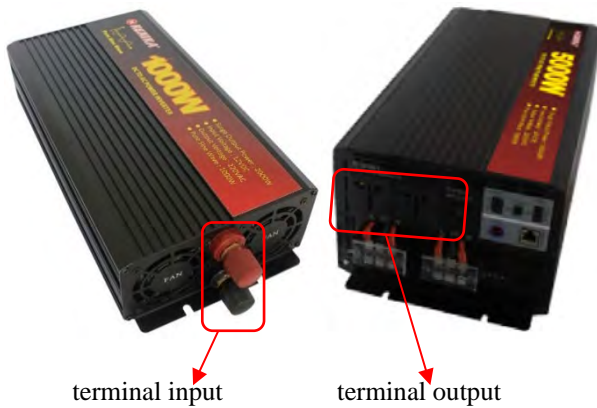
Gambar 2.6 Bentuk SCC MPPT merek PowMr

c. Inverter

Inverter adalah komponen PLTS yang digunakan untuk merubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Inverter dapat diklasifikasi berdasarkan sistem PLTS yang akan digunakan, apakah inverter untuk PLTS sistem *off-grid* ataukah inverter untuk PLTS sistem *on-grid*. Inverter untuk PLTS *off-grid* berfungsi merubah tegangan DC

yang dihasilkan baterai menjadi tegangan AC yang dibutuhkan beban. Inverter jenis ini memiliki rentang tegangan input yang bervariasi, yaitu 12 VDC, 24 VDC, 36VDC, 48 VDC dst dan 2 (dua) jenis tegangan output yaitu tegangan AC 1 fasa 220V dan tegangan AC 3 fasa 380V. Sedangkan inverter untuk sistem *on-grid* berfungsi merubah tegangan DC yang dihasilkan modul surya menjadi tegangan AC yang dibutuhkan baban. Inverter jenis ini memiliki tegangan *input* dengan rentang tegangan 100 VDC-1000 VDC dan tegangan *output* yaitu tegangan AC 1 fasa 220 V dan tegangan AC 3 fasa 380V.

Disamping itu, inverter juga dapat dibedakan berdasarkan jenis gelombang tegangan keluaran yang dihasilkan, yaitu inverter dengan gelombang tegangan berbentuk kotak (*modified sine wave/MSW*) dan inverter dengan gelombang tegangan berbentuk sinus murni (*pure sine wave/PSW*). Gambar 2.7 diperlihatkan bentuk inverter



Gambar 2.7 Bentuk inverter *pure sine wave*

Tabel 2.2 diperlihatkan contoh *datasheet* inverter untuk PLTS *off-grid* dengan gelombang tegangan keluaran berjenis *pure sine wave*, tegangan input 12V DC dan tegangan output 220 VAC. Inverter model ini memiliki kapasitas daya 1000 watt dan kapasitas daya sesaat sebesar 2000 watt dengan efisiensi 90%.

Tabel 2.2 Datasheet inverter untuk PLTS *off-grid* jenis PSW

Model	PSW 100-12
<i>Continuous power</i>	1000W
<i>Peak power</i>	2000W
<i>Input voltage</i>	DC 12V
<i>Output voltage</i>	AC 220V
<i>Output frequency</i>	50 Hz
<i>Waveform</i>	<i>Pure sine wave</i>
<i>Conversion efficiency</i>	$\leq 90\%$ (Full load)
<i>Input terminal</i>	<i>Positive in red/negative in black, separate terminal</i>
<i>Output terminal</i>	<i>Multi-functional socket</i>
<i>Operating temperature range</i>	-10 ⁰ C to +50 ⁰ C
<i>Storage temperature range</i>	-30 ⁰ C to +70 ⁰ C
<i>Cooling mode</i>	<i>Intelligent temperature controlled air cooling</i>
<i>Overheat protection</i>	70 ⁰ C \pm 5 ⁰ C
<i>Shell material</i>	Aluminium
<i>Shell color</i>	<i>Black</i>
<i>Protection</i>	<i>Low voltage, overvoltage, overload, overtemperature, and short circuit protection.</i>
LED	<i>Indicator light show the working state</i>
Package size	425 x 200 x 135 mm
Weight	4 kg

Sumber : *datasheet* inverter kenika

d. Baterai

Penggunaan baterai pada PLTS *off-grid* bertujuan sebagai penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya pada siang hari dan menyediakan energi listrik untuk kebutuhan beban di malam hari. Ada beberapa jenis baterai yang umum digunakan pada PLTS sistem *off-grid*, yaitu *lead acid*, *lithium-ion* dan *lifePo4* yang memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Khusus untuk baterai *lead acid* dapat dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu *starting battery* dan *deep cycle battery*. *Starting battery* dirancang untuk daya *cranking* yang tinggi seperti saat menyalakan kendaraan bermotor (sepeda motor/mobil). Baterai jenis ini tidak cocok digunakan untuk operasi *deep cycle* karena tidak akan bertahan lama dan tidak cocok untuk diaplikasikan di sistem PLTS.

Sedangkan baterai *lead acid* berjenis *deep cycle battery* cocok digunakan untuk sistem penyimpan energi listrik PLTS karena memiliki plat padat dan bahan aktif yang dapat menjaga muatan lebih pada sehingga meningkatkan *life cycle battery* (Gumintang, Sofyan and Sulaeman, 2020). Disamping itu baterai jenis ini tidak memiliki katup, tidak memiliki akses ke elektrolit sehingga tidak memerlukan pengisian ulang cairan elektrolit sehingga bebas perawatan. Tabel 2.3 diperlihatkan karakteristik *deep-cycle battery* berdasarkan standar.

Tabel 2.3 Karakteristik *deep cycle battery*

Karakteristik	<i>Lead-Acid</i>
Spesifikasi energi (Wh/kg)	30-50
Resistansi internal (mΩ)	Sangat rendah
Siklus hidup (80% disharger)	200-300
Waktu <i>charging</i>	8-16 jam
Toleransi <i>overcharger</i>	Tinggi
<i>Self discharger</i> per bulan	5%
Tegangan sel (nominal)	2V
Tegangan <i>cut-off charger</i> (V/cell)	2,4
Tegangan <i>cut-off discharger</i> (V/cell, 1C)	1,75
Arus <i>load peak</i>	5C

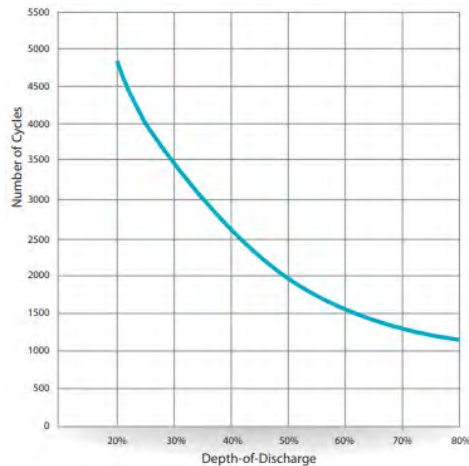
<i>Best result</i>	0,2C
Suhu <i>charger</i>	-20 – 50 ⁰ C
Suhu <i>discharger</i>	-20 – 50 ⁰ C
Perawatan	3-6 bulan

Sumber : Farizy, Asfany and Soedibjo, 2016

Terdapat beberapa parameter penting yang harus diperhatikan dalam memilih baterai diantaranya yaitu:

- *State of charger* (SOC)
SOC merupakan suatu ukuran seberapa penuh muatan listrik yang berada di dalam suatu baterai, biasanya disajikan dalam satuan persentase (%). Hubungan antara tegangan dengan SOC sangat bergantung pada temperatur baterai, jika temperatur baterai rendah maka akan menunjukkan nilai tegangan baterai yang rendah pada kondisi SOC 100 % dan sebaliknya.
- *State of health* (SOH)
SOH adalah ukuran kondisi kesehatan baterai dalam satuan persentase (%), semakin tinggi nilai SOH baterai semakin baik kualitas baterai tersebut. Baterai baru umumnya memiliki nilai SOH 100%, seiring dengan pemakaian nilai SOH akan menurun. Salah satu penyebab terjadinya penurunan nilai SOH baterai adalah karena meningkatnya nilai hambatan internal baterai (IR).
- *Internal resistance* (IR)
Internal resistance atau hambatan internal baterai adalah suatu nilai hambatan yang berlawanan dengan aliran arus di dalam baterai. Nilai IR suatu baterai bervariasi tergantung dari desain baterai masing-masing. Sebagai contoh untuk baterai merek VOZ 12V 100Ah memiliki nilai IR sebesar 4,8 mΩ. Baterai merek MOTOMA jenis *deep cycle* 12V 100 Ah memiliki nilai IR sebesar 3,5 4,8 mΩ.
- *Depth of Discharge* (DOD)
DOD didefinisikan sebagai kedalaman dalam pengurasan baterai atau tingkat kedalaman *discharge* maksimum yang dapat diperbolehkan, biasanya disajikan dalam satuan persentase (%). Setiap jenis baterai

(*deep-cycle, lithium-ion, LiPo, LifePO4*) memiliki persentase kedalaman pengurasan yang berbeda-beda. Pengaturan DOD sangat berpengaruh terhadap *lifetime* baterai tersebut, semakin dalam DOD yang diatur, amak semakin pendek *lifetime* baterai tersebut seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.8, dimana jika kedalaman pengurasan baterai diatur pada nilai 50 %, maka siklus pemakaian baterai bisa berlangsung sampai dengan 2000 siklus atau setara dengan 4 tahun pemakaian.



Gambar 2.8 Hubungan kedalaman pengurasan dengan umur baterai

- Kapasitas baterai (Ah)

Besarnya kapasitas suatu baterai diperlihatkan dalam satuan ampere-hour (Ah). Jika pada suatu baterai tertulis 100 Ah 12 V, ini memiliki arti bahwa energi yang tersedia/tersimpan dalam baterai tersebut sebesar 1.200 Wh. Energi yang tersedia tersebut jika digunakan, maka dapat mensuplai beban sebesar 1.200 Watt selama kurun waktu 1 jam, atau dapat mensuplai beban sebesar 600 Watt dalam kurun waktu 2 jam. Semakin kecil kapasitas beban yang disuplai oleh baterai, maka semakin lama durasi waktu baterai mensuplai beban tersebut.

