

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Heater Kubikel 20kV

Pada Gambar 2.1 pemanas memiliki fungsi pada umumnya yaitu untuk memanaskan, namun pada komponen kubikel berfungsi untuk memanaskan ruang terminal kabel untuk dapat menjaga kelembabannya tetap dalam keadaan normal. Adanya pemanas ini diharapkan dapat mengurangi terjadinya efek Corona yang muncul pada kubikel akibat terdapatnya kelembaban pada komponen kelistrikan, besar tegangan pemanas yang diperlukan dalam memanaskan ruang terminal kubikel yaitu 220 V untuk bisa mendapatkan sumber tegangan dari trafo distribusi. [8], [9] Kelembapan yang terjadi pada komponen kelistrikan akan mengakibatkan terjadinya Corona terutama pada terminal kubikel. Terdapatnya Corona dapat menyebabkan penurunan kualitas isolasi atau Breakdown. Apabila terjadi kenaikan tegangan atau arus akibat gangguan, maka akan memudahkan kerusakan pada isolasi yang mengalami penurunan kualitas. Terjadinya kerusakan akibat penurunan kualitas pada alat akan berdampak pada biaya yang berlebih untuk perbaikan alat[8].



Gambar 2. 1 Heater Kubikel

2.2 Panel Surya

Pada Gambar 2.2 PLTS adalah sebuah pembangkit listrik yang memanfaatkan sinar matahari berupa radiasi sinar foton matahari yang kemudian akan dikonversikan menjadi energi listrik melalui sel (photovoltaic).



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

[1], [2]. Sel surya (photovoltaic) sendiri merupakan suatu lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor silikon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. [1], [10]. Sinar matahari yang dimanfaatkan oleh PLTS ini akan memproduksi listrik DC yang dapat dikonversi menjadi listrik AC apabila dibutuhkan. Dan PLTS ini akan tetap meskipun cuaca mendung selama masih terdapat cahaya [2].



Gambar 2. 2 Panel Surya

2.3 Inverter Hybrid

Pada gambar 2.3 Inverter Hybrid adalah perangkat elektronika daya yang menggabungkan fungsi inverter untuk sumber energi terbarukan (seperti panel surya) dan pengelolaan penyimpanan energi baterai dalam satu unit [11], [12]. Inverter ini tidak hanya mengubah arus DC menjadi AC (seperti inverter biasa), tetapi juga mengelola aliran energi antara sumber energi, baterai, beban, dan grid listrik, termasuk kemampuan untuk menyimpan energi ke baterai serta memasok listrik saat diperlukan [11]. Dengan demikian, inverter hybrid berperan sebagai pusat pengendali energi yang cerdas dalam sistem tenaga surya atau sistem listrik mikro lainnya [12].



Gambar 2. 3 Inverter Hybrid

2.4 Baterai Solar Panel

Gambar 2.4 merupakan baterai solar panel adalah komponen penyimpanan energi listrik dalam sistem tenaga surya (PLTS) yang berfungsi menyimpan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya (solar panel) agar dapat digunakan kemudian, terutama ketika matahari tidak bersinar (misalnya malam hari atau saat mendung) [3], [4]. sehingga energi listrik tetap tersedia. Energi listrik yang dihasilkan panel surya pada siang hari akan disimpan dalam baterai dan dilepaskan saat diperlukan. [4]002E



Gambar 2. 4 Baterai

2.5 Miniatur Circuit Breaker (MCB)

MCB adalah perangkat proteksi yang berfungsi memutuskan aliran secara otomatis apabila terjadi arus lebih atau hubungan singkat. [7], [13]. MCB digunakan untuk melindungi instalasi listrik dan peralatan dari kerusakan akibat gangguan listrik [13].

2.1.1 MCB AC

Pada gambar 2.5 MCB AC Merupakan MCB yang dirancang untuk sistem arus bolakbalik (Alternating Current). Pada sistem AC, arus listrik memiliki karakteristik perubahan arah secara periodik dan memiliki titik nol, sehingga proses pemadaman busur listrik saat pemutusan arus dapat berlangsung lebih mudah. [13]. MCB AC bekerja menggunakan mekanisme termal dan magnetik untuk memberikan perlindungan terhadap beban lebih dan hubung singkat [7].



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 2. 5 MCB AC

2.1.2 MCB DC

Pada gambar 2.6 MCB DC Merupakan MCB yang digunakan pada sistem arus searah (Direct Current). Arus DC mengalir satu arah dan tidak memiliki titik nol, sehingga pemutusan arus dan pemadaman busur listrik lebih sulit dibandingkan sistem AC. Oleh karena itu, MCB DC memiliki desain dan mekanisme pemadaman busur yang lebih kompleks dan umumnya digunakan pada sistem panel surya, baterai, dan aplikasi DC lainnya [13].



Gambar 2. 6 MCB DC

2.6 Konektor MC 4

Berdasarkan gambar 2.7 Konektor MC4 adalah konektor listrik standar pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang digunakan untuk menghubungkan antar modul surya maupun modul surya dengan inverter atau combiner box. MC4 dirancang khusus untuk sistem arus searah (DC) dengan tegangan dan arus tinggi, sehingga mampu memberikan koneksi yang aman, andal, dan tahan terhadap kondisi lingkungan luar. Nama MC4 berasal dari Multi-Contact (sekarang Stäubli Electrical Connectors) dan angka 4 yang menunjukkan diameter pin kontak 4 mm [14]. Konektor ini bersifat single-contact dan dilengkapi dengan sistem pengunci (locking mechanism) yang mencegah terlepasnya koneksi secara tidak disengaja, sehingga meningkatkan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

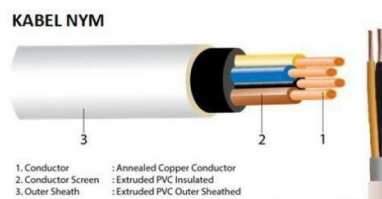
keselamatan instalasi PLTS. Secara konstruksi, konektor MC4 terdiri dari kontak logam (pin dan socket) yang terbuat dari tembaga berlapis timah untuk menjamin konduktivitas listrik yang baik, serta housing plastik berisolasi tinggi yang tahan terhadap sinar ultraviolet (UV), panas, dan kelembapan. Konektor ini memiliki tingkat perlindungan IP65–IP67, sehingga aman digunakan pada instalasi luar ruangan. Dalam aplikasi PLTS, konektor MC4 memungkinkan penyusunan rangkaian panel surya secara seri maupun paralel dengan cepat dan aman, serta meminimalkan rugi-rugi daya dan risiko percikan listrik (electric arc). Oleh karena itu, konektor MC4 telah menjadi standar internasional pada instalasi sistem tenaga surya [14].



Gambar 2. 7 Konektor MC 4

2.7 Kabel NYM

Berdasarkan Gambar 2.8 Kabel NYM termasuk salah satu jenis kabel listrik yang sering digunakan pada bangunan rumah pribadi maupun gedung perkantoran. Salah satu kelebihan dari kabel ini terletak pada daya tahannya yang kuat, tahan terhadap api, dan tahan terhadap air. Jadi, bisa dibilang kabel ini sangat aman dan efisien. Meski namanya mirip dengan kabel NYA dan NYY, tapi ketiga jenis kabel listrik ini memiliki karakteristik yang berbeda. Hal ini terjadi karena setiap jenis kabel memiliki kemampuan hantar arus yang berbeda [15]. Kemampuan hantar arus pada kabel listrik dapat dipengaruhi oleh luas penampang dan isolatornya. Selain itu, kemampuan hantar arus pada kabel listrik seperti ini juga dapat dipengaruhi oleh bahan konduktor yang dipakai [7],



Gambar 2. 8 Kabel NYM

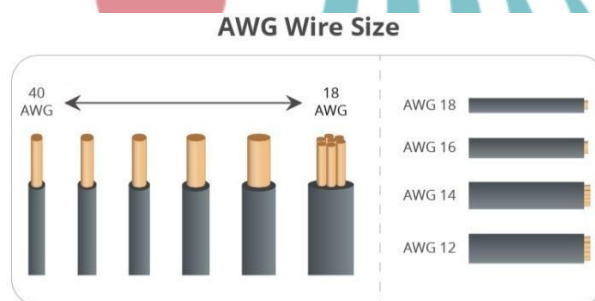


Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.2 Kabel AWG

Pada gambar 2.9 Kabel AWG adalah kabel listrik yang ukurannya ditentukan menggunakan sistem AWG (American Wire Gauge), yaitu standar penomoran untuk menyatakan diameter atau ketebalan konduktor kawat. Sistem ini awalnya dikembangkan di Amerika Utara dan sampai sekarang masih banyak dipakai pada instalasi listrik, elektronik, otomotif, panel kontrol, dan sistem tenaga surya. Kabel AWG adalah kabel yang ukuran konduktornya dinyatakan dengan standar American Wire Gauge untuk menentukan kemampuan arus, resistansi, dan aplikasi penggunaannya secara aman.



Gambar 2. 9 Kabel NYM

2.8 Sensor STC – 3028

Pada Gambar 2.10 STC-3028 adalah sebuah pengendali (controller) digital suhu dan kelembapan yang sering disebut thermostat + hygostat, yang berarti alat ini membaca sensor suhu dan kelembapan sekaligus mengontrol perangkat lain seperti pemanas, pendingin, humidifier dan dehumidifier berdasarkan setting yang diinginkan [16].



