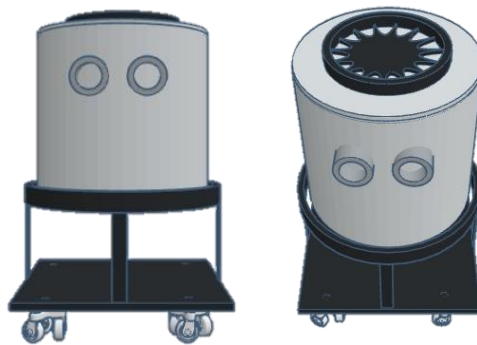


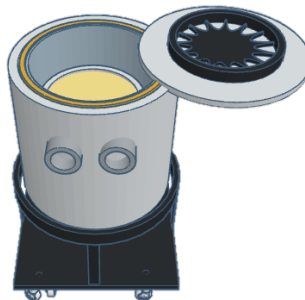
BAB III
PERANCANGAN TUGAS AKHIR
“KONVERSI DAN TRANSFER ENERGI TERMAL DARI PANEL SURYA
KE BATERAI PASIR SEBAGAI MEDIA PENYIMPANAN PANAS UNTUK
SISTEM PEMANAS UDARA”

3.1 Perancangan Hardware

3.1.1 Desain 3D Alat



Gambar 3. 2 Desain 3D Baterai Pasir Tampak Depan dan Sudut Atas



Gambar 3. 1 Desain 3D Baterai Pasir Dengan Tutup Terbuka

Ketiga gambar yang ditampilkan merupakan visualisasi desain 3D dari alat pemanas pasir bertenaga surya, yang dirancang untuk menyimpan dan menyalurkan energi panas melalui media pasir silika. Gambar pertama menampilkan tampak depan alat, dengan bentuk utama berupa tabung silinder vertikal yang menjadi tempat penyimpanan pasir dan lokasi pemanasan berlangsung. Tabung ini dipasang secara tegak lurus pada rangka datar berbentuk persegi yang kokoh dan dilengkapi dengan empat buah roda caster di bagian bawah. Keberadaan roda ini menjadikan

alat bersifat portabel, memudahkan pengguna untuk menggeser alat ke lokasi yang diinginkan tanpa perlu pengangkatan manual.

Pada bagian depan silinder terdapat dua buah corong (lubang melingkar) yang menyembul dari sisi tabung. Corong ini bukan sekadar elemen estetika, melainkan berfungsi sebagai saluran keluarnya udara panas. Udara tersebut sebelumnya dialirkan dari atas, melewati pasir panas di dalam tabung, lalu keluar melalui dua corong ini dalam bentuk udara bersuhu tinggi. Dengan demikian, corong ini merupakan komponen akhir dalam sistem aliran panas, yang memungkinkan udara hangat dipindahkan ke ruangan atau aplikasi tertentu. Di bagian atas tabung, tampak komponen berbentuk seperti kisi-kisi kipas yang sebenarnya adalah kipas angin (blower) yang dipasang menghadap ke bawah. Fungsinya adalah untuk menarik udara dingin dari atas ke dalam tabung, sehingga udara akan melewati lapisan pasir panas, menyerap panas melalui konveksi, lalu keluar sebagai udara hangat dari dua corong tersebut.