Beberapa persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan spesifikasi komponen-komponen PLTS (Hayusman and Hidayat, 2021).

- Kebutuhan energi listrik (Wh):

$$\text{Kapasitas beban (Watt)} \times \text{durasi pengoperasian beban (jam)} \dots\dots\dots (3-3)$$

- Kapasitas modul surya (Watt-peak):

$$\frac{\text{Konsumsi energi per hari (Wh)}}{\text{Jam efektif sinar matahari (h)}} \dots\dots\dots (3-4)$$

- Kapasitas Inverter (Watt):

Sama dengan atau lebih dari kapasitas beban yang akan disuplai $\dots\dots\dots (3-5)$

- Kapasitas solar charger controller (SCC) (A):

$$\frac{\text{Daya panel surya (Wp)}}{\text{Tegangan (Vdc)}} \dots\dots\dots (3-6)$$

- Kapasitas baterai (Ah):

$$\frac{\text{Konsumsi energi per hari (Wh)}}{\text{Desain DOD (\%)}} \dots\dots\dots (3-7)$$

BAB 3

AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS)

3.1 Prinsip Kerja ATS

Automatic Transfer Switch (ATS) adalah suatu alat yang dapat memindahkan suplai listrik untuk beban dari sumber listrik utama (misalkan PLN) ke sumber listrik cadangan (Genset/PLTS) atau sebaliknya. Perpindahan suplai listrik secara otomatis berlangsung sebagai akibat adanya gangguan pada sumber listrik utama seperti adanya pemadaman, perbaikan/perawatan, dan jika sumber listrik utama sudah kembali normal ATS kembali bekerja memindahkan suplai listrik ke sumber listrik utama. Sumber listrik utama dan sumber listrik cadangan bekerja secara *interlock*, yang artinya jika sumber listrik utama hidup (ON) maka sumber listrik cadangan tidak bisa mensuplai beban.

Panel kendali PLTS-PLN adalah rangkaian kendali yang dapat memadukan dua sumber listrik yang berbeda, mengatur perpindahan suplai listrik untuk beban secara otomatis. Rangkaian kendali yang dimaksud umumnya disebut dengan *automatic transfer switch (ATS)* (Ginting and Sinuraya, 2014; Radwitya and Chandra, 2020). *ATS* merupakan suatu sistem yang terdiri dari perangkat listrik seperti *relay*, *timer* dan kontaktor yang berfungsi untuk memindahkan sumber tegangan listrik ke sumber tegangan listrik lainnya secara otomatis tanpa membuat beban kehilangan arus listrik (Pakpahan, Ramadan and Hadiyoso, 2016).

Pemakaian panel *ATS* dapat dibedakan berdasarkan kapasitas beban yang akan dilayani. Semakin tinggi pemakaian daya listrik, tentunya akan semakin besar pula spesifikasi komponen-komponen *ATS* yang diperlukan seperti, *relay*, kontaktor dan *miniature circuit breaker/mcb* (Susanto, 2013). Dalam melakukan perancangan, terdapat dua jenis rangkaian pada sistem *ATS* yaitu rangkaian daya yang berfungsi untuk menyalurkan daya ke beban dan rangkaian kontrol yang berfungsi untuk mengendalikan

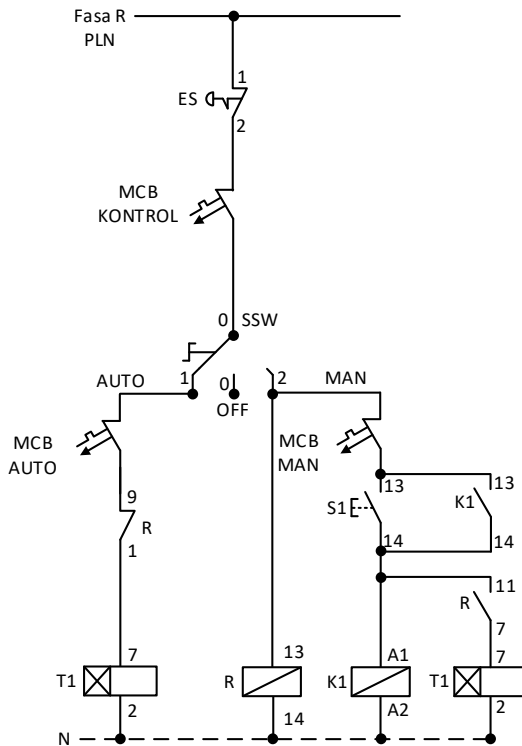
perpindahan dari sumber listrik utama ke sumber listrik cadangan atau sebaliknya (Grahadiastro, Mujiman and Santoso, 2016).

Gambar 3.1 diperlihatkan contoh rangkaian kontrol ATS dan Gambar 3.2 diperlihatkan contoh rangkaian daya ATS berbasis socomec 95034004 yang dapat bekerja secara otomatis dan manual dengan merubah *selector switch* (SSW). Jika *selector switch* diputar pada posisi manual, maka koil relai (R) 13-14 akan aktif mentrigger kontak relai 9-1 dan kontak relai 10-2 untuk aktif, yang semula dalam kondisi NC berubah menjadi NO, kondisi seperti akan mengunci SSW dalam posisi manual serta mentrigger kontak relai 11-7 dan kontak relai 12-8 untuk aktif, yang semula dalam kondisi NO berubah menjadi NC. Saat MCB manual diaktifkan (ON) dan *push button* S1 ditekan, maka koil K1 dan koil TDR (T1) aktif, mentrigger kontak K1 13-14 mengunci *push button* S1 dan kontak K1 21-22. Setelah *delay* waktu TDR (T1) habis maka kontak T1 6-8 berubah menjadi NC dan kontak T1 5-8 berubah menjadi NO dan akan memindahkan posisi socomec dari 0 ke I. Posisi socomec I artinya sumber tegangan PLN telah masuk ke beban. Setelah sumber tegangan PLN masuk ke beban maka sumber tegangan genset *standby*.

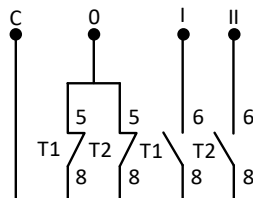
Jika suplai listrik PLN padam maka posisi socomec akan berpindah ke 0 yang menandakan tidak ada suplai listrik yang masuk ke beban. Saat *push button* S2 ditekan, maka ke koil K2 dan koil TDR (T2) aktif, mentrigger kontak K2 13-14 mengunci *push button* S2. Setelah *delay* waktu TDR (T2) habis maka kontak T2 6-8 berubah menjadi NC dan kontak T2 5-8 berubah menjadi NO yang akan memindahkan posisi socomec dari 0 ke II. Posisi socomec II artinya sumber tegangan genset telah masuk ke beban.

Jika *selector switch* diputar pada posisi otomatis dan MCB auto diaktifkan, maka koil TDR (T1) aktif. Setelah *delay* waktu TDR (T1) tercapai, maka kontak T1 6-8 berubah menjadi NC yang akan memindahkan posisi socomec dari 0 ke I. Posisi socomec I artinya sumber tegangan PLN telah masuk ke beban. Setelah sumber tegangan PLN masuk ke beban maka sumber tegangan genset *standby*.

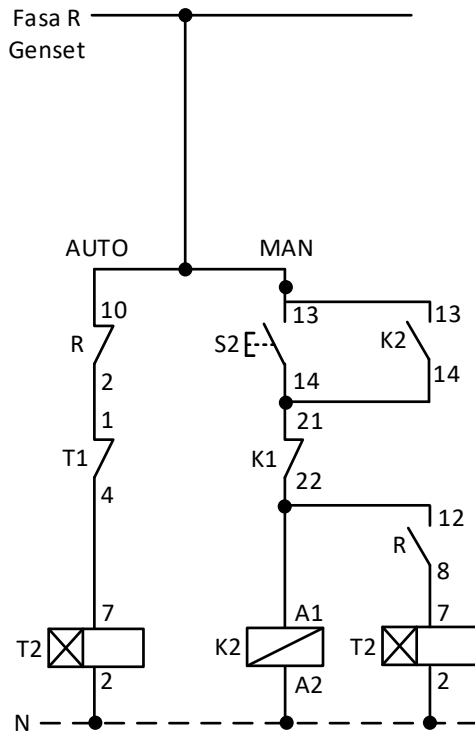
Jika suplai listrik PLN padam, maka posisi socomec akan berpindah ke 0 yang menandakan tidak ada suplai listrik yang masuk ke beban. Pada waktu yang bersamaan anak kontak NC TDR (T1) menutup dan mengalirkan suplai listrik genset ke koil TDR (T2). Setelah *delay* waktu TDR (T2) habis, maka anak kontak T2 6-8 berubah menjadi NC dan memindahkan posisi socomec dari 0 ke II. Posisi socomec II artinya sumber tegangan genset telah masuk ke beban.