Gambar 2. 10 Sensor STC - 3028

2.9 Cooling Fan

Berdasarkan gambar 2.11 *Cooling fan* (Kipas Pendingin) merupakan perangkat yang digunakan untuk menghilangkan panas dari komponen elektronik atau mesin



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

untuk mencegah panas berlebih [12]. Cara kerjanya adalah dengan mengeluarkan udara ke permukaan komponen untuk menurunkan suhu serta mempertahankan kinerja optimal. *Cooling fan* umumnya digunakan pada komputer, laptop, konsol game, dan perangkat elektronik lainnya untuk mencegah kerusakan yang disebabkan oleh penumpukan panas yang berlebih [17].



Gambar 2. 11 Cooling Fan

2.10 Menentukan besaran watt dari *inverter*

Besaran watt *inverter* yang kita gunakan ditentukan dari besarnya kebutuhan watt yang ingin kita *backup* [6], [11]. Contoh, jika kebutuhan daya total kita adalah 60 watt/hour, maka kita harus memilih tipe *inverter* dengan daya diatas 60 watt/hour. *Inverter* ini boleh dengan nilai daya lebih dari beban/jam tetapi tidak boleh kurang dari daya beban/jam[6].

2.11 Menentukan tipe baterai

Berapa lama baterai ini kita inginkan untuk mem-*backup* kebutuhan alat kita. Contoh kita memilih baterai dengan nilai 12 Volt 100Ah, [4]. maka kemampuannya dapat menggunakan rumus :

$$E = V \times Ah \quad (2.1)$$

$$P = 12V \times 100Ah$$

$$P = 1200 Wh$$

Maka daya baterai adalah 1200 Wh.

Kemudian berapa lama baterai tersebut dapat membackup kebutuhan alat kita jika daya total alat kita adalah 200 watt?

$$\text{Lama Baterai Membackup} = \frac{\text{Max Kemampuan Baterai}}{\text{Total Daya Alat}}$$

$$\text{Lama Baterai Membackup} = \frac{1200 Wh}{200 Watt}$$

$$\text{Lama Baterai Membackup} = 6$$



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.12 Menentukan jumlah solar panel yang dibutuhkan

Untuk menghitung jumlah solar panel yang akan dibutuhkan, kita harus menentukan total daya harian kita terlebih dahulu. [1], [6]. Contoh kita menggunakan peralatan elektronika sebagai berikut :

- Lampu 20 watt/hour x 4 hours (menyala) = 80 watt
- Televisi 80 watt/hour x 4 hours (menyala) = 320 watt
- Kulkas 100 watt/hour x 24 hours (menyala) = 2400

wattMaka jumlah total daya adalah 2800 watt/day

Dari hasil tersebut kita bisa menentukan berapa jumlah solar panel yang dibutuhkan :

$$\text{Kebutuhan Daya Solar Panel} = \frac{\text{Total Daily Watt}}{\text{Charaina Effective}} \quad (2.2)$$

$$\text{Kebutuhan Daya Solar Panel} = \frac{2800 \text{ Wh}}{5 \text{ hours}}$$

$$\text{Kebutuhan Daya Solar Panel} = 560 \text{ Watt Peak (Wp)}$$

Misal kita memilih solar panel dengan nilai 100 Wp, maka :

$$\text{Jumlah Solar Panel} = \frac{\text{Kebutuhan Daya Solar Panel}}{\text{Daya Solar Panel Yang Dibutuhkan}}$$

$$\text{Jumlah Solar Panel} = \frac{560 \text{ Wp}}{100 \text{ Wp}}$$

$$\text{Jumlah Solar Panel} = 5,6 \text{ Pcs} \approx 6 \text{ Pcs}$$

Maka dibutuhkan 6 Pcs Solar Panel dengan nilai 100 Wp

2.13 Menentukan jumlah baterai yang diperlukan

Misalkan kita memilih batterai dengan nilai 12V 105 Ah, maka jumlah batterai adalah :

$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{\text{Total Daily Watt}}{\text{Max Kemampuan Baterai}} \quad (2.3)$$

$$\text{Jumlah Baterai} = \frac{500 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}}$$

$$\text{Jumlah Baterai} = 5$$

$$\text{Jumlah Baterai} = 5 \text{ Pcs}$$

Maka dibutuhkan 5 Pcs Baterai 100Ah untuk memenuhi kebutuhan kapasitas 500 Ah. [6].

2.14 Perhitungan Pengaman Komponen



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hitung terlebih dahulu total kapasitas daya yang digunakan. Misalkan total kapasitas daya yang digunakan adalah 1.000 Watt, selanjutnya kita rubah Watt (daya) menjadi Ampere (Arus) dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Ampere (A)} = \frac{\text{Total Daya Perangkat}}{\text{Tegangan Listrik Komponen}} \quad (2.4)$$

$$\text{Ampere (A)} = \frac{1000 \text{ Watt}}{220 \text{ Vac}}$$

$$\text{Ampere (A)} = 4,54 \text{ A}$$

Setelah mengetahui total arus, selanjutnya kita harus menambahkan safety factor untuk memastikan keamanan dan menghindari kelebihan beban. Safety factor yang digunakan adalah 125% dari total arus.

$$\text{Safety factor} = \text{Total Arus} \times 125\%$$

$$\text{Safety factor} = 4,54 \text{ A} \times 125\%$$

$$\text{Safety factor} = 5,675 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan di atas kita harus menggunakan pengaman atau MCB dengan rating 5,675 A atau di atasnya. Berdasarkan rating MCB dipasaran yaitu 2A, 4A, 6A, 10A, dst... Kita menggunakan rating MCB 6A karena nilainya lebih dekat dengan total arus 5,675 A [7].

2.15 Menentukan Luas Penampang Penghantar

Untuk menentukan luas penampang penghantar, tentukan terlebih dahulu arus pada beban, setelah itu tentukan luas penampang kabel atau Kuat Hantar Arus (KHA) sesuai dengan spesifikasi pada kabel yang diinginkan.

Misalkan KHA pada kapasitas daya beban yang digunakan adalah 5,675A, lalu kita ingin menggunakan kabel NYA. Pada spesifikasi kabel NYA, luas penampang kabel terkecil adalah $1,5\text{mm}^2$, dimana ukuran luas penampang tersebut dapat dilewati arus hingga 15A. Jadi kita dapat menggunakan kabel NYA $1,5\text{mm}^2$ untuk dilewati arus 5,675A [15].

2.16 Iradiasi Matahari

Berdasarkan gambar 2.12 Iradiasi matahari di daerah Depok sangat berpengaruh terhadap performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). kinerja panel surya di dipengaruhi oleh intensitas iradiasi, suhu permukaan panel, suhu



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

lingkungan, dan kecepatan angin. Untuk memantau iradiasi, dapat digunakan alat ukur solar power meter. Data yang dikumpulkan iradiasi dapat membantu mengoptimalkan output listrik PLTS. Secara umum wilayah Jabodetabek, termasuk Depok, memiliki rata-rata iradiasi harian sekitar 4,5–5,0 kWh/m²/hari, cukup tinggi untuk mendukung operasional PLTS secara efisien. Faktor-faktor lingkungan seperti suhu dan angin juga perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi efisiensi panel surya. Dengan pemantauan yang baik, PLTS di Depok dapat dioptimalkan untuk menghasilkan listrik secara maksimal sepanjang tahun. [10].