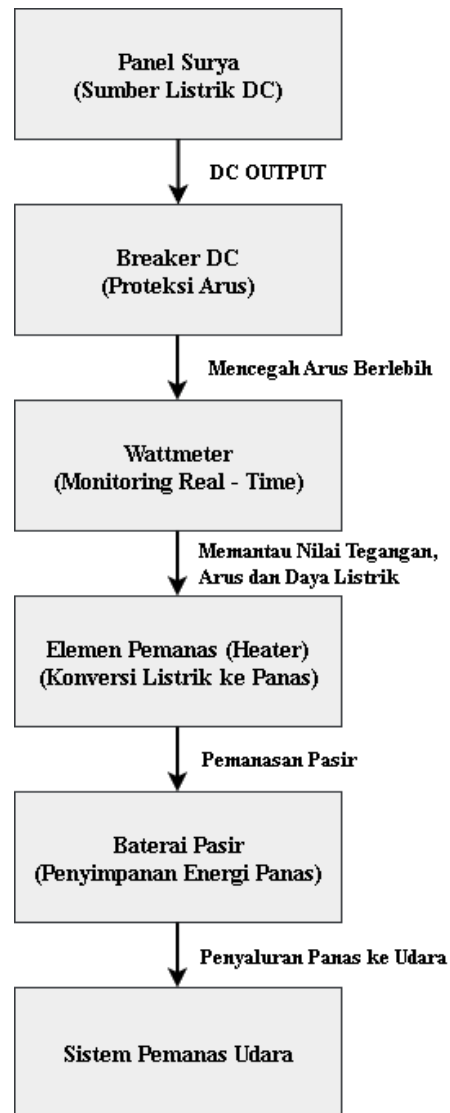
Gambar kedua memberikan sudut pandang dari atas secara menyeluruh, memperjelas keseluruhan bentuk dan susunan komponen dari alat ini. Dari tampilan ini, terlihat dengan jelas bahwa bentuk tabung benar-benar simetris, menunjukkan bahwa desainnya tidak hanya fungsional, tetapi juga mempertimbangkan distribusi beban dan kestabilan. Rangka dasar berbentuk persegi memperlihatkan proporsi penopang yang luas, cukup untuk menjaga alat tetap stabil saat beroperasi maupun saat dipindahkan. Keempat roda caster ditempatkan tepat di tiap sudut rangka, memastikan bahwa pusat massa alat terdistribusi secara merata. Dari sudut ini juga tampak bahwa dua corong udara panas berada pada posisi horizontal dan sejajar, memperkuat arah keluaran udara ke depan. Kisi radial di atas tabung, tempat kipas terpasang, juga terlihat jelas dari perspektif ini, menandakan bahwa aliran udara memang diarahkan dari atas ke bawah — sejalan dengan arah konveksi alami serta efisiensi aliran termal.

Sementara itu, gambar ketiga menunjukkan kondisi alat saat penutup bagian atas dalam keadaan terbuka, memperlihatkan bagian interior tabung. Tampak jelas bahwa bagian dalam tabung berisi pasir silika, yang berwarna kekuningan, sebagai media penyimpan energi panas. Pasir ini akan menyerap panas dari elemen pemanas listrik yang tertanam di dalamnya, dan kemudian melepaskan

panas tersebut ke udara yang dialirkan melewati permukaannya. Bagian dinding dalam tabung terlihat dilapisi oleh material insulasi termal, yang berfungsi untuk mengurangi kehilangan panas ke lingkungan dan menjaga efisiensi sistem. Penutup yang dapat dibuka ini juga menunjukkan bahwa alat dirancang dengan kemudahan perawatan, memungkinkan pengguna untuk mengisi ulang pasir, memeriksa elemen pemanas, atau mengganti komponen internal jika diperlukan.

Secara keseluruhan, desain ini menunjukkan integrasi antara fungsi penyimpanan panas, pengaliran udara panas, sistem kontrol termal, dan mobilitas fisik. Alat ini mengandalkan energi dari panel surya, diubah menjadi panas oleh heater, disimpan dalam pasir, dan disalurkan ke udara melalui bantuan kipas. Dengan desain sederhana namun cerdas, sistem ini sangat ideal untuk aplikasi pemanas ruangan, simulasi termal, atau pengeringan ramah lingkungan tanpa memerlukan energi listrik dari jaringan PLN.