(a)



(b)




(c)


Gambar 3.1 Rangkaian kontrol ATS (a) sumber listrik PLN, (b) rangkaian kontrol socomec, (c) sumber listrik Genset

Keterangan :

 = MCB 1 pole

 = Kontak *normally open* (NO)

 = Emergency stop


 = Kontak *normally close* (NC)

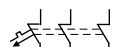
 = Selector switch


· = Kabel fasa


 = Time delay relay (TDR)

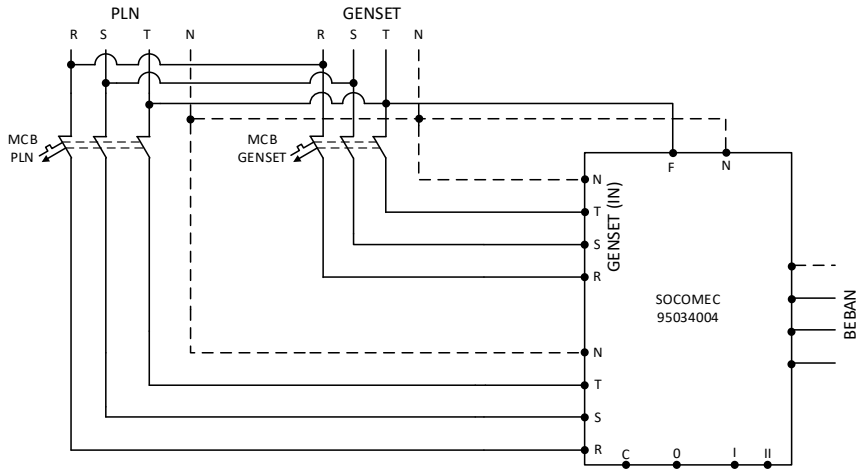
· = Kabel netral

 = Relay

 = MCB 3 pole

 = Kontaktor

 = Push button



Gambar 3.2 Rangkaian daya ATS

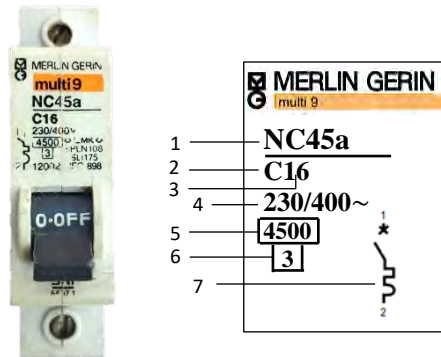
3.2 Komponen-Komponen ATS

Ada beberapa komponen-komponen yang digunakan untuk membangun rangkaian automatic transfer switch (ATS) yaitu:

a. *Miniature circuit breaker (MCB)*

MCB adalah suatu peralatan yang dapat berfungsi sebagai saklar dan dapat juga berfungsi sebagai proteksi/pengaman terhadap kenaikan arus listrik yang disebabkan adanya kondisi/kejadian hubung singkat (*short circuit*) dan beban lebih (*overload*). Artinya, pada saat kondisi normal MCB berfungsi sebagai saklar manual yang dapat menghubungkan atau memutuskan arus listrik, dan pada saat kondisi abnormal (gangguan seperti *overload* dan *short circuit*) MCB akan beroperasi secara otomatis.

Jenis MCB yang digunakan pada rangkaian ATS untuk kendali perpindahan sumber listrik PLN ke sumber listrik PLN pada rancangan ini yaitu MCB 1 fasa. Kapasitas MCB 1 fasa bervariasi mulai dari kapasitas terkecil yaitu 2 A sampai dengan kapasitas terbesar yaitu 63A yang tertera pada bagian depan MCB. Kapasitas MCB tidak tertulis hanya dalam bentuk angka saja, namun tertulis bersamaan dengan kode huruf yaitu B, C, dan D seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.3.



Model nomor	<i>Breaking capacity</i>
Kurva trip	Kelas energi.
Kapasitas MCB	Electrical diagram & jumlah pole
Tegangan kerja	

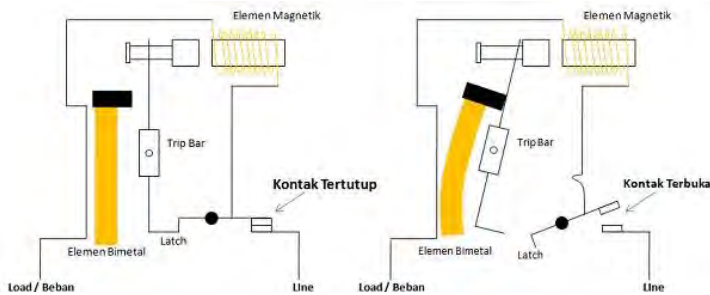
Gambar 3.3 *Miniature circuit breaker (MCB)*

Kode huruf pada MCB menunjukkan karakteristik tripnya, jika MCB tipe B akan trip ketika arus beban (I_n) lebih besar 3-5 kali arus nominal MCB. MCB tipe C akan trip ketika arus beban lebih besar 5-10 kali arus nominal MCB dan MCB tipe D akan trip ketika arus beban lebih besar 10-25 kali arus nominal MCB.

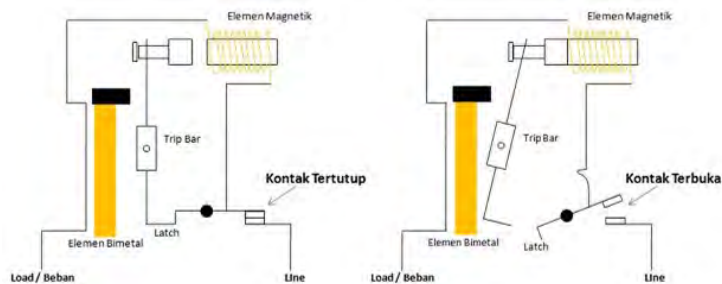
Sebagai contoh, jika pada bagian depan MCB tertulis C4, ini memiliki arti bahwa MCB tersebut memiliki batas arus sampai dengan 4 Amper atau setara 880 VA ~ 900 VA dan akan trip (bekerja memutus arus) jika arus yang mengalir lebih dari 20 A sampai dengan 40 A dalam kurun waktu 0,03 sampai dengan 3 detik (hayusman, 2020).

MCB dapat bekerja memutuskan arus listrik dari sumber ke beban berdasarkan 2 (dua) prinsip kerja, yaitu bekerja dengan prinsip *thermal tripping* dan *magnetic tripping*. Pada saat kondisi beban lebih (*overload*), arus mengalir melalui bimetal akan meningkat 2-5 kali arus nominal, menyebabkan suhu bimetal menjadi tinggi akibatnya bimetal melengkung memutuskan kontak MCB (trip), kondisi ini MCB bekerja secara *thermal tripping* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.4. Sedangkan pada saat terjadi gangguan hubung singkat (*short circuit*),

koil menghasilkan medan magnet sebanding dengan arus yang melewatinya, saat terjadi gangguan hubung singkat arus yang mengalir meningkat 10-100 kali arus nominalnya, menyebabkan kekuatan medan magnet meningkat. Medan magnet yang besar tersebut menarik silinder yang memutuskan kontak MCB (trip) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Kerja MCB secara *thermal tripping*

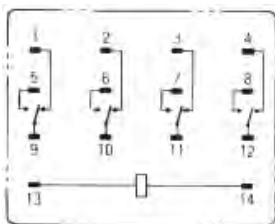


Gambar 3.5 Kerja MCB secara *magnetic tripping*

b. Relai elektromagnetik

Relai elektromagnetik adalah suatu peralatan yang cara kerjanya menggunakan prinsip elektromagnetik untuk mengoperasikan kontak atau saklarnya, baik untuk membuka atau menutup. Berbeda dengan kontaktor, relai memiliki kontak *normally open* (NO), kontak *normally close* (NC) kontak bersama yang bernama kontak *common* (C) dan Koil. Jika koil relai diberi sumber listrik, maka akan timbul medan magnet yang akan menarik *armature* berpegas sehingga kontak yang semula NO menjadi NC atau sebaliknya. Relai elektromagnetik dapat dibedakan berdasarkan jenis koil yang digunakan yaitu relai dengan

koil AC dan relai dengan koil DC. Gambar 3.6 diperlihatkan bentuk wiring dari relai tipe LY4, sedangkan Gambar 3.7 bentuk fisik relai LY4. Relai LY4 memiliki 14 kontak dengan rincian, 4 (empat) kontak NC yaitu 9-1, 10-2, 11-3 dan 12-4. 4 (empat) kontak NO yaitu 9-5, 10-6, 11-7 dan 12-8. 4 (empat) kontak common yaitu 9, 10, 11 dan 12. Dan 2 (dua) kontak koil yaitu 13 dan 14 sebagai tempat masuknya sumber listrik (fasa dan netral).



Gambar 3.6 Diagram pengawatan relai elektromagnetik tipe LY4



Gambar 3.7 Bentuk relai elektromagnetik tipe LY4

Tabel 3.1 diperlihatkan contoh spesifikasi relai elektromagnetik tipe LY4, dimana memiliki kapasitas untuk beban resistif sebesar 15 A, beban induktif 10A. maksimal tegangan kontak sebesar 250 VAC.

Tabel 3.1 Contoh spesifikasi relai elektromagnetik tipe LY4 1 pole

<i>Classification item Load</i>	<i>1 pole</i>	
	<i>Resistive load</i>	<i>Inductive load</i>
<i>Contact type</i>	<i>Single</i>	
<i>Contact material</i>	<i>Ag alloy</i>	
<i>Rated load</i>	15 A at 110 VAC 15 A at 24 VDC	10 A at 110 VAC 7 A at 24 VDC

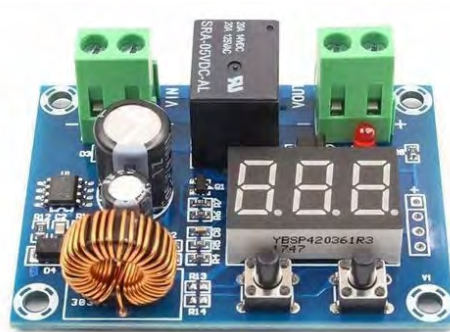
<i>Rated carry current</i>	15 A	
<i>Maximum contact voltage</i>	250 VAC 125 VAC	
<i>Maximum contact current</i>	15 A	15 A

Sumber : *Datasheet* relai omron, 2021

c. *Low voltage disconnect* (LVD)

LVD adalah modul proteksi yang berfungsi untuk melindungi baterai dari kerusakan akibat *discharge* yang berlebihan (*overdischarge*). Cara kerjanya yaitu dengan memutus beban dari baterai secara otomatis pada saat tegangan baterai sudah turun mencapai nilai *setting tegangan disconnect* yang diberikan (*low voltage disconnect*) dan kemudian akan menghubungkan kembali beban secara otomatis jika baterai sudah terisi kembali dan tegangannya sudah mencapai batas *setting tegangan reconnect* (*low voltage reconnect*). Tipe LVD saat ini yang dijual dipasaran ada 2 (dua) yaitu tipe HCW-M635 dan XH-M609 memiliki bentuk fisik yang sama namun memiliki perbedaan pada cara seting parameter nilai-nya. Untuk tombol hitam sebelah kiri, jika ditekan sekali akan menampilkan nilai tegangan terendah yang pernah di *setting* sedangkan tombol hitam sebelah kanan, jika ditekan sekali akan menampilkan nilai *reconnect* yang pernah diberikan. Parameter LVD dapat diatur dengan cara tekan dan tahan tombol hitam sebelah kiri ± 2 detik sampai angka yang ditampilkan pada layar *seven segment* berkedip. Jika ingin menaikkan nilai batas bawah baterai, misalkan yang semula 10 Vdc menjadi 11 Vdc tekan tombol hitam sebelah kiri sampai dengan nilai yang diinginkan tercapai dan akan tersimpan secara otomatis. Apabila nilai tegangan baterai tercapai, maka suplai energi listrik ke beban otomatis berhenti. Sedangkan tombol hitam sebelah kanan berfungsi untuk menurunkan nilai batas bawah baterai. Kemudian untuk mengatur nilai interval antara nilai tegangan batas bawah dan nilai *reconnect* baterai dengan beban yaitu dengan cara menekan selama 2 detik tombol hitam sebelah kanan sampai berkedip,

jika ingin menaikkan nilai *reconnect* tekan tombol hitam sebelah kiri dan jika ingin menurunkan tekan tombol hitam sebelah kanan. Gambar 3.8 diperlihatkan bentuk LVD tipe XH-M609.