Gambar 2. 12 Iradiasi Matahari

Sumber: <https://ojs.polnes.ac.id/index.php/poligrid/article/view/18>

BAB III

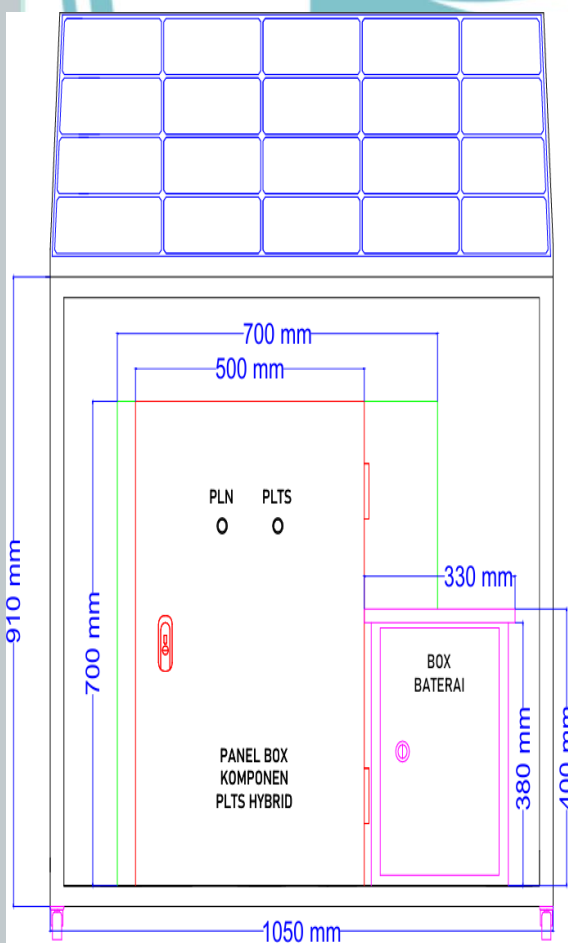
PERENCANAAN DAN REALISASI

3.1 Rancangan Alat

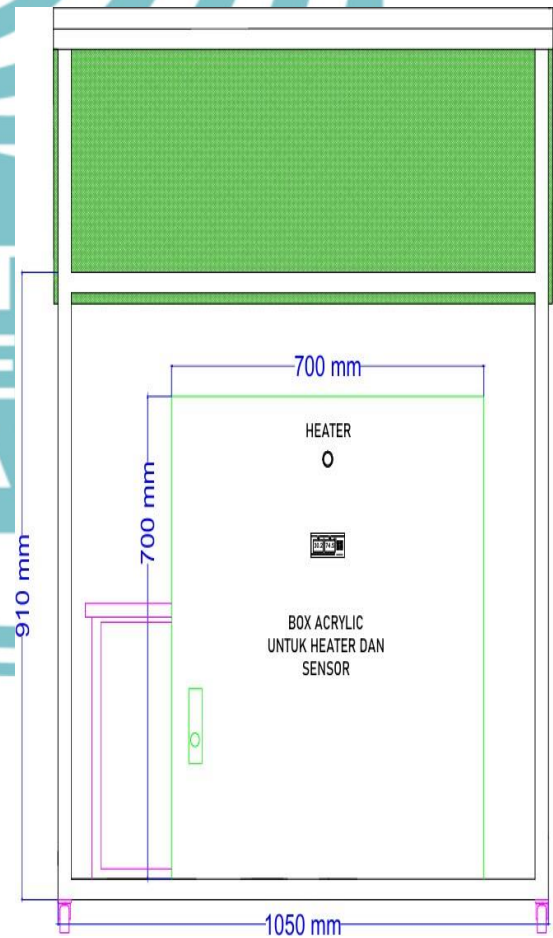
Alat yang dirancang pada Tugas Akhir ini merupakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *hybrid* yang digunakan sebagai sumber energi listrik untuk beban heater pada kubikel 20 kV. Sistem ini bertujuan untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan di dalam kubikel, sehingga dapat mencegah terjadinya kondensasi, penurunan kualitas isolasi, serta potensi gangguan pada peralatan tegangan menengah.

3.1.1 Deskripsi Alat

Pada Gambar 3.1 dan 3.2 alat yang dirancang pada Tugas Akhir ini



Gambar 3. 1 Alat Tampak Belakang



Gambar 3. 2 Alat Tampak Depan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

merupakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *hybrid* yang digunakan sebagai sumber energi listrik untuk beban heater pada kubikel 20 kV. Sistem ini bertujuan untuk menjaga kestabilan suhu dan kelembapan di dalam kubikel, sehingga dapat mencegah terjadinya kondensasi, penurunan kualitas isolasi, serta potensi gangguan pada peralatan tegangan menengah.

PLTS *hybrid* ini menggunakan inverter *hybrid* yang telah terintegrasi dengan Maximum Power Point Tracking (MPPT). *Inverter hybrid* berfungsi sebagai pusat pengendali sistem yang mengatur aliran daya dari panel surya, baterai, dan sumber listrik PLN secara otomatis. MPPT pada *inverter* berfungsi untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan panel surya agar bekerja pada titik daya maksimum, sehingga efisiensi sistem dapat ditingkatkan.

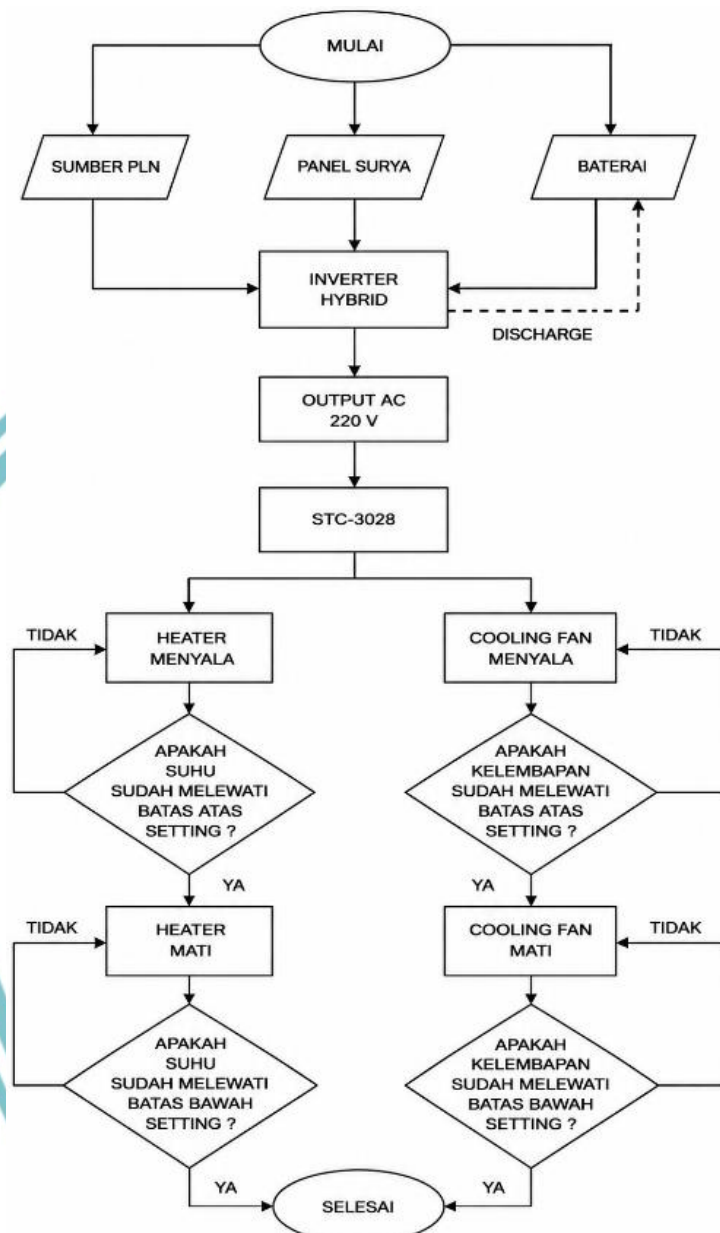
Selain itu, *inverter hybrid* juga terhubung dengan sumber listrik PLN sebagai sumber energi cadangan. Apabila daya dari panel surya dan baterai tidak mencukupi, *inverter* secara otomatis akan memanfaatkan daya dari PLN untuk menjaga kontinuitas suplai listrik ke beban heater. Dengan sistem ini, keandalan operasi heater kubikel 20 kV tetap terjaga tanpa terjadinya pemadaman. Beban utama pada sistem ini adalah heater kubikel 20 kV, yang berfungsi untuk mempertahankan suhu minimum dan mengendalikan tingkat kelembapan di dalam kubikel. Heater dioperasikan sesuai dengan kebutuhan kondisi lingkungan kubikel, sehingga penggunaan energi menjadi lebih efisien.

Untuk menjamin keselamatan dan keandalan sistem, PLTS *hybrid* ini dilengkapi dengan perangkat proteksi, seperti MCB DC pada sisi panel dan baterai, serta MCB AC pada sisi keluaran inverter menuju beban heater. Sistem pengkabelan dan instalasi dirancang sesuai dengan standar keselamatan kelistrikan yang berlaku.

Secara keseluruhan, sistem PLTS *hybrid* dengan *inverter hybrid* terintegrasi MPPT ini diharapkan mampu menjadi solusi penyedia energi yang andal, efisien, dan ramah lingkungan untuk mendukung operasional heater pada kubikel 20 kV, sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap

sumber energi listrik konvensional.

3.1.2 Cara Kerja Alat



Gambar 3. 3 Flowcart Sistem

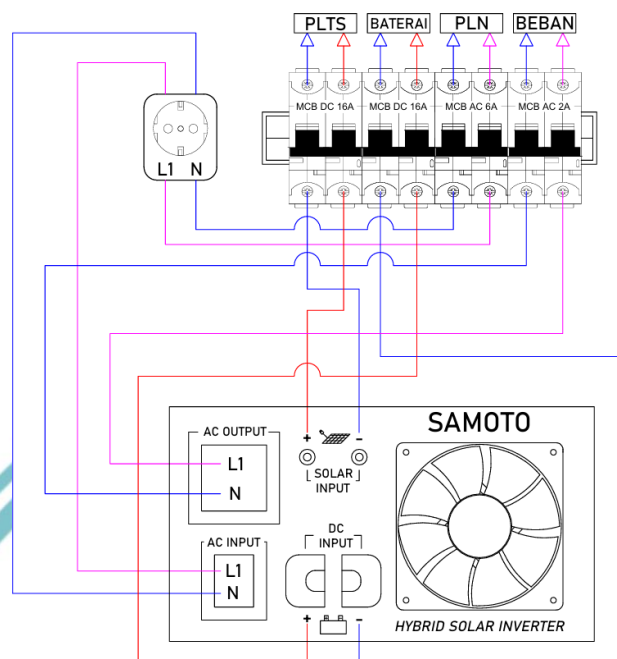
Untuk mengetahui bagaimana alat bekerja, pada gambar 3.3 dibuat alur/proses bagaimana alat ini bekerja. bagaimana alat ini bekerja dari awal mulai sampai dengan selesai.