3.1.2 Diagram Blok



Gambar 3. 3 Diagram Blok

Diagram blok di atas menggambarkan alur kerja sistem pemanas udara berbasis energi surya dengan media penyimpan panas berupa baterai pasir. Proses dimulai dari panel surya, yang berfungsi sebagai sumber utama energi listrik dengan output berupa arus searah (DC). Panel ini mengubah energi matahari menjadi listrik melalui efek fotovoltaiik. Energi listrik yang dihasilkan selanjutnya dialirkan menuju breaker DC, yaitu komponen proteksi yang berfungsi memutuskan arus secara otomatis apabila terjadi kelebihan beban atau arus pendek. Hal ini penting

untuk menjaga keamanan sistem dan mencegah kerusakan pada komponen lainnya akibat lonjakan arus.

Setelah melewati breaker, arus listrik kemudian masuk ke wattmeter, yang digunakan untuk melakukan pemantauan nilai tegangan, arus, dan daya secara real-time. Monitoring ini memberikan informasi penting terkait konsumsi energi dan efisiensi kerja sistem, sehingga operator dapat melakukan evaluasi terhadap performa sistem secara langsung selama proses pemanasan berlangsung.

Dari wattmeter, energi listrik diarahkan ke elemen pemanas (heater), yang bertugas mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses resistansi termal. Energi panas yang dihasilkan kemudian digunakan untuk memanaskan media penyimpan panas, yaitu pasir. Proses ini dikenal sebagai pemanasan tidak langsung, di mana pasir menyerap energi panas dari elemen pemanas hingga mencapai suhu tertentu. Pasir dipilih sebagai media penyimpan karena memiliki kapasitas panas jenis yang cukup besar, stabil, murah, dan tersedia melimpah.

Pasir yang telah dipanaskan kemudian berperan sebagai baterai termal, yaitu media yang menyimpan energi panas untuk kemudian digunakan sesuai kebutuhan. Ketika sistem membutuhkan energi panas, udara dialirkan melewati tumpukan pasir panas. Udara tersebut akan menyerap panas dari pasir melalui konveksi paksa, lalu keluar sebagai udara panas. Proses ini disebut sebagai penyaluran panas ke udara, di mana panas yang tersimpan ditransfer secara efisien ke fluida kerja (udara).

Udara panas yang dihasilkan selanjutnya digunakan dalam sistem pemanas udara, yang dapat diaplikasikan untuk berbagai keperluan, seperti pemanasan ruang, pengeringan bahan, atau aplikasi termal lainnya. Sistem ini bekerja secara pasif dan tidak membutuhkan baterai listrik, karena penyimpanan energi dilakukan dalam bentuk panas (termal), bukan dalam bentuk listrik. Dengan memanfaatkan energi terbarukan dari matahari dan sistem penyimpanan sederhana berupa pasir, sistem ini menjadi solusi alternatif yang ramah lingkungan dan hemat energi.

3.1.3 Cara Kerja Blok Diagram

Cara dan tahapan kerja yang dilakukan pada penjelasan blok diagram yaitu:

1. *Input*

Input merupakan seluruh elemen awal yang dibutuhkan agar sistem dapat beroperasi secara optimal. Dalam sistem ini, sumber energi utama adalah radiasi cahaya matahari yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh dua buah panel surya tipe polikristalin, masing – masing berkapasitas 200 Wp dan disusun secara seri. Energi listrik searah yang dihasilkan panel surya ini dialirkan menuju *breaker* DC sebagai perangkat proteksi awal terhadap arus lebih atau hubungan pendek. Setelah itu, arus listrik mengalir melewati *wattmeter* DC untuk pemantauan tegangan, arus, dan daya secara *real – time* sebelum akhirnya digunakan untuk mengoperasikan elemen pemanas listrik (*heater*) berkapasitas 40V 500W. selain energi listrik, input penting lainnya dalam sistem ini adalah udara dingin dari lingkungan sekitar, yang akan dialirkan ke media penyimpanan panas menggunakan kipas angin. Udara ini kemudian dipanaskan secara tidak langsung oleh energi panas yang tersimpan di dalam media pasir. Dengan demikian, input utama dalam sistem ini mencakup energi matahari. Aliran listrik DC hasil konversi, dan udara lingkungan yang akan berperan sebagai media perpindahan panas.