Gambar 3.8 Low voltage disconnect (LVD)

d. *Pilot lamp*

Pilot lamp atau lampu indikator merupakan komponen yang digunakan pada panel kendali sebagai penanda suatu kondisi atau keadaan, misalkan sumber listrik PLTS sedang beroperasi maka *pilot lamp* berwarna hijau akan aktif atau *pilot lamp* warna kuning sebagai penanda sumber listrik dari PLN aktif. Disamping itu *pilot lamp* juga difungsikan sebagai lampu indikator pada panel penunjuk fasa R, S dan T atau L1, L2 dan L3. Gambar 3.9 diperlihatkan bentuk *pilot lamp*



Gambar 3.9 *Pilot lamp*

Pilot lamp bekerja ketika ada tegangan masuk pada terminal fasa dan netral. Jika tegangan telah masuk, ditandai dengan menyalnya lampu atau led pada pilot lamp. Tegangan kerja untuk dapat beroperasi, mulai

dari tegangan 24 VDC, tegangan 110 VAC s.d 120 VAC, tegangan 230 VAC s.d 240 VAC.

Sebagai indikator pada panel distribusi, warna *pilot lamp* yang digunakan untuk fasa R yaitu berwarna merah. Fasa S menggunakan *pilot lamp* berwarna kuning. Fasa T menggunakan *pilot lamp* berwarna hijau. Sedangkan untuk indikator pada tombol kontrol: *Run*/jalan menggunakan *pilot lamp* berwarna hijau. *Stop*/berhenti menggunakan *pilot lamp* berwarna merah. *Alarm/fault* menggunakan *pilot lamp* berwarna kuning.

Terdapat diameter lubang yang bisa disesuaikan, berikut beberapa diameter umum pada *pilot lamp* yaitu ukuran 22 mm, 25 mm, 30 mm dan 30,5 mm.

e. *Selector switch*

Selector switch adalah suatu peralatan yang diletakan di luar panel kendali listrik, didesain untuk dapat memindahkan posisi kerja rangkaian kendali atau memilih mode kerja dengan memutar knob kearah kanan atau kiri.

Tipe *selector switch* pada umumnya hanya terdapat 2 (dua) tipe yaitu 2 posisi (*start-stop/on-off*) dan 3 posisi (*manual-off-automatic/on-off-on*) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.10.



Gambar 3.10 Model *selector switch*

BAB 4

SOFTWARE FESTO FLUIDSIM

Software Festo FluidSIM adalah perangkat lunak yang dapat digunakan untuk melakukan simulasi perancangan elektronik kontrol, dengan merangkai beberapa komponen-komponen elektronik kontrol seperti koil, relai, *time delay relay (TDR)*, *push button*, beban listrik (lampu/motor listrik) dan lain sebagainya sehingga menjadi satu kesatuan yang dapat merepresentasikan kondisi aktual suatu rangkaian. Penggunaan *software* tersebut bertujuan untuk menguji hasil rancangan agar dapat diketahui apakah rangkaian tersebut dapat bekerja atau berjalan dengan baik sebelum diimplementasikan (Chamim, Irwan and Syahputra, 2014).

BAB 5

METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian yang dilakukan menggunakan metode deskriptif kuantitatif, dengan tahapan penelitian meliputi:

a. Penentuan kapasitas beban

Penentuan kapasitas beban listrik digunakan sebagai dasar dalam perhitungan dan penentuan komponen-komponen PLTS dan ATS. Pada penelitian ini, beban listrik direncanakan sebesar 300 Watt (beban rumah tangga, lampu penerangan dan peralatan elektronik dengan daya rendah), estimasi pengoperasian selama kurun waktu ± 6 jam.

b. Perhitungan kapasitas PLTS *off-grid*

Perhitungan kapasitas PLTS dapat dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan jumlah pemakaian energi listrik (Wh), dengan kriteria jumlah beban listrik (Watt) dikali dengan durasi pemakaian (Jam). Perhitungan kapasitas dan jumlah modul surya dilakukan dengan kriteria jumlah konsumsi energi listrik dalam satuan Wh dikali jam efektif sinar matahari (4-5 jam).

c. Perhitungan spesifikasi komponen PLTS

Penentuan komponen-komponen PLTS lainnya, seperti: *solar charger controller*, *inverter*, baterai, dan kabel. Untuk penentuan kapasitas baterai menggunakan kriteria jumlah energi listrik yang dibutuhkan (Wh) dibagi dengan desain *depth of discharge* (DOD) baterai yang dikehendaki. Pada perancangan ini desain DOD yang digunakan yaitu sebesar 80 %. Disamping itu, penentuan spesifikasi juga didasarkan pada *datasheet* dari masing-masing komponen PLTS dan komponen *automatic transfer switch* (ATS).

d. Penentuan dan perancangan panel *automatic transfer switch* (ATS)

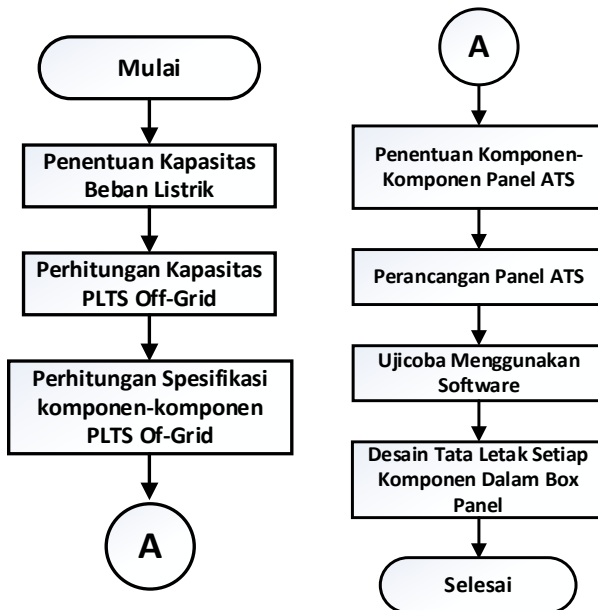
Panel ATS yang akan dirancang menggunakan relai AC 220V tipe LY4 yang digunakan untuk memindahkan suplai listrik dari PLTS ke PLN atau sebaliknya secara otomatis berdasarkan kapasitas baterai dengan

mempertimbangkan kondisi DOD baterai sehingga proses *cycle* baterai (*charging-discharge*) sesuai dengan spesifikasi pabrik yang dapat diatur menggunakan peralatan *low voltage disconnect* (LVD) dengan bantuan *relay* DC tipe MY2N untuk *men trigger switch on/off* dari *inverter*.

e. Ujicoba

Panel ATS yang sudah dirancang dalam bentuk pengawatan selanjutnya disimulasikan menggunakan *software Festo FluidsIM* untuk mengetahui apakah hasil rancangan bisa bekerja dengan baik untuk memindahkan suplai listrik dari PLTS ke PLN atau sebaliknya. Panel ATS yang didesain juga dilengkapi dengan beberapa peralatan proteksi seperti proteksi terhadap arus lebih baik sisi PLTS dan PLN dan proteksi arus bocor menggunakan *residual current circuit breaker* (RCBO).

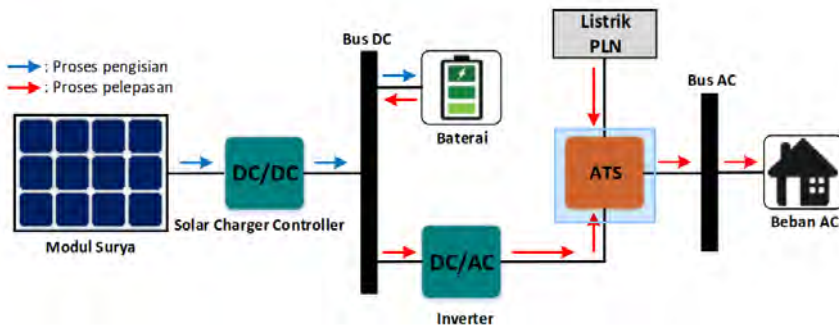
f. Dan terakhir melakukan desain tata letak setiap komponen ke dalam box panel. Gambar 5.1 diperlihatkan tahapan alur penelitian.



Gambar 5.1 Tahapan penelitian

Sinar matahari yang mengenai panel surya diubah menjadi energi listrik arus searah (DC) dengan nilai tegangan dan arus sesuai dengan spesifikasi panel surya. Dengan bantuan *solar charger controller* (SCC) proses pengisian energi listrik dari panel surya ke baterai dapat diatur sehingga tidak terjadi *over charging*. SCC juga dapat mengatur penggunaan energi listrik dari baterai ke beban (hayusman, et al., 2021). Agar energi listrik yang tersimpan di baterai dapat digunakan untuk melayani beban listrik (AC), maka tegangan *output* baterai (DC) harus diubah terlebih dahulu menjadi tegangan AC dengan bantuan inverter.