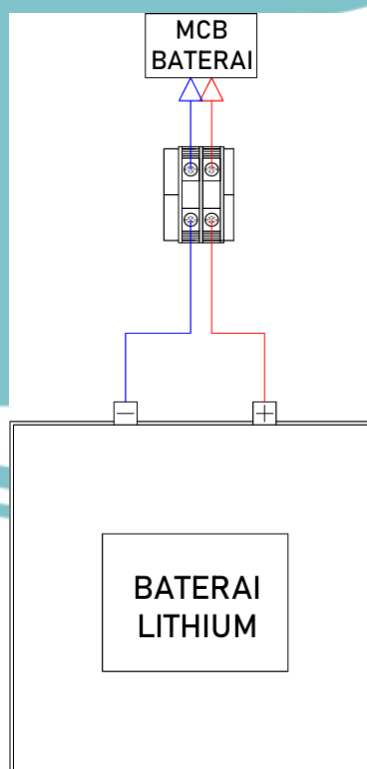
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



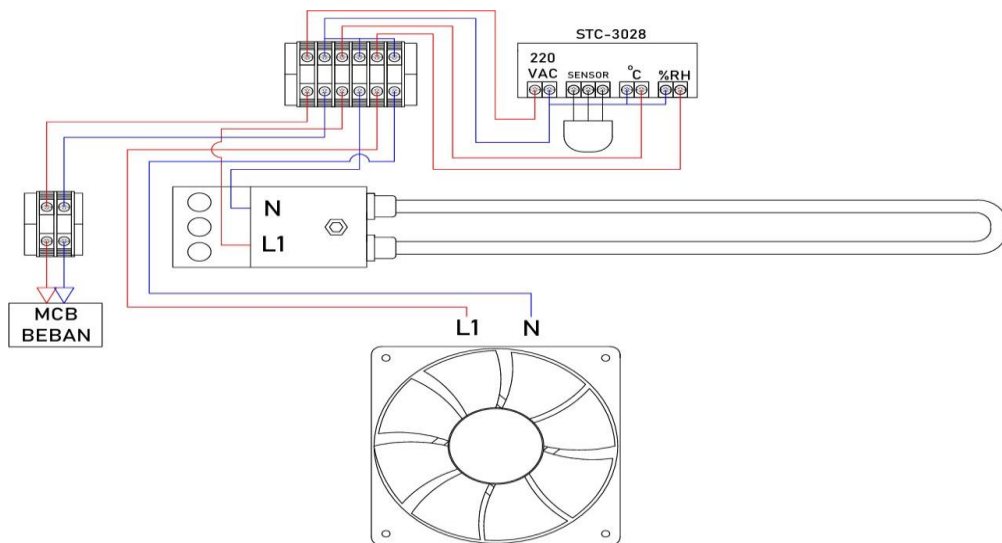
Gambar 3. 4 Wiring Diagram Panel



Gambar 3. 5 Wiring Diagram Baterai

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 6 Wiring Diagram Heater

Pada gambar 3.4 dan 3.5 Wiring diagram menunjukkan bagaimana alur wiring/pengkabelan komponen agar sistem berjalan sesuai perancangan. Wiring diagram terbagi menjadi 3, yaitu wiring diagram panel box PLTS hybrid, wiring diagram panel box baterai, dan wiring diagram box acrylic.

3.1.3 Spesifikasi Alat

Tabel 3.1 Berikut ini adalah spesifikasi alat yang telah dirancang pada sistem prototype PLTS Hybrid sebagai suplay heater untuk mengendalikan suhu dan kelembapan pada kubikel 20kV.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Alat

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
1	Panel Surya	1) Maximum Power (Pmax) : 160 W	1	Unit
		2) Maximum Power Current (Imp) : 8,8 A		
		3) Maximum Power Volatge (Vmp) : 18,24 V		
		4) Maximum Circuit Voltage (Voc) : 21,8 V		
		5) Short Circuit Current (Isc)		



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
		: 9,40 A		
		6) STC : 1000W/m ² , 25°C, AM1.5		
		7) Berat : 12 Kg		
		8) Dimensi : 1040 x 760 x 30 mm (P x L x T)		
2	Heater	1) Material Plat Stainless Steel 304 1.2mm 2) Material Pipa SS 304 diameter 8mm x Panjang U30cm 3) 60 Watt a) Model : ISL1000 b) Capacity: 1000VA/800Watt c) Operating Temperature d) Range : -10~50°C e) Protection Degree :IP21 f) Dimensi : 360 x 327 x 180 MM g) Berat : 10 Kg Inverter Mode : 1) DC Input : 12VDC , 83,3A 2) AC Output : 220VAC, 50/60HZ , 3,6A, 1 AC MODE 1) AC Charger : 13,5VDC 19A 2) AC Input : 220VAC, 50/60HZ , 4,5A ,1 3) AC Output : 220VAC, 50/60HZ , 3,6A,1 Solar MODE	1	Unit
3	Inverter Hybrid		1	Unit



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
4	Baterai	1) Solar Panel Power : 400W 2) Max Charging Current : 30A Solar Voltage Range (Vmp) : 15-50 VDC 4) Best Voltage Range (Vmp) : 15-20 VDC 5) Max Solar Voltage : 50 VDC 1) Nominal Voltage : 12V 2) Capacity : 60Ah 3) Max Charge Current : _A 4) Low Voltage Cut-OFF : _V 5) Max Continuous Discharge : _A 6) Recommended Charge Voltage : _V 7) Cell Type : LifePO4 8) Cycle Life : >3500 Cycles (80% DOD) 9) BMS Protection : Over / Under Voltage, Over Current, Short Circle Temperature 10) Dimensi : 15,5 x 10,2 x 15,3 cm (P x L x T) 11) Berat : 5,5 Kg 1) Tegangan : 110-220 V AC 10% 2) Frekuensi : 50/60 Hz	1	Unit



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
5	STC-3028	3) Rentang Temperatur: -20 C - +80 C 4) Rentang Kelembaban: 0% RH - 100% RH 5) Resolusi: 0.1 C 6) Akurasi: 1 C, 0.1% RH 7) Beban Maksimum: 10A / 240 V AC 8) Sensor: NTC 1 m 9) Material: Plastik ABS Fireproof 10) Berat Bersih: 120 gr 11) Dimensi: 75 x 85 x 35 mm	1	Unit
6	Cooling Fan	1) Dimensi : 120x120x38mm. 2) Voltase : 220-240VAC. 3) Arus : 0.14 Ampere. 4) Rpm 2500/menit. 5) Sleeve Bearing. 6) Rangka Besi. 7) Impedance Protected. 1) Standard IEC60947, IEC60898 2) Poles Number : 2 3) Rated current DC : 16A 4) Mounting 35mm din rail	1	Unit
7	MCB DC	5) Breaking Capacity : 6KA 6) Charcteristic Curve : C Type 7) Rated Voltage DC : 440V	2	Unit
8	MCB AC	1) Type : NXB-63	1	Unit



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
		2) Pole : 2 Pole 3) Kapasitas Pemutusan : 6000A 4) Tegangan Operasional: 200- 230V, 50-60Hz 5) Rating : 2A 1) Jumlah Pole : 2P 2) Kapasitas Pemutusan : 6000A 3) Rating : 6A 4) Tegangan Operasional: 200- 230V, 50-60Hz 5) Daya Tahan Listrik: Hingga 6000 operasi 6) Daya Tahan Mekanis: Hingga 20000 operasi 1) Dimensi : P x T x L : 50x 70 x 25 cm 2) Ketebalan Body: 1,1 mm, Pintu 1,3 mm 3) Cat power coating ral – 7035 4) Pintu panel di lapiasi full karet / foam polyutrethan gasket & talang air	1	Unit
9	Panel Box	5) Dimensi : T 40 cm, P 30 cm, L 20 cm 6) Material: SPHC 1,2mm Cat: Powder Coating RAL 7032 7) Kunci: Cam Lock 8) Engsel: Hitam 9) 5) Ketebalan plat 2mm		



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
10	Acrylic Box	1) Dimensi : P 50cm x L 30cm x T 70cm Ketebalan : 3mm	1	Unit
11	Roda Alat	1) Roda 2 inch PVC 2) 1 set : (2 Screw Hidup+2 Screw hidup Rem) 3) Beban Berat Max : 1) 120kg/set	4	Pcs
12	Kotak Kontak	1) Dimensi : P x L x T : 66 x 56 x 40 mm 2) Current : 10 - 16A 3) Voltage : Max 250VAC 4) Power : Max 2500 W 5) Jumlah Lubang : 1 Lubang 1) Tipe : AD16 22DS. 2) Diameter : 22mm.	2	Unit
13	Lampu Panel	3) Voltase : AC 220V. 4) Warna : Merah 1) Tipe : AD16 22DS. 2) Diameter : 22mm. 3) Voltase : AC 220V. 4) Warna : Biru 1) Tipe : AD22-22C. 2) Diameter : 22mm.	1	Unit
14	Kabel NYM	3) Voltase : DC 12V. 4) Warna : Kuning 1) Ukuran Kawat 2x1,5mm 2) KHA 18A 1) Ukuran Kawat 4 AWG KHA 70 - 95A	1 4 3	Unit Meter Meter