2. *Proses*

Proses merupakan tahapan utama dari sistem ini, yaitu serangkaian konversi dan pemanfaatan energi yang berlangsung secara langsung tanpa penyimpanan energi melalui baterai. Pertama, dua buah panel surya yang disusun secara seri menangkap energi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik arus searah (DC) ini dialirkan langsung ke *breaker* DC yang berfungsi sebagai pelindung terhadap arus lebih atau korsleting. Setelah itu, arus mengalir ke *wattmeter* DC yang bertugas memantau nilai tegangan, arus, dan daya listrik secara *real – time*. Selanjutnya, energi listrik tersebut digunakan untuk mengaktifkan elemen pemanas (*heater*) berdaya 500 Watt dan tegangan kerja 40 Volt DC. *Heater* ini diposisikan dibagian atas wadah berisi pasir silika, dan bekerja berdasarkan prinsip konversi energi menjadi panas melalui resistansi

listrik. Energi panas yang dihasilkan oleh *heater* akan merambat ke seluruh butiran pasir melalui proses konduksi padat – ke – padat. Setelah pasir mencapai suhu tertentu, kipas angin diaktifkan secara manual untuk mengalirkan udara dingin ke dalam wadah pasir. Udara ini kemudian menyerap panas dari pasir melalui konveksi termal, dan diarahkan keluar melalui saluran udara menuju ruang simulasi. Dengan demikian, sistem ini memanfaatkan energi matahari untuk menghasilkan panas yang kemudian ditransfer ke udara sebagai media akhir, tanpa menggunakan komponen penyimpanan energi seperti baterai.