Adanya panel kendali (ATS) yang dipasang pada sistem PLTS *off-grid* dapat membantu atau menjaga keberlangsungan suplai energi listrik yang dibutuhkan beban. ATS akan bekerja secara otomatis memindahkan suplai listrik utama (PLTS) ke suplai listrik cadangan (PLN) jika kapasitas baterai atau sinar matahari tidak optimal dan ATS akan kembali bekerja memindahkan suplai listrik dari PLN ke PLTS jika kondisi baterai sudah optimal. Gambar 5.2 diperlihatkan *layout* proses suplai listrik dari PLTS *off-grid* dan PLN dengan kendali ATS.



Gambar 5.2 *Layout* proses suplai listrik dari PLTS dan PLN melalui ATS

BAB 6

PEMBAHASAN

6.1 Penentuan Kapasitas PLTS

Perencanaan panel ATS dapat dilakukan apabila terlebih dahulu mengetahui atau menentukan beban listrik dalam satuan ampere (A) atau dalam satuan watt (W). Disamping itu juga perlu ditentukan durasi atau lama waktu PLTS mensuplai beban tersebut. Semakin besar beban yang dilayani dan semakin lama durasi waktu PLTS mensuplai beban tersebut, maka komponen-komponen PLTS yang dibutuhkan akan semakin besar pula.

Beban listrik yang akan dilayani oleh PLTS dalam rancangan ini sebesar 300 Watt dengan rencana pengoperasian selama 6 jam, sehingga total energi listrik yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Total kebutuhan energi listrik:

$$\begin{aligned} &= 300 \text{ Watt} \times 6 \text{ jam} \\ &= 1800 \text{ Wh} \text{ atau} \\ &= 1,8 \text{ kWh} \end{aligned}$$

6.2 Penentuan Spesifikasi Komponen-Komponen PLTS

Kebutuhan jumlah dan kapasitas modul surya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

Kebutuhan modul surya:

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Konsumsi energi per hari}}{\text{jam efektif sinar matahari}} \\ &= \frac{1800 \text{ Wh}}{4 \text{ h}^*} \\ &= 450 \text{ Wp} \text{ atau } 3 \times 150 \text{ Wp} \end{aligned}$$

* Untuk desain PLTS *off-grid* jam efektif dibuat kecil yaitu berkisar 3-5 jam.

Nilai jam efektif sinar matahari yang digunakan berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, yaitu hasil perhitungan antara energi yang dihasilkan pada hari tersebut atau rata-rata energi yang dihasilkan pada bulan tertentu (Wh) dibagi dengan kapasitas modul surya yang terinstal (W), sehingga pemanfaatan intensitas radiasi sinar matahari yang terbesar efektif pada kurun waktu 10.30-14.30 WITA (Tira, Natsir and Iqbal, 2018; Hasrul, 2021).

Jumlah modul surya yang diperlukan untuk dapat mensuplai beban sebesar 300 Watt atau mensuplai energi listrik sebesar 1.800 Wh maka diperlukan modul surya dengan kapasitas 1 x 450 Wp jenis *monocrystalline* atau modul surya dengan kapasitas 3 x 150 Wp. Berdasarkan *datasheet* modul surya merek MY SOLAR tipe MY150S-12 seperti yang diperlihatkan pada Tabel 6.1 bahwa untuk nilai arus *short circuit* (I_{sc}) sebesar 8,59 A. Nilai tegangan *open circuit voltage* (VOC) yaitu sebesar 22,5 V sehingga apabila 3 buah modul modul surya 150 Wp *monocrystalline* masing-masing dihubungkan secara seri, maka didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\text{Total tegangan} = 22,5 \times 3 = 67,5 \text{ VDC}$$

$$\text{Arus} = 8,59 \text{ A}$$

Tabel 6.1 *Datasheet* modul surya My Solar tipe MY150S-12

Spesifikasi	Nilai
<i>Maximum Power</i> (Wp)	150
<i>Voltage at Pmax</i> (V)	18,3
<i>Current at Pmax</i> (A)	8,21
<i>Open Circuit Voltage</i> (V)	22,5
<i>Short Circuit Current</i> (A)	8,59
<i>Power Tolerance</i> (%)	+/- 3
<i>Cell Efficiency</i>	18%
<i>Size</i> (mm)	1482 x 670 x 35
<i>Weight</i> (kg)	11,2
Jenis	<i>monocrystalline</i>

Sumber : *Datasheet* My Solar

Solar charger controller (SCC) yang dipilih yaitu berjenis MPPT, karena memiliki efisiensi jauh lebih baik jika dibandingkan SCC jenis *PWM* dalam mengkonversikan nilai tegangan yang dihasilkan panel surya menjadi tegangan yang dibutuhkan baterai (Hayusman & Hidayat, 2021). Dimana kriteria SCC yang dipilih mampu menerima daya listrik dari modul surya sebesar 450 Wp, tegangan input sebesar 67,5 VDC dan arus *charging* sebesar 8,59 A. Maka SCC yang dipilih berkapasitas 40 A. SCC kapasitas 40 A, jika sistem 12V DC mampu menerima daya input dari modul surya sampai dengan 480 W. Tegangan input yang mampu diterima sebesar 20-80 VDC. Proteksi *over charging* pada nilai 30 VDC dan batas proteksi arus sebesar 42 A. Tabel 6.2 diperlihatkan detail *datasheet solar charger controller* (SCC) tipe MPPT merek PowMr dengan berbagai kapasitas.

Tabel 6.2 *Datasheet SCC* jenis MPPT merek PowMr

<i>Models</i>		MPPT-30A	MPPT-40A	MPPT-50A	MPPT-60A
<i>Charging mode</i>		3 stage: constant current (MPPT), constant voltage, floating			
<i>MAX PV Input Power</i>	12 V	360W	480W	600W	720W
	24 V	720W	960W	1200W	1440W
	36 V	1080W	1400W	1800W	2100W
	48 V	1440W	1700W	2200W	2800W
<i>Input specification DC</i>	12 V	20-80V	20-80V	20-80V	20-80V
	24 V	37-105V	37-105V	37-105V	37-105V
	36 V	50-160V	50-160V	50-160V	50-160V
	48 V	72-160V	72-160V	72-160V	72-160V
<i>Overcharging protection voltage</i>		15V	30V	45V	60V
<i>Limited current protection</i>		31A	42A	51A	61A
<i>Max efficiency</i>		≥ 98,1 %			
<i>PV utilization</i>		≥ 99 %			

Sumber: User manual SCC PowMr

Agar energi listrik yang ditangkap oleh modul surya dapat digunakan pada saat malam hari, maka diperlukan tempat penyimpanan yaitu baterai. Baterai yang digunakan pada perencanaan ini berjenis *valve regulated lead acid (VRLA)*. Baterai PLTS berjenis VRLA memiliki kelebihan yaitu kemudahan dalam melakukan perawatan, hal ini dikarenakan desain baterai yang tertutup sehingga potensi penguapan sangat kecil, yang menyebabkan tidak diperlukannya penambahan cairan selama penggunaan (Widjajanto, et al., 2021).

Rancangan baterai yang akan digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

Kebutuhan baterai:

$$= \frac{\text{Kebutuhan energi listrik}}{80 \%*}$$

$$= \frac{1800}{0,8}$$

$$= 2250 \text{ Wh atau } 12 \text{ V x } 187,5 \text{ Ah}$$

* Didesain dengan DOD (*Depth of Discharge*) 80 %

Karena dipasaran tidak ada kapasitas 187,5 Ah, maka digenapkan menjadi 200 Ah.

Kapasitas inverter yang direncanakan harus sama atau lebih dari kapasitas beban yang akan disuplai, sehingga inverter yang dipilih berkapasitas 500 Watt jenis *pure sine wave (PSW)*, tegangan *input* 12V DC dan tegangan *output* 220 VAC. Inverter berfungsi merubah tegangan searah (DC) dari baterai menjadi tegangan bolak-balik (AC) yang digunakan untuk mensuplai peralatan listrik. Pemilihan jenis *inverter* ini berdasarkan pertimbangan bahwa PLTS yang dirancang tidak hanya dapat melayani beban resistif murni seperti lampu, tv dan lain sebagainya tetapi juga dapat mensuplai beban-beban induktif seperti mesin cuci, kulkas, motor pompa dan lain sebagainya. Tabel 6.3 diperlihatkan *datasheet* untuk inverter PSW.

Tabel 6.3 *Datasheet* Inverter

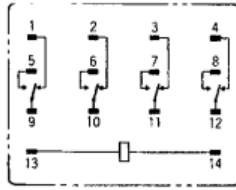
Parameter	Nilai
<i>Peak power</i> (Watt)	1000
<i>Rated power</i> (Watt)	500
<i>Output Waveform</i>	<i>Pure sine wave</i>
<i>Output voltage</i> (VAC)	220 /230
<i>Output frequency</i> (Hz)	50
<i>Efficiency</i> (%)	94
<i>Rated voltage</i> (VDC)	12
<i>Maximum input current</i> (A)	52
<i>Input voltage range</i> (VDC)	9-16
<i>Under voltage protection</i> (VDC)	9,5
<i>Over voltage protection</i> (VDC)	15

Sumber : *Datasheet Inverter Souer*

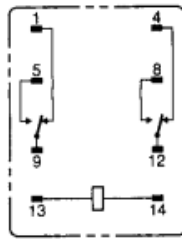
6.3 Penentuan Komponen Kendali ATS

Panel kendali *automatic transfer switch* pada rancangan ini didesain menggunakan relai AC tipe LY4 yang memiliki 4 kontak *normally open* (NO) dan 4 kontak *normally close* (NC), spesifikasi arus beban (*rated load*) 10 A, tegangan kerja (*maximum contact voltage*) 250 VAC dengan daya tahan (*lifetime*) 70.000 kali operasi untuk beban lampu dan 50.000 kali operasi untuk beban motor AC (Omron, 2010). Dari 4 kontak yang dimiliki oleh *relay* LY4, hanya 3 kontak NO dan 3 kontak NC yang akan digunakan.