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
15	Kabel AWG	1) Ukuran Kawat 10 AWG 1) KHA 30 - 35A 1) Ukuran Kawat 18 AWG 1) KHA 10 - 15A 1) Ukuran Kawat 20 AWG 2) KHA 3 - 5A 1) 2 x 2,5mm ² 2) Rated Voltage: - DC 1500V (between conductors and between conductors and earth) - AC Uo/U: 1.0/1.0kV 3) Rated Current: 30 A 4) Insulation Material: XLPE (XLPO)	4 4 6	Meter Meter Meter
16	Kabel Solar Panel	5) Contact Material: 99.7% Copper, Tin plated 6) Character: UV Resistance, Halogen-free 7) Ambient Temperature: -40°C ~ +90°C 8) Flame Class: EN 50625/UL 1571 9) Color of Insulation: White 10) Color of Sheath: Black/Red	1	Meter



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

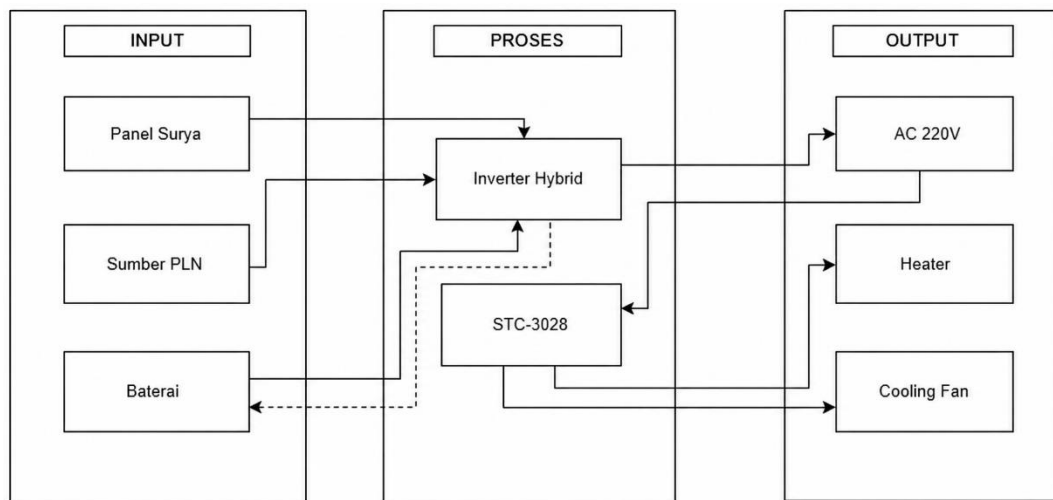
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
17	Din Rail	1) Jenis : 2 Fungsi 2) Lebar : 3.5 cm 3) Tebal Plat : 1 mm 4) Material : Aluminium	1	Meter
18	Terminal	1) Rail Type Terminal Block (Model Kasuga, warna Coklat) (Pemakaian di Rail 2 Fungsi) 2) Type : TR-10 - Terminal Block 3) Ampere : 10A	12	Pcs
19	Ducting Kabel	1) Tipe : Cable Duct PMD 2) Ukuran : 33 x 33mm 3) Warna : Abu-abu 4) Bahan : PVC 5) Model : Slotting / berlubang untuk jalur kabel	1,7	Meter
20	Kabel Conduit	1) Material Plastik Polyethylene (PE). 2) Warna Hitam Glossy 3) Ukuran Lebar Diameter Dalam 25mm 4) Ukuran Lebar Diameter Luar 32mm	3	Meter

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

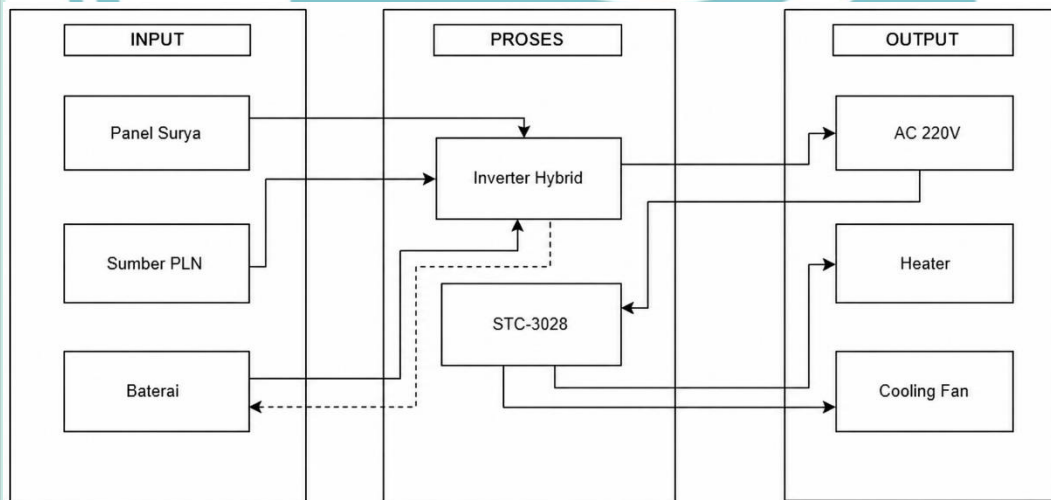
3.1.4 Diagram Blok



Gambar 3. 7 Diagram Blok sistem

Diagram blok pada gambar 3.7 menunjukkan bagaimana sistem bekerja sesuai alurnya, mulai dari input, proses dan terakhir adalah output.

3.2 Realisasi Alat



Gambar 3. 8 Diagram Blok Pengerjaan

Pada proses pembuatan alat terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan secara runtut, tidak boleh ada tahapan yang dilewati atau didahului. diperlihatkan pada gambar 3.8 bagaimana proses tahapan pembuatan alat dari awal mulai sampai dengan selesai.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3. 9 Visual Alat



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.2.1 Langkah Pengambilan Data

Langkah – Langkah Pengambilan Data Secara Manual

- Siapkan *multimeter* untuk mengukur tegangan DC, dan resistansi dalam PLTS, menyediakan data waktu nyata yang andal untuk memantau dan memecahkan masalah kinerja sistem.
- Siapkan *solar power meter* untuk mengukur kerapatan fluks radiasi gelombang pendek matahari (W/m^2) secara digital, sehingga memudahkan pengguna untuk mengetahui seberapa besar energi matahari yang diterima panel pada waktu tertentu. Penggunaan *solar powermeter digital* sangat penting untuk mengevaluasi performa panel surya, menentukan posisi dan sudut pemasangan yang optimal
- Siapkan *power meter* untuk mengukur parameter-parameter listrik penting seperti tegangan, arus, daya nyata (aktif), dan daya reaktif AC. Alat ini sangat penting dalam monitoring konsumsi energi listrik, membantu dalam pemantauan efisiensi energi, dan memastikan penggunaan daya listrik yang optimal.
- Siapkan *thermogun* untuk mengukur suhu pada panel surya

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Bab IV PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Efisiensi Panel Surya

4.1.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian sistem dan efisiensi daya pada sistem PLTS (*Photovoltaic*) ini dilakukan untuk mengetahui performa keluaran panel surya terhadap variasi pembebanan serta pengaruh sudut kemiringan panel terhadap intensitas cahaya yang diserap. Efisiensi panel surya (η) merupakan rasio antara daya listrik maksimal yang dihasilkan oleh panel (P_{out}) dibandingkan dengan total daya radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel (P_{in}). Pengukuran efisiensi ini krusial untuk menentukan sejauh mana sistem dapat mengonversi energi foton menjadi energi listrik secara optimal di bawah kondisi operasional tertentu.

Daya keluaran listrik (P_{out}) dihitung berdasarkan tegangan dan arus yang dihasilkan menggunakan rumus berikut:

$$P_{out} = V \times I \quad (4.1)$$

Dimana:

- a. P_{out} = Daya keluaran panel surya (Watt)
- b. V = Tegangan operasional (Volt)
- c. I = Arus operasional (Ampere)

Sementara itu, daya masukan dari radiasi matahari (P_{in}) dihitung menggunakan rumus :

$$P_{in} = G \times A \quad (4.2)$$

Dimana:

- a. P_{in} = Daya masukan radiasi matahari (Watt)
- b. G = Intensitas iradiasi matahari (W/m^2)
- c. A = Luas permukaan panel surya (m^2)



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Dengan demikian, nilai efisiensi daya *photovoltaic* secara keseluruhan dapat ditentukan dengan rumus:

$$\eta = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\% \quad (4.3)$$

(4.3)

$$\eta = \left(\frac{V \times I}{G \times A} \right) \times 100\%$$

4.1.2 Prosedur Pengujian

1. Siapkan komponen sistem PV (panel surya, *solar charge controller*, baterai/inverter) dan hubungkan dengan alat ukur.
2. Hubungkan beban, yaitu 1 buah heater ke sistem, Cooling Fan, dan Sensor STC -3028
3. Ukur dan catat nilai tegangan (V), arus (I), serta intensitas matahari (G) yang terukur pada interval waktu yang ditentukan.
4. Hitung nilai efisiensi daya untuk setiap variasi beban menggunakan rumus yang telah ditentukan.