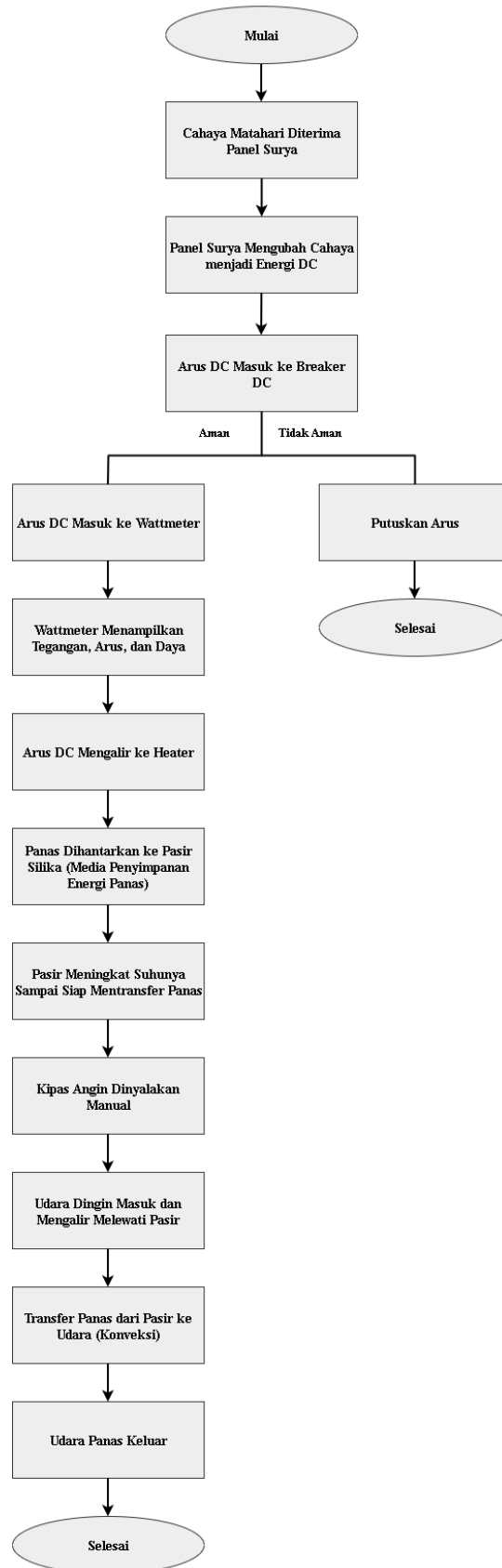
3. *Output*

Output dari sistem ini berupa udara panas atau hangat yang dihasilkan melalui proses transfer panas dari media pasir yang telah dipanaskan menggunakan energi listrik dari panel surya. Udara ini keluar melalui saluran udara yang terhubung dengan ruang simulasi, yang berupa kotak tertutup sebagai representasi dari ruangan mini. Udara panas tersebut diperoleh setelah udara dingin dialirkan ke dalam media pasir menggunakan kipas, lalu mengalami peningkatan suhu akibat kontak langsung dengan pasir yang sudah menyimpan energi panas. Dalam metode ini, sistem mampu menghasilkan aliran udara panas yang dapat dimanfaatkan secara langsung, misalnya untuk pemanasan lokal dalam skala kecil. Selain udara panas sebagai hasil utama, sistem ini juga menciptakan bentuk sederhana dari teknologi penyimpanan dan distribusi panas menggunakan pasir. Pasir berfungsi sebagai medium termal yang menyimpan energi panas dalam jangka waktu tertentu, memungkinkan sistem tetap memancarkan panas meskipun intensitas matahari mulai menurun. Dengan begitu, sistem ini menunjukkan potensi efisiensi konversi energi dari sumber terbarukan secara nyata dan aplikatif. Dari sisi praktikalitas, alat ini dirancang secara modular dan portable, yaitu dipasang pada rangka beroda, sehingga memudahkan proses pemindahan dan penyesuaian lokasi pengoperasian. Desain yang fleksibel ini membuka peluang penerapan sistem pada berbagai kebutuhan, baik di lingkungan rumah tangga maupun industri kecil yang memerlukan sistem pemanas hemat energi berbasis tenaga surya.

Tabel 3. 1 Alur Konversi dan Transfer Energi Panas

Tahap	Komponen	Jenis Energi	Proses yang Terjadi	Output Energi
1	2 Buah Panel Surya (200 Wp)	Energi Cahaya → Listrik DC	Efek fotovoltaiik: mengubah radiasi matahari menjadi listrik DC	Listrik DC 36V – 40V
2	<i>Breaker DC</i>	Regulasi	Memproteksi dari kelebihan arus	-
3	<i>Wattmeter</i>	<i>Monitoring</i>	Memantau nilai tegangan, arus, dan daya listrik secara real – time	Nilai tegangan, arus, dan daya listrik secara real – time
4	Elemen Pemanas (<i>Heater</i>)	Listrik → Energi Panas	Listrik dialirkan ke heater → resistansi menghasilkan panas	Energi panas konduksi
5	Media Pasir (Baterai Pasir)	Penyimpanan Panas	Pasir menerima panas dari heater dan menyimpanannya sebagai energi panas sensibel	Pasir Bersuhu Tinggi ($\pm 150 - \pm 300^{\circ}\text{C}$)
6	Kipas Angin 6 Inch	Mekanik → Konveksi Paksa	Kipas mengalirkan udara dari luar ke dalam pasir panas	Aliran udara melewati pasir panas
7	Proses Konveksi (Udara – Pasir)	Perpindahan Panas (Konveksi)	Udara bersentuhan denan pasir panas → menyerap panas	Udara dengan suhu meningkat (hangat)
8	Termometer Digital	<i>Monitoring</i> Suhu	Mengukur suhu udara pemanasan hasil	Data suhu udara ($^{\circ}\text{C}$)

3.1.4 Flowchart Sistem



Gambar 3. 4 Flowchart

Proses kerja sistem pemanas udara berbasis energi surya dimulai dari penerimaan cahaya matahari oleh panel surya. Panel surya berfungsi menangkap energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik dalam bentuk arus searah (DC) melalui prinsip kerja efek fotovoltaiik. Proses ini merupakan tahap awal konversi energi dari sumber terbarukan menjadi energi yang dapat digunakan oleh sistem untuk kebutuhan pemanasan.