Sedangkan *Relay* DC yang digunakan berjenis MY2N, memiliki 2 kontak NO dan 2 kontak NC. Spesifikasi arus beban (*rated load*) 5A, tegangan kerja (*maximum contact voltage*) 30 VDC dengan daya tahan (*lifetime*) 500.000 kali. Dari 2 kontak yang dimiliki relai MY2N, hanya 1 kontak NO dan 1 kontak NC yang akan digunakan. Gambar 6.1 dan Gambar 6.2 diperlihatkan bentuk kontak dari relai AC tipe LY4 dan relai DC tipe MY2N.



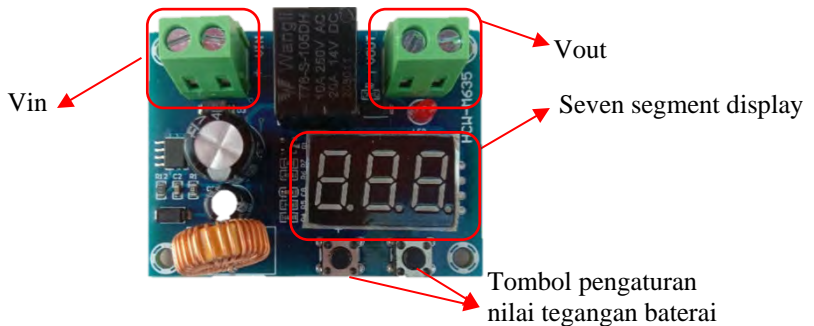
Gambar 6.1 Bentuk kontak relai AC tipe LY4



Gambar 6.2 Bentuk kontak relai DC tipe MY2N

Peralatan yang digunakan untuk mentrigger relai LY4 bekerja memindahkan suplai listrik dari PLTS ke PLN atau sebaliknya dan sebagai proteksi baterai menggunakan peralatan *low voltage disconnect* (LVD) tipe HCW-M635 dengan spesifikasi tegangan koil 12 VDC, 10 A 250 VAC, 20A 14VDC serta konsumsi daya listrik kurang dari 1,5 Watt.

LVD memiliki 2 (dua) terminal, yaitu 1 (satu) terminal *input* (Vin) dan 1 (satu) terminal *output* (Vout) dan pengaturan nilai batas atas dan batas bawah tegangan baterai yang dapat diatur melalui 2 (dua) tombol hitam yang terletak di bawah layar *seven segment* LVD seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3. *Low Voltage Disconnect* (LVD)

6.4 Perancangan Panel Kendali ATS

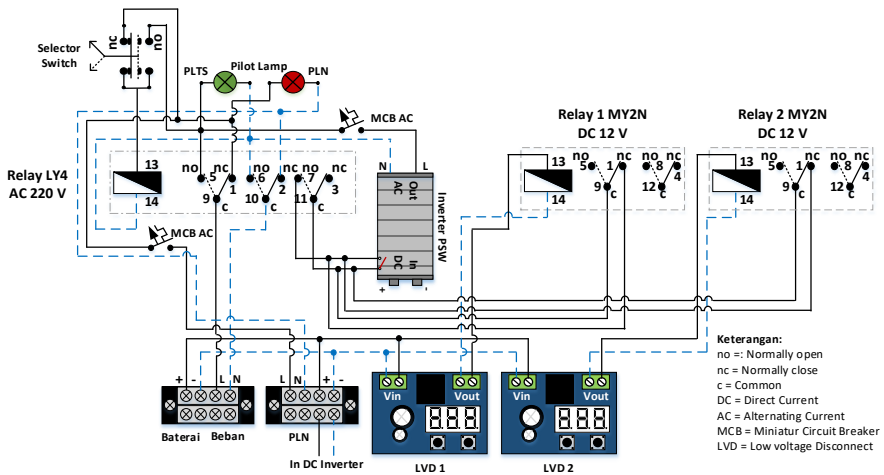
Panel *automatic transfer switch* (ATS) yang dirancang dapat memindahkan suplai listrik dari PLTS ke PLN atau sebaliknya dari PLN ke PLTS secara otomatis menggunakan 1 (satu) unit relai AC 220 Volt tipe LY4, 2 (dua) unit relai DC 12 Volt tipe MY2N dan 2 (dua) unit *low voltage disconnect* (LVD) tipe HCW-M635.

Relai LY4 yang digunakan memiliki 4 kontak *normally open* (NO) dan 4 kontak *normally close* (NC). Kabel fasa dan netral *output inverter* (220 VAC) akan dihubungkan ke koil 13-14 dan ke kontak 5-6. Sedangkan kontak 9-10 (*common*) akan dihubungkan dengan terminal beban. Sumber listrik dari PLN (fasa dan netral) akan masuk melalui terminal PLN dan menuju ke kontak 1 untuk kabel fasa dan kontak 2 untuk kabel netral. Rancangan pengawatan seperti ini menunjukkan bahwa suplai listrik utama bersumber dari inverter / PLTS. Kontak lainnya dari relai LY4 yaitu kontak 7-11 akan dihubungkan dengan *switch inverter*. Hal ini bertujuan agar pada saat PLTS beroperasi inverter secara otomatis bekerja dan sebaliknya pada saat PLTS tidak beroperasi inverter dalam kondisi *standby-off*.

LVD digunakan sebagai penentu kapan suplai listrik akan berpindah dari PLTS ke PLN atau sebaliknya dengan cara mengatur nilai tegangan baterai melalui dua tombol yang berada pada LVD. Disamping itu, LVD juga dapat berfungsi sebagai proteksi agar proses pengurusan baterai atau *depth of discharge* (DOD) dapat diatur atau tidak dikuras sampai dengan 100 % sehingga dapat menjadi *lifetime* baterai. Agar LVD dapat bekerja, maka diperlukan suplai listrik arus searah (DC) yang dapat diambil dari baterai atau dari terminal *input* inverter. Sedangkan *output* LVD akan dihubungkan dengan koil relai DC MY2N.

Pada Rancangan ini LVD-1 diatur pada nilai tegangan baterai sebesar 12 Volt atau setara 50 %, difungsikan sebagai pembatas pertama saat PLTS menyuplai beban. Sedangkan LVD-2 diatur pada nilai tegangan 11,6 Volt atau setara 20 %, difungsikan sebagai pembatas kedua. Jika tegangan baterai sudah menunjukkan nilai sama dengan atau kurang dari 12 Volt, maka LVD-1 bekerja, koil *relay* 1 aktif mentrigger kontak 9-1

yang semula dalam kondisi NC berubah menjadi kondisi NO dan kontak 9-5 yang semula dalam kondisi NO menjadi kondisi NC sehingga suplai listrik untuk beban diambil alih oleh PLN secara otomatis. Apabila terjadi kondisi dimana PLN tiba-tiba padam sedangkan kondisi baterai masih kurang dari 50 %, maka LVD-2 yang akan bekerja, koil relai 2 aktif mentrigger kontak 9-1 dan 9-5 sehingga beban akan kembali disuplai oleh PLTS sampai dengan batas bawah yang telah diatur pada LVD-2. Gambar 6.4 diperlihatkan diagram pengawatan panel kendali *automatic transfer switch* (ATS) dilengkapi dengan LVD.