4.1.3 Data Hasil Pengujian

Tabel 4. 1 Pengujian Panel Surya

No	Waktu (Jam)	Tegangan ber beban (V)	Arus ber beban (A)	I Radiant (W/m^2)
1	11.00	14.3	7.12	973.5
2	11.15	14.5	7.14	954.6
3	11.30	14	5.98	770.6
4	11.45	14.6	7.68	913.3
5	12.00	14.5	7.47	916.7
6	12.15	14.5	7.06	888.6
7	12.30	14.2	6.70	824.8
8	12.45	14.3	5.69	718.6
9	13.00	13.9	2.22	205.6
10	13.15	14.1	4.48	540.5

$A = 0.7904 \text{ m}^2$ (Luas permukaan panel surya) (m^2)

Pengujian panel surya dilakukan pada pukul 11.00–13.15 WIB dengan interval pengambilan data setiap 15 menit. Parameter yang diukur meliputi tegangan berbeban, arus berbeban, dan intensitas iradiasi matahari menggunakan multimeter,



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

tang ampere, dan solar power meter. Data hasil pengukuran selanjutnya dicatat dan disajikan pada tabel 4.1 sebagai dasar untuk proses analisis pada tahap berikutnya.

4.1.4 Analisis Data

Berdasarkan tabel 4.1 hasil pengujian yang telah dilakukan pada rentang waktu 11.00–13.15 WIB, diperoleh nilai efisiensi panel surya yang bervariasi antara 13,24% hingga 19,00% dengan nilai efisiensi rata-rata sebesar 14,85%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa panel surya mampu mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik dengan performa yang cukup baik dan masih berada dalam rentang efisiensi panel surya komersial yang umumnya berkisar antara 15% hingga 22%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa besarnya arus keluaran panel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang diterima permukaan panel. Pada saat intensitas radiasi tinggi, panel surya mampu menghasilkan arus yang lebih besar sehingga daya keluaran meningkat. Sebaliknya, ketika intensitas radiasi menurun, arus yang dihasilkan juga mengalami penurunan. Efisiensi tertinggi diperoleh pada pukul 13.00 WIB sebesar 19,00% dengan tegangan 13,9 V, arus 2,22 A, dan intensitas radiasi 205,6 W/m². Sementara itu, efisiensi terendah terjadi pada pukul 11.00 WIB sebesar 13,24%. Perbedaan nilai efisiensi ini dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan selama pengujian, seperti variasi intensitas radiasi matahari, suhu permukaan panel, serta kondisi cuaca. Secara keseluruhan, nilai efisiensi rata-rata sebesar 14,85% menunjukkan bahwa panel surya mampu bekerja dengan baik sebagai sumber energi utama dalam sistem PLTS hybrid. Energi listrik yang dihasilkan panel surya dapat dimanfaatkan untuk menyuplai beban heater serta membantu proses pengisian baterai, sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber listrik PLN. Dengan demikian, panel surya memiliki kontribusi yang cukup signifikan dalam mendukung operasi sistem PLTS hybrid untuk kebutuhan daya heater pada pengendalian suhu dan kelembapan kubikel 20 kV.

4.2 Pengujian Baterai

4.2.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian baterai charging (pengisian) dan discharging (pengosongan) bertujuan untuk menganalisis karakteristik penyimpanan energi, kapasitas riil, serta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

efisiensi siklus pengisian dan penggunaan daya pada baterai di dalam sistem PLTS. Pengujian charging dilakukan untuk mengukur seberapa efektif energi dari panel surya melalui Solar Charger Controller (SCC) dapat disimpan ke dalam baterai, serta waktu yang dibutuhkan hingga mencapai kapasitas penuh (State of Charge/SoC 100%). Sebaliknya, pengujian discharging dilakukan untuk mengetahui ketahanan baterai saat menyuplai daya ke Beban melalui Inverter hingga menyentuh batas aman pengosongan daya (Depth of Discharge/DoD). Pengawasan parameter elektrik seperti perubahan tegangan (V), arus (I), dan estimasi kapasitas baterai (Ah)

4.2.2 Prosedur Pengujian

Pelaksanaan pengujian *charging* dan *discharging* dilakukan melalui tahapan-tahapan terstruktur sebagai berikut:

A. Prosedur Pengujian *Charging* (Pengisian Daya)

1. Persiapan Sistem:
 - 1) Memastikan kondisi baterai berada pada level tegangan rendah atau sesuai batas minimum pengosongan yang diizinkan
 - 2) Memeriksa fungsionalitas yang dipasang di antara beban dan kutub baterai untuk membaca arus serta tegangan pengisian.
2. Perekaman Data Berkala:

Mencatat data tegangan pengisian (V_c), arus pengisian (I_c), dan akumulasi daya masuk secara berkala setiap 15 Menit
3. Terminasi Pengujian *Charging*:

Menghentikan pengujian apabila tegangan baterai telah konstan dan arus pengisian mendekati nol, atau indikator pada sistem telah menunjukkan kapasitas penuh (100%)

B. Prosedur Pengujian *Discharging* (Pengosongan Daya)

1. Kondisikan Awal:
 - 1) Memastikan pengujian dimulai saat baterai telah terisi penuh (*fully charged*).
 - 2) Memutus jalur pengisian daya dari sumber listrik PLN ke baterai agar pengujian tidak terdistraksi oleh pasokan daya luar.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Pemberian Beban dan Monitoring:

- 1) Menghubungkan baterai ke *Inverter*, kemudian menyalakan *Beban AC* dengan daya nominal yang konstan

3. Logging Data Periodik:

- 1) Melakukan perekaman data penurunan tegangan dan arus keluaran baterai pada *Firestore* dengan interval waktu yang ditentukan (per 15 menit).

4. Terminasi Pengujian *Discharging*:

Menghentikan pengujian segera setelah tegangan baterai menyentuh batas bawah tegangan aman (*Low Voltage Cut-Off*) guna mencegah kerusakan sel baterai (*over-discharge*).

C. Analisis Efisiensi Siklus (*Round-trip Efficiency*)

1. Mengalkulasi rata-rata total energi pengisian (E_{in}) dan energi pengosongan (E_{out}) dalam satuan Watt-hour (Wh) menggunakan integrasi data arus dan tegangan terhadap waktu [3], [4]:

$$E = \sum(V \times I \times \Delta t)$$

2. Menghitung nilai efisiensi baterai (η_b) dengan membandingkan energi yang berhasil dilepaskan terhadap energi yang dimasukkan melalui rumus [3], [4] :

$$\eta_b = \left(\frac{E_{out}}{E_{in}} \right) \times 100\% \quad (4.4)$$

4.2.3 Data Hasil Pengujian

Tabel 4. 2 Pengosongan Baterai

No	Waktu (Menit)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	SOC (%)
1	1	12.9	7.11	91.72	100
2	15	13	7.18	93.34	90
3	30	13	7.1	92.30	80
4	45	12.9	7.13	91.98	75
5	60	12.9	7.18	92.62	75
6	75	12.8	7.15	91.52	75



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7	90	12.8	7.32	93.70	75
---	----	------	------	-------	----

Tabel 4. 3 Pengisian Baterai

No	Waktu (Menit)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	SOC (%)
1	1	12,6	7,02	88,41	75
2	15	12,6	7,01	88,29	75
3	30	12,7	6,61	83,92	75
4	45	12,8	6,39	81,75	80
5	60	12,8	6,32	80,88	85
6	75	12,9	6,04	77,88	95
7	90	13,0	5,95	77,31	100

Pada tabel 4.2 pengujian pengosongan baterai dilakukan selama 90 menit dengan interval pengambilan data setiap 15 menit. Parameter yang diukur meliputi tegangan baterai, arus, daya, dan *State of Charge* (SOC). Selama proses pengujian, baterai digunakan sebagai sumber daya untuk menyuplai beban hingga mencapai batas SOC yang telah ditentukan. Seluruh hasil pengukuran dicatat dan disajikan pada tabel sebagai data untuk analisis kinerja baterai selama proses pengosongan. Pada tabel 4.3 pengujian pengisian baterai dilakukan selama 90 menit dengan interval pengambilan data setiap 15 menit. Parameter yang diukur meliputi tegangan baterai, arus, daya, dan *State of Charge* (SOC). Selama proses pengujian, baterai diisi hingga mencapai kondisi penuh (*full charge*). Seluruh data hasil pengukuran dicatat dan disajikan pada tabel sebagai dasar untuk menganalisis kinerja baterai selama proses pengisian.

4.2.4 Analisis Data

Berdasarkan hasil tabel 4.2 serta tabel 4.3 pengujian yang telah dilakukan selama proses pengosongan dan pengisian baterai, diperoleh daya pengosongan baterai yang bervariasi antara 91,52 W hingga 93,70 W dengan nilai daya rata-rata sebesar 92,45 W. Sementara itu, pada proses pengisian baterai diperoleh daya yang bervariasi antara 77,31 W hingga 88,41 W dengan nilai daya rata-rata sebesar 82,63 W. Hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai mampu menyuplai daya secara relatif stabil pada saat digunakan untuk melayani beban heater, yang ditunjukkan oleh fluktuasi daya yang tidak terlalu signifikan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