Energi listrik DC yang dihasilkan oleh panel surya selanjutnya dialirkan ke komponen proteksi, yaitu breaker DC. Fungsi utama dari breaker ini adalah untuk memastikan keamanan sistem. Breaker akan mendeteksi kondisi arus, apakah berada dalam batas aman atau terjadi gangguan seperti arus lebih atau korsleting. Di titik ini, terjadi proses pengambilan keputusan: jika arus terdeteksi tidak aman, maka breaker akan secara otomatis memutuskan aliran listrik, menghentikan seluruh proses, dan sistem akan masuk ke tahap akhir, yaitu selesai. Ini merupakan fitur keselamatan penting yang melindungi komponen elektronik dari kerusakan akibat gangguan kelistrikan.

Jika arus yang mengalir terdeteksi dalam kondisi aman, maka sistem akan melanjutkan proses dengan menyalurkan arus DC ke wattmeter. Wattmeter di sini berperan sebagai alat pemantauan atau monitoring sistem. Perangkat ini akan menampilkan nilai tegangan (V), arus (A), dan daya (W) secara real-time, sehingga pengguna atau operator dapat mengetahui seberapa besar konsumsi daya dan arus listrik yang terjadi pada saat itu. Pemantauan ini sangat penting, terutama untuk evaluasi performa dan efisiensi sistem secara menyeluruh.

Setelah melewati *wattmeter*, arus DC dialirkan menuju elemen pemanas atau *heater*. *Heater* berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses resistansi termal. Proses ini berlangsung secara langsung dan cepat. Energi panas yang dihasilkan dari heater kemudian ditransfer ke pasir silika, yang berperan sebagai media penyimpanan energi panas atau disebut juga dengan istilah *thermal energy storage*.

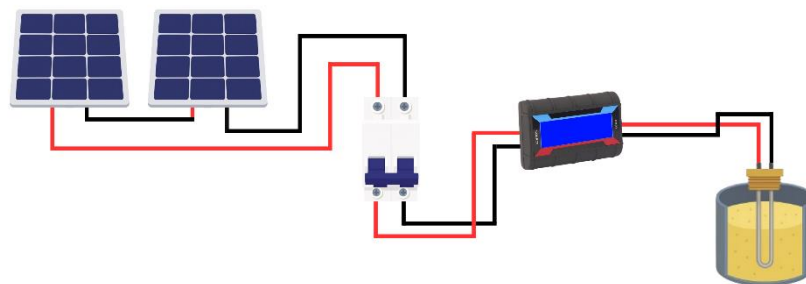
Pasir silika dipilih sebagai media penyimpan panas karena memiliki kapasitas panas jenis yang tinggi, stabil secara termal, murah, dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Energi panas dari *heater* akan dihantarkan ke butiran pasir, menyebabkan kenaikan suhu pasir secara bertahap. Proses ini berlangsung hingga

suhu pasir mencapai titik optimal, di mana media pasir telah siap mentransfer panas ke udara. Tahap ini merupakan proses akumulasi energi yang kemudian akan digunakan untuk pemanasan udara.

Setelah pasir mencapai suhu yang ditentukan, sistem dilanjutkan dengan menyalakan kipas angin secara manual. Kipas ini berfungsi untuk mengalirkan udara ke dalam sistem secara paksa (*forced convection*), bukan secara alami (*natural convection*), sehingga proses pemindahan panas bisa berlangsung lebih cepat dan efisien. Udara dingin dari luar kemudian masuk dan mengalir melewati tumpukan pasir silika yang telah panas. Saat udara bergerak melalui celah-celah di antara pasir, terjadi proses transfer panas dari pasir ke udara secara konveksi, di mana energi panas berpindah dari benda padat ke fluida yang mengalir di sekitarnya.