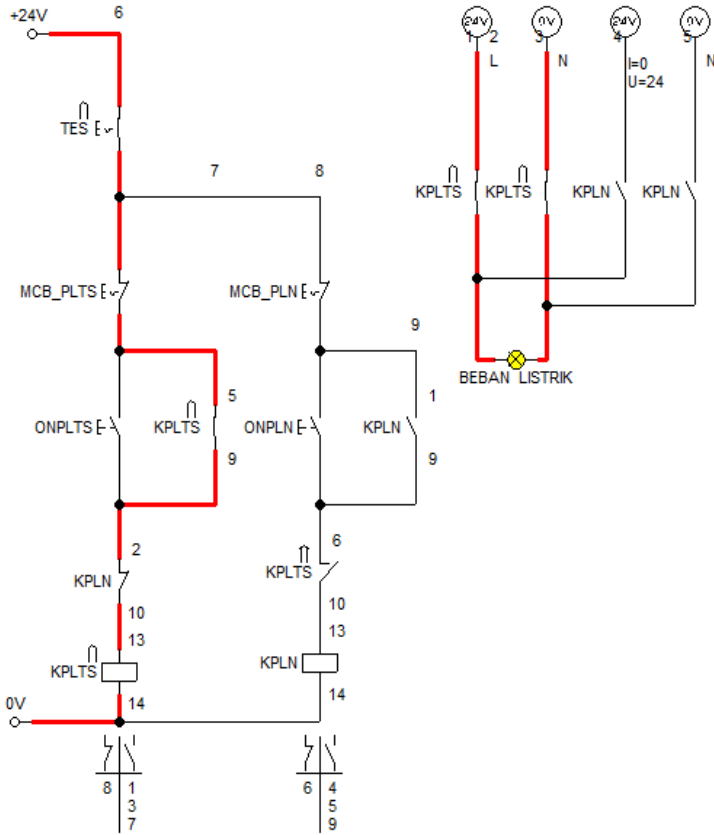


Gambar 6.4 Diagram pengawatan ATS dilengkapi LVD

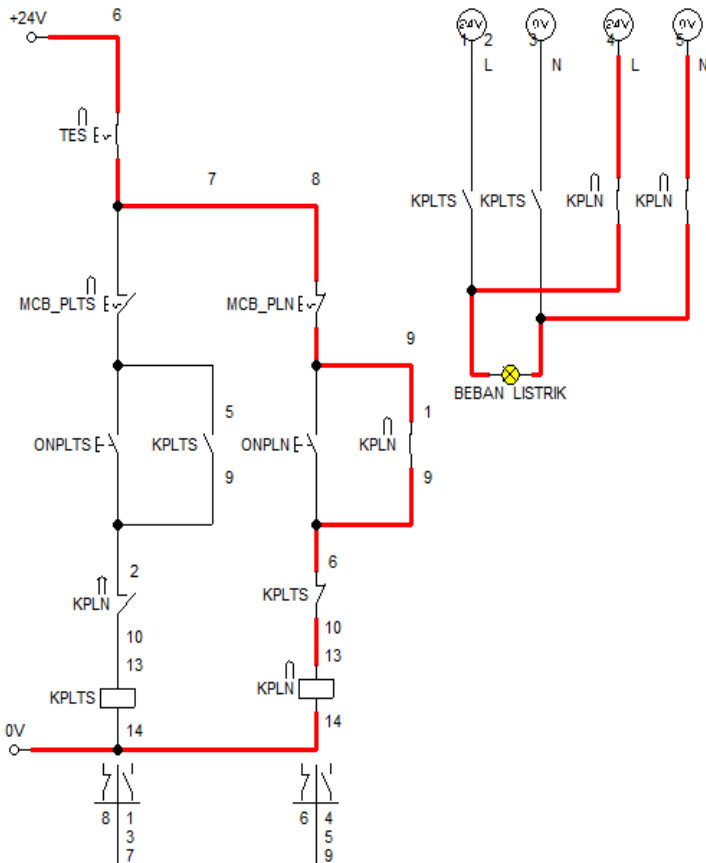
6.5 Uji Coba Menggunakan Software

Pengujian hasil perancangan rangkaian kendali *automatic transfer switch* (ATS) dibuat dan diuji coba menggunakan simulasi *software Festo FluidSIM*. Hasilnya rangkaian kendali yang didesain dapat bekerja dengan baik. Pada saat tombol ON PLTS diaktifkan maka, koil PLTS aktif mentrigger kontak 5-9 yang semula NO menjadi NC dan kontak 6-10 yang semula NC menjadi NO sehingga beban listrik mendapatkan suplai dari PLTS seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.5. Pada saat bersamaan listrik PLN tidak dapat ikut mensuplai beban dikarenakan koil PLTS masih aktif kontak PLN 2-10 masih dalam kondisi NC. Sistem ini dikenal dengan rangkaian *interlock*. Pada saat *miniature circuit breaker* (MCB) PLTS

dalam kondisi *off*, dan tombol ON PLN diaktifkan, maka koil PLN aktif mentrigger kontak 1-9 yang semula NO menjadi NC dan kontak 2-10 yang semula NC menjadi NO sehingga beban listrik mendapatkan suplai dari PLN seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.6.



Gambar 6.5 Hasil pengujian pada saat PLTS ON

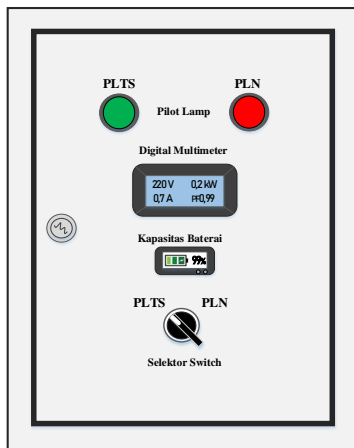


Gambar 6.6 Hasil pengujian pada saat PLN ON

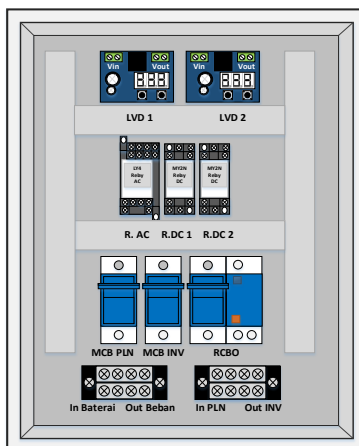
6.6 Desain Tata Letak Komponen ATS Dalam Box Panel

Box panel yang digunakan untuk mendesain dan meletakkan komponen-komponen kendali ATS menggunakan ukuran 20 x 30 cm. Rancangan panel kendali ini dimungkinkan untuk merubah sumber listrik utama yang akan digunakan, apakah bersumber dari PLTS ataupun dari PLN dengan cara memutar *selector switch*. Jika suplai listrik utama bersumber dari PLTS, maka perpindahan sumber listrik dari PLTS ke PLN berdasarkan nilai tegangan baterai yang diatur melalui LVD. Dan jika suplai listrik utama bersumber dari PLN, maka PLTS berfungsi hanya sebagai cadangan (*backup*) apabila listrik dari PLN padam.

Bagian depan *box* panel dipasang dua buah lampu indikator (*pilot lamp*) yang berfungsi sebagai indikator sumber listrik yang sedang aktif. Digital kWh meter dipasang guna memberikan informasi parameter-parameter kelistrikan seperti nilai tegangan (Volt), arus (Amper), daya (kW), energi listrik (kWh), faktor daya dan frekuensi (Hz). Adanya indikator baterai yang dipasang dapat memberikan informasi aktual terkait dengan kapasitas baterai, baik dalam satuan persentase (%) maupun dalam satuan tegangan (Volt). Gambar 6.7 dan Gambar 6.8 diperlihatkan desain tata letak komponen pada bagian depan dan bagian dalam *box* panel.



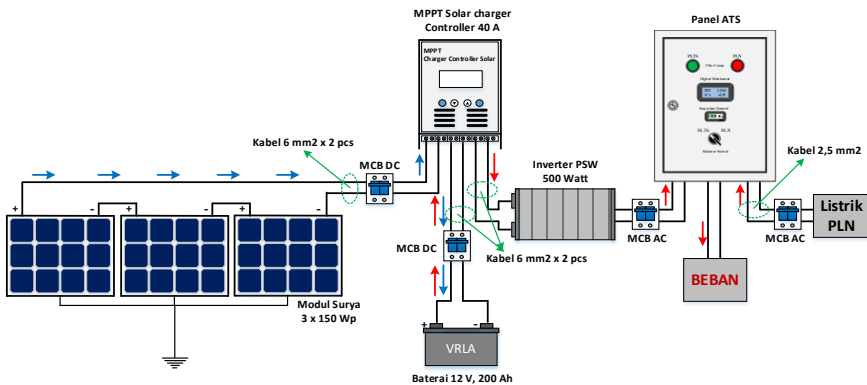
Gambar 6.7 Desain *box* panel tampak depan



Gambar 6.8 Desain *box* panel tampak dalam

Tabel 6.4 diperlihatkan perkiraan biaya yang diperlukan untuk merealisasikan hasil rancangan panel *automatic transfer switch* (ATS) dengan total biaya sebesar Rp. 1.1780.000,-.

Sedangkan Gambar 6.9 diperlihatkan tampilan keseluruhan hasil perancangan panel *automatic transfer switch* (ATS) yang terhubung dengan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dengan rincian yang terdiri dari 3 buah modul surya masing-masing berkapasitas 150 Wp yang dihubungkan dengan *solar charger controller* (SCC) menggunakan kabel $2 \times 6 \text{ mm}^2$, proteksi menggunakan MCB DC 63A. SCC berfungsi untuk mengubah tegangan DC modul surya menjadi tegangan *input DC* baterai, dan sekaligus mengatur proses pengisian energi listrik dari modul surya ke baterai serta mengatur pemakaian energi listrik menuju ke beban. Baterai yang digunakan berkapasitas $12 \times 200 \text{ Ah}$ berjenis *valve regulated lead acid* (VRLA) yang dihubungkan dengan SCC menggunakan kabel $2 \times 6 \text{ mm}^2$, diproteksi menggunakan MCB DC 63A. Sedangkan MCB AC yang digunakan masing-masing berkapasitas 4 A.



Gambar 6.9 *Layout* perancangan PLTS dengan panel ATS

Tabel 6.4 Estimasi biaya perancangan panel ATS

N o	Nama Komponen	Spesifikasi	Qty	Harga (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Relay AC	Omron LY4 , Contact Rating: Koil 220 V, 10 A, 250 VAC, 125 VDC	1	100.00 0	100.000
2	Relay DC	Omron MY2N, Contact Rating: Koil 12 V, 5 A, 250 VAC, 125 VDC	2	20.000	40.000
3	LVD	Tipe HCW-635	2	70.000	140.000
4	Soket relay LY4	-	1	20.000	20.000
5	Soket relay MY2N	-	2	10.000	20.000
6	MCB AC	Schneider, 1 fasa, C4	2	85.000	170.000
7	RCBO	Chint, C6, 230 V, 50 Hz, Isc 6 kA, 300 mA	1	150.00 0	150.000
8	Box panel	Ukuran 20 x 30 x 15 cm	1	150.00 0	150.000
9	Kabel	Eterna NYAF 1,5 mm ² , Red & Blue	10	7.000	70.000
10	Terminal blok	Tipe TB-2504L, 4 Pole, Max arus 25 A	2	10.000	20.000
11	Pilot lamp	SMC AD22-22DS, LED 22 mm, AC 220 V	2	4.000	8.000
12	Selector switch	FORT, SS2511/2, 25 mm, 5A, 250 VAC	1	15.000	15.000
13	Digital kWh meter	AC 220 V, Max 100 A	1	200.00 0	200.000
14	Indikator Baterai	display dalam volt & %, 12 -72 V	1	75.000	75.000
				Total = 1.178.000	

BAB 7

KESIMPULAN

Hasil perancangan panel kendali *automatic transfer switch* (ATS) berdasarkan kapasitas baterai telah dipaparkan. Hasilnya penggunaan relai AC LY4 dan peralatan *low voltage disconnect* (LVD) dengan tambahan relai DC MY2N dapat digunakan untuk mengatur proses perpindahan suplai listrik dari PLTS ke PLN atau sebaliknya secara otomatis dan estimasi biaya yang diperlukan untuk merealisasikan rancangan tersebut sebesar Rp. 1.178.000.