selama periode pengujian. Pada kondisi pengosongan, nilai SOC baterai mengalami penurunan dari 100% menjadi 75% dalam waktu 90 menit, sedangkan pada kondisi pengisian nilai SOC meningkat dari 75% menjadi 100% pada rentang waktu yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa baterai mampu menjalankan fungsinya sebagai media penyimpanan energi dalam sistem PLTS hybrid dengan baik. Selama proses pengosongan, tegangan baterai berada pada rentang 12,8 V hingga 13 V dengan arus keluaran antara 7,10 A hingga 7,32 A. Nilai daya tertinggi terjadi pada menit ke-90 sebesar 93,70 W dengan tegangan 12,8 V dan arus 7,32 A sedangkan daya terendah terjadi pada menit ke-75 sebesar 91,52 W dengan tegangan 12,8 V dan arus 7,15 A. Pada proses pengisian, tegangan baterai meningkat secara bertahap dari 12,6 V menjadi 13 V, sedangkan arus pengisian mengalami penurunan dari 7,02 A menjadi 5,95 A. Kondisi ini merupakan karakteristik normal proses pengisian baterai, di mana arus pengisian akan berkurang seiring meningkatnya kapasitas baterai yang tersimpan. Berdasarkan perhitungan energi menggunakan metode $E = \sum(P \times \Delta t)$, diperoleh energi pengosongan baterai sebesar 161,80 Wh, sedangkan energi pengisian baterai sebesar 144,61 Wh. Perbedaan nilai energi tersebut dapat dipengaruhi oleh ketidakpastian pengukuran, fluktuasi tegangan dan arus selama pengujian, serta keterbatasan akurasi pembacaan SOC pada inverter hybrid. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai mampu bekerja dengan baik sebagai sistem penyimpanan energi pada PLTS hybrid. Energi yang tersimpan di dalam baterai dapat dimanfaatkan untuk menyuplai beban heater ketika daya yang dihasilkan panel surya tidak mencukupi, sehingga kontinuitas operasi sistem pengendalian suhu dan kelembapan pada kubikel 20 kV tetap dapat terjaga. Dengan demikian, baterai memiliki kontribusi yang penting dalam mendukung keandalan sistem PLTS hybrid sebagai sumber energi alternatif untuk kebutuhan daya heater.

4.3 Pengujian transfer Daya

4.3.1 Deskripsi Pengujian

Pengujian transfer daya otomatis dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem PLTS Hybrid dalam mengelola dan mengalihkan sumber energi secara



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

otomatis pada beban heater. Sistem yang digunakan terdiri dari panel surya, baterai, inverter hybrid, sumber listrik PLN, dan heater sebagai beban utama. Pengujian dilakukan dengan beberapa skenario kombinasi sumber energi untuk mengamati respons sistem terhadap perubahan kondisi operasi. Parameter yang diamati pada pengujian ini meliputi status sumber energi yang aktif, kondisi operasi heater, waktu transfer sumber energi, dan aliran daya yang terjadi pada sistem. Waktu transfer diukur sejak terjadinya perubahan kondisi sumber energi hingga sistem kembali stabil dan heater tetap beroperasi normal. Pengujian dilakukan pada enam kondisi operasi yang berbeda, yaitu kondisi ketika sistem memperoleh energi dari panel surya, baterai, PLN, maupun kombinasi dari ketiga sumber energi tersebut. Melalui pengujian ini dapat diketahui kemampuan inverter hybrid dalam menjaga kontinuitas suplai daya pada beban heater serta efektivitas baterai sebagai sumber energi cadangan.

4.3.2 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memastikan seluruh komponen sistem PLTS Hybrid terhubung dengan baik sesuai diagram perancangan.
2. Menghidupkan inverter hybrid dan memastikan sistem berada pada kondisi operasi normal.
3. Menghubungkan heater sebagai beban pengujian.
4. Melakukan pengujian pada kondisi panel surya aktif, baterai aktif, dan sumber PLN tidak aktif, kemudian mencatat kondisi operasi heater dan waktu transfer yang terjadi.
5. Melakukan pengujian pada kondisi panel surya aktif, baterai aktif, dan sumber PLN aktif, kemudian mencatat kondisi operasi heater dan waktu transfer yang terjadi.
6. Melakukan pengujian pada kondisi panel surya tidak aktif, baterai aktif, dan sumber PLN aktif, kemudian mencatat kondisi operasi heater dan waktu transfer yang terjadi.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

7. Melakukan pengujian pada kondisi panel surya tidak aktif, baterai aktif, dan sumber PLN tidak aktif, kemudian mencatat kondisi operasi heater dan waktu transfer yang terjadi.
8. Melakukan pengujian pada kondisi panel surya aktif, baterai tidak digunakan, dan sumber PLN tidak aktif, kemudian mencatat kondisi operasi heater dan waktu transfer yang terjadi.
9. Melakukan pengujian pada kondisi panel surya tidak aktif, baterai tidak digunakan, dan sumber PLN aktif, kemudian mencatat kondisi operasi heater dan waktu transfer yang terjadi.
10. Mengulangi pengujian pada setiap kondisi untuk memastikan hasil yang diperoleh konsisten.
11. Mencatat seluruh hasil pengujian ke dalam tabel pengamatan untuk dianalisis lebih lanjut.

4.3.3 Data Hasil Pengujian

Tabel 4. 4 Transfer Daya

N0	Baterai	Panel Surya	Sumber PLN	Beban (Heater)	Waktu Transfer (Detik)	Deskripsi
1	ON	ON	OFF	ON	1	Panel Surya mengeluarkan tegangan DC, Kemudian inverter mengisi baterai dan mengubah tegangan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

N0	Baterai	Panel Surya	Sumber PLN	Beban (Heater)	Waktu Transfer (Detik)	Deskripsi
2	ON	ON	ON	ON	1	menjadi ac untuk heater Heater menyala dengan sumber PLN. Kemudian panel surya bersamaan dengan sumber PLN menuju ke inverter untuk mengisi baterai
3	ON	OFF	ON	ON	1	Sumber PLN menghidupkan heater sekaligus menuju inverter untuk mengisi baterai
4	ON	OFF	OFF	ON	1	Baterai memback up panel surya dan juga sumber PLN untuk menyalakan heater
5	OFF	ON	OFF	ON	1	Panel Surya mengeluarkan tegangan DC, Kemudian inverter mengisi baterai dan mengubah tegangan menjadi ac untuk heater
6	OFF	OFF	ON	ON	1	Sumber PLN menghidupkan heater sekaligus menuju inverter untuk mengisi baterai



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada tabel 4.4 pengujian perpindahan sumber energi dilakukan untuk mengetahui kemampuan inverter hybrid dalam melakukan perpindahan suplai daya secara otomatis pada berbagai kondisi operasi sistem. Pengujian dilakukan dengan mengombinasikan kondisi panel surya, baterai, dan sumber PLN, kemudian mengamati waktu perpindahan sumber energi serta kondisi operasi heater sebagai beban. Setiap skenario pengujian dicatat berdasarkan status ON dan OFF dari masing-masing sumber energi. Selain itu, waktu transfer diukur untuk mengetahui respons inverter hybrid saat terjadi perpindahan sumber daya. Hasil pengujian disajikan pada tabel sebagai dasar untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menjaga kontinuitas penyaluran daya ke beban.

4.3.4 Analisis Data

Pada Tabel 4.4 dilakukan pengujian transfer daya otomatis dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem PLTS hybrid dalam mempertahankan kontinuitas suplai energi pada beban heater ketika terjadi perubahan kondisi sumber energi. Pengujian dilakukan dengan beberapa kombinasi sumber energi yang terdiri dari panel surya, baterai, dan sumber listrik PLN. Parameter yang diamati meliputi status operasi setiap sumber energi, kondisi beban heater, waktu transfer, serta mekanisme aliran daya yang terjadi pada sistem. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh skenario menunjukkan bahwa heater tetap berada dalam kondisi menyala (ON) dengan waktu transfer rata-rata sebesar 1 detik. Hal ini menunjukkan bahwa inverter hybrid mampu melakukan pengelolaan sumber energi secara otomatis tanpa menyebabkan gangguan yang signifikan terhadap operasi beban. Pada kondisi pertama, saat panel surya dan baterai aktif sementara sumber PLN tidak tersedia, energi yang dihasilkan panel surya digunakan untuk mengisi baterai sekaligus menyuplai beban heater melalui inverter. Kondisi ini menunjukkan bahwa panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama pada sistem PLTS hybrid.

Pada kondisi kedua, ketika panel surya, baterai, dan sumber PLN tersedia secara bersamaan, heater memperoleh suplai energi dari sumber PLN, sedangkan energi yang berasal dari panel surya dan PLN dimanfaatkan oleh inverter untuk proses pengisian baterai. Kondisi ini menunjukkan kemampuan inverter hybrid dalam



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mengelola lebih dari satu sumber energi secara simultan. Pada kondisi ketiga, saat panel surya tidak menghasilkan energi dan sumber PLN tersedia, heater tetap beroperasi menggunakan suplai energi dari PLN. Selain menyuplai beban, sumber PLN juga digunakan untuk mengisi baterai sehingga kapasitas energi cadangan tetap terjaga. Pada kondisi keempat, ketika panel surya dan PLN tidak tersedia, baterai berfungsi sebagai sumber energi cadangan yang menyuplai kebutuhan daya heater. Pada kondisi ini terjadi proses pengosongan baterai yang ditandai dengan penurunan nilai State of Charge (SOC). Hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai mampu mempertahankan operasi heater tanpa adanya gangguan selama periode pengujian. Pada kondisi kelima, panel surya tersedia sementara baterai tidak digunakan dan sumber PLN tidak tersedia. Energi yang dihasilkan panel surya dikonversi oleh inverter untuk menyuplai heater sekaligus mengisi baterai. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem masih mampu beroperasi hanya dengan memanfaatkan energi matahari sebagai sumber utama. Pada kondisi keenam, saat hanya sumber PLN yang tersedia, heater tetap dapat beroperasi dengan normal. Selain itu, sumber PLN juga digunakan untuk mengisi baterai sehingga sistem memiliki cadangan energi apabila terjadi gangguan pada jaringan listrik. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS hybrid mampu melakukan pengelolaan sumber energi secara otomatis dengan baik. Waktu transfer yang relatif singkat, yaitu sekitar 1 detik, menunjukkan bahwa perpindahan sumber energi tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap kontinuitas operasi heater. Selain itu, keberadaan baterai sebagai penyimpan energi memungkinkan sistem tetap beroperasi ketika panel surya maupun sumber PLN tidak tersedia.