Akibat dari proses konveksi ini, udara mengalami peningkatan suhu dan keluar dari sistem sebagai udara panas. Udara panas inilah yang kemudian dapat digunakan sesuai kebutuhan, misalnya untuk pemanasan ruang, pengeringan bahan, atau keperluan lain dalam sistem termal. Setelah udara panas keluar dari sistem, maka seluruh rangkaian proses dianggap selesai. Secara keseluruhan, sistem ini dirancang sebagai solusi pemanas udara berbasis energi terbarukan yang tidak bergantung pada baterai listrik. Energi dari matahari dimanfaatkan secara langsung dan disimpan dalam bentuk panas melalui media pasir. Sistem ini menawarkan efisiensi tinggi, ketahanan lama, dan ramah lingkungan, serta cocok diterapkan untuk daerah yang memiliki akses energi listrik terbatas namun paparan sinar matahari tinggi.

3.2 Wiring Diagram



Gambar 3. 5 *Wiring Diagram*

Gambar wiring diagram di atas menunjukkan konfigurasi sistem kelistrikan dari pemanas pasir berbasis energi surya, yang dirancang untuk mengubah energi matahari menjadi panas melalui elemen pemanas (*heater*) yang tertanam dalam media pasir silika. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu panel surya, pemutus arus (*DC breaker*), *wattmeter*, dan elemen pemanas sebagai beban akhir.

Pada bagian awal sistem terdapat dua buah panel surya yang dihubungkan secara seri. Koneksi seri berarti kutub positif dari panel pertama dihubungkan ke kutub negatif panel kedua, sementara dua kutub yang tersisa menjadi terminal output ke sistem. Konfigurasi seri ini bertujuan untuk menaikkan tegangan total sistem menjadi dua kali lipat dari satu panel tunggal, sementara arus tetap sebesar arus satu panel. Dengan tegangan lebih tinggi, efisiensi pengiriman daya ke beban pemanas menjadi lebih baik, khususnya saat jarak antar komponen agak jauh atau beban membutuhkan tegangan operasional yang lebih besar.

Energi listrik DC dari rangkaian panel kemudian diarahkan menuju DC breaker, yang berfungsi sebagai sistem proteksi. Breaker akan memutuskan aliran listrik secara otomatis apabila terjadi gangguan seperti kelebihan arus (*overcurrent*) atau korsleting, guna mencegah kerusakan pada komponen sistem lainnya, khususnya pada perangkat sensitif seperti *wattmeter* atau elemen pemanas.

Setelah melewati proteksi, arus listrik DC diteruskan ke *wattmeter*, sebuah alat pemantau yang menampilkan data tegangan, arus, dan daya listrik secara *real-time*. Komponen ini penting untuk memastikan sistem bekerja dalam kondisi

optimal serta memberikan informasi langsung kepada pengguna terkait konsumsi energi dan status beban.

Energi listrik yang telah terukur tersebut kemudian dialirkan menuju elemen pemanas yang tertanam dalam wadah berisi pasir silika. Elemen pemanas bekerja berdasarkan prinsip resistansi, di mana arus listrik yang mengalir melalui elemen akan menghasilkan panas. Panas tersebut diserap oleh pasir dan disimpan sebagai energi termal. Karena pasir silika memiliki kapasitas panas jenis yang tinggi serta stabil secara termal, ia berperan sebagai media penyimpanan panas (*thermal energy storage*). Energi panas ini dapat digunakan kemudian untuk memanaskan udara atau media lain sesuai kebutuhan.

Sistem wiring ini dibuat sederhana, efisien, dan andal tanpa menggunakan inverter atau baterai listrik, karena seluruh komponen bekerja dalam sistem DC. Panas disimpan secara langsung dalam bentuk termal, bukan listrik, sehingga cocok diterapkan pada sistem pemanas udara berbasis surya yang ramah lingkungan dan minim perawatan. Keandalan dan keamanan sistem dijamin melalui breaker serta pemantauan berkelanjutan melalui wattmeter, menjadikan sistem ini ideal untuk digunakan di daerah terpencil atau lokasi dengan akses listrik terbatas namun memiliki paparan sinar matahari tinggi.