Daftar Pustaka

- A. F. Guminitang, M. F. Sofyan and I. Sulaeman, "Design and Control of PV Hybrid System in Practice," Jakarta Indonesia: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) dan Ditjen EBTKE Kementerian ESDM, 2021.
- A. Majid, "Perancangan Sistem Automatic Transfer Switch (ATS) sebagai Komponen Pelengkap Sistem Hybrid PLN-Sel Surya," *Jurnal Teknik Elektro.*, vol. 7, no. 1, pp. 1-9, 2017.
- A. F. Farizi dan D. A. Asfani, "Desain Sistem Monitoring State of Charge Baterai pada Charging Station Mobil Listrik Berbasis Fuzzy Logic dengan Mempertimbangan Temperature," *Jurnal Teknik.*, vol. 5, no. 2, pp. B278-B282, 2016.
- A. S. Grahadiastro, M. Mujiman dan G. Santoso, "Implementasi Automatic Transfer Switch PLN-PLTS serta Analisis Kemampuan Maksimal dalam Membackup Beban," *Jurnal Elektrikal.*, vol. 3, no. 1, pp. 50-58, 2016.
- A. N. N. Chamim, A. P. Irwan and R. Syahputra, "Implementation of Automatic Transfer Switch on the Solar Home System at the Goat Farm Houses," *Journal of Electrical Technology UMY.*, vol. 4, no. 2, pp. 79-86, 2020.16, no. 3, pp. 128-134, 2014.
- .C. Eka, M. R. Azmi, A. Sumaryo and M. Roihan, "Implementasi Modul Penyimpanan Energi Ganda untuk Solar Home System," *Energi dan Kelistrikan: Jurnal Ilmiah.*, vol. 13, no.1, pp. 40-46, 2021.
- D. Widjajanto, B. M. Achsan, F. M. Rozaqi, A. Widyo Triatmo and E. Leksono, "Estimasi Kondisi Muatan dan Kondisi Kesehatan Baterai VRLA dengan Metode RVP," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi.*, vol. 10, no. 2, pp. 178-187, 2021.
- Datasheet inverter Kenika. Diakses pada hari senin, 12 September 2022.
https://www.kenika.com/index.php?route=product/product&product_id=1136
- E. Radwitya dan Y. Chandra, "Perencanaan PLTS On Grid Dilengkapi Panel ATS di Laboratorium Teknik Elektro Politeknik Negeri

- Ketapang,” *Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control (EPIC)*., vol. , no. 1, pp.52-58, 2020.
- E. Susanto, “Automatic Transfer Switch (Suatu Tinjauan),” *Jurnal Teknik Elektro.*, vol. 5, no. 1, pp. 18-21, 2013.
- F. Yulianto, W. Dwiono and Winarso, “Analisis Perbandingan Daya Modified Sine Inverter dengan Pure Sine Inverter,” *Jurnal RIset Rekayasa Elektro.*, vol. 1, no. 1, pp. 17-24, 2019.
- H. R. Iskandar, C. B. Elysees dan R. Ridwanulloh, “Analisis Performa Baterai Jenis Valve Regulated Lead Acid pada PLTS Off-Grid 1 kWp,” *Jurnal Teknologi.*, Vol. 13, no.2, pp. 129-140, 2021.
- H. S. Tira, A. Natsir dan M. R. Iqbal, “Pengaruh Sudut Surya Terhadap Daya Keluaran Sel Surya 10 WP Polycrystalline,” *Jurnal Teknik Mesin.*, vol. 7, no. 2, pp.69-74, 2018.
- I. Nugroho dan Jamaluddin, “Sistem ATS Hybrid dengan Daya PLTS dan PLN untuk Pompa Hidroponik Berbasis IOT,” *Procedia of Engineering and Life Science.*, vol. 1, no. 1, 2021.
- K. Witono, Asrori and A. Harijono, “The Comparison of Performance Polycrystalline and Amorphous Solar Panels under Malang City Weather Conditions,” *Bulletin of Science Education*, vol. 1, no. 2, pp. 124-135, 2021.
- L. M. Hayusman dan T. Hidayat, “Redesain Panel Kendali Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 400 Wp di Masjid Al-Ikhlas Perumahan Bumi Perkasa Regency Kabupaten Malang Jawa Timur,” *Buletin Profesi Insinyur.*, vol. 4, no. 2, pp. 62-69, 2021.
- L. M. Hayusman, N. Saputera, M. A. Watoni and R. R. Saputera, “Penerapan Teknologi Panel Surya untuk Penerangan Jalan dan Tempat Wudhu di Musala Da’Watul Khair Kota Banjarbaru,” *Jurnal Aplikasi dan Inovasi Ipteks SOLIDITAS.*, vol. 4, no. 2, pp. 200-208, 2021.
- L. M. Hayusman, “Dasar Instalasi Tenaga Listrik,” Banjarmasin: Poliban Press, 2020.

- Omron. 2010. Datasheet Omron LY Relay. Diakses pada hari Minggu 16 Mei 2021
<http://www.kahael.com/download2.php?f=OMRON%20LY%20Relay.pdf>
- P. H. Ginting dan E. W. Sinuraya, “Perancangan Automatic Transfer Switch (ATS) Parameter Transisi Berupa Tegangan dan Frekuensi dengan Mikrokontroler ATMEGA 16,” *Jurnal TRANSMISI.*, vol. 16, no. 3, 2014.
- R. Hasrul, “Analisis Efisiensi Panel Surya Sebagai Energi Alternatif,” *Jurnal Sains, Energi, Teknologi & Industri.*, vol. 5, no. 3, pp. 79-8, 2021.
- R. T. Diantri, Erlina dan C. Widyastuti, “Studi Penyimpanan Energi pada Baterai PLTS,” *Jurnal Energi & Kelistrikan.*, vol. 9, no. 2, pp. 120-125, 2017.
- R. Pakpahan, D. N. Ramadan dan S. Hadiyoso, “Rancang Bangun dan Implementasi Automatic Transfer Switch (ATS) Menggunakan Arduino Uno dan Relay,” *Jurnal Elektro Telekomunikasi Terapan.*, pp. 332-341, 2016.
- S. Prayogo, “Pengembangan Sistem Manajemen Baterai pada PLTS Menggunakan On-Off Grid Tie Inverter,” *Jurnal Teknik Energi.*, vol. 9, no. 1, pp. 58-63, 2019.
- T. Hidayat, L. M. Hayusman dan R. Setiawan, “Integrasi Distributed Generation (DG) pada Sistem Distribusi 20 kV sebagai Upaya Mengurangi Losses dan Meningkatkan Profil Tegangan,” *Jurnal Industri Inovatif.*, vol. 8, no. 2, pp. 22-26, 2018.
- T. Alamsyah, A. Hiendro and Z, Abidin, “Analisis Potensi Energi Matahari Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel Monocrystalline dan Polycrystalline di Kota Pontianak dan Sekitarnya,” *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura.*, vol. 2, no 1, 2021.
- Widjanarko, P. W. Wahyu Nugroho, A. Dani dan N. Alia, “Studi Implementasi Small PLTS Off Grid Berbasis Baterai LiFePO4 pada

Rumah Tinggal Daya Tenaga Surya 200 Watt,” *Jurnal Ilmiah Teknologi FST.*, vol. 13, no. 2, pp. 10-14, 2019.

Wiranto, “Integrasi Solar Home System dengan Jaringan Listrik PLN Menggunakan Kendali Relay dan Kontaktor Magnet,” *Jurnal Teknik Elektro.*, vol. 2, no. 1, 2014.

_____, Data Sheet Modul Surya MY SOLAR. Diakses pada hari Selasa 07 September 2021.

<https://panelsuryajakarta.com/jual-solar-cell-150-wp-monocrystalline/>

_____, User Manual MPPT PowMr. Diakses pada hari Selasa 07 September 2021.

https://powmr.com/index.php?dispatch=attachments.getfile&attachment_id=28

Glosarium

- ATS : *automatic transfer switch*, merupakan peralatan yang dapat memindahkan suplai listrik ke beban dari satu sumber listrik ke sumber listrik lainnya secara otomatis.
- AC : *alternating current*, sumber listrik arus bolak-balik.
- DC : *direct current*, sumber listrik arus searah.
- Inverter : alat yang dapat merubah tegangan listrik DC menjadi tegangan listrik AC.
- Kontak NO : kontak *normally open*, kontak yang memiliki posisi awal terbuka.
- Kontak NC : kontak *normally close*, kontak yang memiliki posisi awal tertutup.
- LVD : *low voltage disconnect*, merupakan peralatan yang dapat digunakan untuk mengatur kedalaman pengurasan baterai (DOD).
- MCB : *miniature circuit breaker*, peralatan listrik pada kondisi normal dapat difungsikan sebagai saklar, dan jika kondisi gangguan dapat difungsikan sebagai proteksi beban lebih dan hubung singkat.
- MPPT : *maximum power point tracking* atau pencarian titik daya maksimum yang bekerja secara elektronik.
- Off-grid : Sistem yang tidak terhubung dengan jaringan listrik eksisting.
- On-grid : Sistem yang terhubung dengan jaringan listrik eksisting.
- PWM : *pulse width modulation* atau modulasi lebar pulsa.
- Pilot lamp* : lampu indikator, biasa dipasang pada bagian depan panel kendali.
- SCC : *solar charger controller*, peralatan yang dapat mengatur proses pengisian baterai oleh modul surya dan proses pengurasan baterai oleh beban.
- TDR : *time delay* relai, relai penunda batas waktu.

OPTIMASI KINERJA PLTS OFF-GRID DENGAN TEKNOLOGI AUTOMATIC TRANSFER SWITCH (ATS)

PLTS off-grid adalah pembangkit listrik tenaga surya yang sistemnya berdiri sendiri tanpa terkoneksi dengan sumber listrik lain untuk mensuplai kebutuhan beban. Mengandalkan energi matahari yang ditangkap oleh panel surya yang selanjutnya dikonversikan menjadi energi listrik yang disimpan di dalam baterai.

Adanya fluktuasi cuaca dan efektifitas sinar matahari yang terbatas berkisar 4-5 jam, sehingga sistem PLTS off-grid masih belum optimal. Agar suplai listrik yang dibutuhkan beban dapat berlangsung secara terus menerus, maka perlu digabungkan dua sumber listrik yang dihasilkan oleh PLTS dengan energi listrik eksisting dari jaringan listrik PLN melalui teknologi automatic transfer switch (ATS).

Buku monograf ini disusun guna memberikan informasi kepada para pembaca terkait proses perancangan panel ATS untuk memindahkan suplai listrik dari PLTS off-grid ke jaringan listrik PLN atau sebaliknya. Dimana perpindahan suplai listrik tersebut berlangsung secara otomatis berdasarkan kondisi tegangan baterai yang diatur melalui peralatan LVD.

Lauhil Mahfudz Hayusman



Penerbit Poliban Press

Redaksi :

Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basry,
Pangeran, Komp. Kampus ULM, Banjarmasin Utara

Telp : (0511)3305052

Email : press@poliban.ac.id