4.4 Pengujian Ketahanan Sistem

4.4.1 Deskripsi Pengujian

Setelah seluruh pengujian sebelumnya menunjukkan hasil yang sesuai, dilakukan pengujian ketahanan sistem (*endurance test*) selama 12 jam. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem PLTS hybrid dalam mempertahankan operasi heater dan cooling fan sesuai dengan *set point* yang telah ditetapkan, sehingga suhu dan kelembapan pada kubikel tetap berada dalam batas yang diinginkan selama periode pengujian. Hasil pengujian akan menunjukkan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

apakah sistem mampu beroperasi secara andal selama 12 jam atau mengalami kegagalan dalam mempertahankan kondisi tersebut.

4.4.2 Prosedur Pengujian

Pada pengujian ini digunakan beberapa alat ukur, yaitu Multimeter, Tang Ampere, dan Solar Power Meter untuk mengukur parameter sistem selama pengujian berlangsung. Multimeter digunakan untuk mengukur tegangan, Tang Ampere digunakan untuk mengukur arus, sedangkan Solar Power Meter digunakan untuk mengukur intensitas iradiasi matahari yang diterima panel surya. Data hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menganalisis kinerja sistem selama pengujian ketahanan 12 jam.

4.4.3 Data Hasil Pengujian

Waktu	Panel Surya			Baterai			PLN			Output			Irad (W/m ²)	Kondisi Heater	Kondisi Cooling Fan	Sumber Energi (PLTS/Baterai/PLN)
	V	A	W	V	A	W	V	A	W	V	A	W				
08:00	13.2	3.23	42.6	13	4.68	60.8	228.8	0	0	220.2	0.22	48.4	390.6	Nyala	Nyala	PLTS
08:30	13	3.6	46.8	13	4.6	59.8	229.1	0	0	220.5	0.21	46.3	405	Nyala	Nyala	PLTS
09:00	14.1	4.82	67.9	13.4	4.03	54.1	229.9	0	0	221.7	0	0	541.5	Mati	Mati	PLTS
09:30	15.1	4.88	73.7	13.5	4.04	54.5	230.6	0	0	221.6	0	0	609	Mati	Mati	PLTS
10:00	16	4.82	77.1	13.5	2.85	38.5	230.5	0	0	221.3	0.13	28.8	710.5	Mati	Nyala	PLTS
10:30	15.4	3.23	49.7	13.5	2.18	29.4	230	0	0	220.2	0.02	4.4	563	Mati	Mati	PLTS
11:00	16.4	5.48	89.9	13.5	3.34	45.1	230.1	0	0	220.2	0.1	22	881.7	Mati	Nyala	PLTS
11:30	15.5	5.01	77.7	13.6	2.83	38.5	228.7	0	0	219.9	0.13	28.6	850.3	Mati	Nyala	PLTS
12:00	16.5	4.71	77.7	13.5	2.52	34.1	229.1	0	0	219.9	0.15	33.1	915.3	Mati	Nyala	PLTS
12:30	15.9	4.25	67.6	13.5	2.33	31.5	229.4	0	0	220.1	0.11	24.2	810.6	Mati	Nyala	PLTS
13:00	13.2	1.32	17.4	13.3	1.44	19.2	226.8	0	0	219.5	0.14	30.7	151.3	Mati	Nyala	PLTS dan Baterai
13:30	15.7	5.05	79.3	13.5	2.98	40.2	228.4	0	0	219.7	0.13	28.6	785.5	Mati	Nyala	PLTS
14:00	13.3	1.53	20.4	13.3	1.36	18.1	225.8	0	0	219.4	0.1	21.9	170.4	Mati	Nyala	PLTS dan Baterai
14:30	13.9	3.03	42.1	13.5	0.81	10.9	225.8	0	0	219.7	0.14	30.8	647.5	Mati	Nyala	PLTS
15:00	13.3	2.05	27.3	13.3	1.11	14.8	225.5	0	0	219.5	0.1	22.1	193	Mati	Nyala	PLTS dan Baterai
15:30	13.3	2.19	29.1	13.3	1.01	13.4	227.4	0	0	219.4	0.1	21.9	285.2	Mati	Nyala	PLTS dan Baterai
16:00	12.9	1.34	17.3	13.3	1.9	25.3	231.2	0	0	219.2	0.13	28.5	114.4	Mati	Nyala	PLTS dan Baterai
16:30	12.7	1.03	13.1	13.2	2.19	28.9	231.5	0	0	219.1	0.1	21.9	60.3	Mati	Nyala	PLTS dan Baterai
17:00	12.6	0.83	10.5	12.9	6.94	89.5	232.6	0	0	218.2	0.35	76.4	33.5	Nyala	Nyala	Baterai
17:30	10.4	0.51	5.3	13.3	6.44	85.7	228.4	0	0	218.7	0.35	76.5	17.4	Nyala	Nyala	Baterai
18:00	10.2	0.52	5.3	13	5.59	72.7	228.8	0	0	218	0.23	50.1	1.1	Nyala	Mati	Baterai
18:30	10.2	0.52	5.3	13	5.73	74.5	227	0	0	217.9	0.25	54.5	0.4	Nyala	Mati	Baterai
19:00	10	0.51	5.1	13	5.76	74.9	228.8	0	0	218.2	0.24	52.4	0.3	Nyala	Mati	Baterai
19:30	10.1	0.52	5.3	13	5.74	74.6	228.4	0	0	218.1	0.28	61.1	0.4	Nyala	Mati	Baterai
20:00	10	0.52	5.2	13.3	7.44	98.9	229.1	0	0	219.2	0.33	72.3	0.4	Nyala	Nyala	Baterai

Gambar 4. 1 Pengujian Ketahanan Sistem

Pada Gambar 4.1 pengujian ketahanan sistem dilakukan selama 12 jam, mulai pukul 08.00 hingga 20.00 WIB dengan interval pengambilan data setiap 30 menit. Pada pengujian ini dilakukan pengukuran terhadap tegangan, arus, dan daya panel surya, baterai, sumber PLN, serta keluaran sistem menggunakan multimeter dan tang ampere. Selain itu, intensitas iradiasi matahari diukur menggunakan *solar power meter*. Kondisi operasi heater dan *cooling fan* juga diamati untuk mengetahui respons beban terhadap perubahan suhu dan kelembapan yang dikendalikan oleh STC-3028. Seluruh hasil pengukuran beserta sumber energi yang digunakan selama pengujian dicatat dan disajikan pada tabel sebagai dasar untuk mengevaluasi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

keandalan sistem PLTS hybrid dalam menjaga kontinuitas penyaluran daya selama periode pengujian.

4.4.4 Analisis Data

Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.1 ketahanan sistem selama 12 jam, sistem PLTS hybrid mampu beroperasi secara stabil dalam menyuplai kebutuhan daya heater dan cooling fan tanpa mengalami gangguan maupun terputusnya suplai daya. Hal ini menunjukkan bahwa sistem telah bekerja sesuai dengan rancangan. Selama intensitas iradiasi matahari tinggi, panel surya berfungsi sebagai sumber energi utama untuk menyuplai beban sekaligus mengisi baterai. Daya keluaran panel surya mengikuti perubahan intensitas radiasi matahari, sehingga ketika iradiasi meningkat proses pengisian baterai berlangsung lebih optimal. Sebaliknya, menjelang sore hingga matahari terbenam, daya keluaran panel surya menurun seiring berkurangnya intensitas cahaya matahari. Pada kondisi tersebut, inverter hybrid secara otomatis mengalihkan sumber energi ke baterai untuk mempertahankan kontinuitas suplai daya.

Tegangan baterai tetap berada pada rentang operasi yang aman sehingga mampu mendukung kebutuhan beban selama energi dari panel surya tidak mencukupi. Apabila energi dari panel surya dan baterai tidak lagi mampu memenuhi kebutuhan beban, inverter hybrid secara otomatis mengalihkan sumber daya ke jaringan PLN sebagai sumber cadangan. Mekanisme ini memastikan kontinuitas penyaluran energi sehingga beban tetap beroperasi tanpa mengalami gangguan. Selama pengujian berlangsung, heater dan cooling fan memberikan respons yang sesuai terhadap kondisi suhu dan kelembapan yang dideteksi oleh STC-3028. Heater aktif ketika suhu berada di bawah nilai *set point*, sedangkan cooling fan bekerja ketika kelembapan melebihi nilai *set point*. Setelah kondisi kembali berada pada batas yang telah ditentukan, kedua beban akan berhenti bekerja secara otomatis.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS hybrid memiliki tingkat keandalan yang baik dalam mempertahankan kontinuitas suplai daya serta menjaga kondisi suhu dan kelembapan sesuai nilai *set point*. Kemampuan inverter hybrid dalam mengintegrasikan panel surya, baterai, dan

jaringan PLN memungkinkan sistem menyediakan energi secara berkelanjutan sesuai dengan kebutuhan beban.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

