

BAB III

PERANCANGAN TUGAS AKHIR

3.1 Metode Penyusunan

Metode penyusunan tugas akhir yang tepat sangat penting dalam menghasilkan data yang valid dan relevan untuk mencapai tujuan penelitian. Masing-masing metode memiliki keunggulan tersendiri yang berkontribusi terhadap pemahaman yang lebih baik. Adapun metode penyusunan tugas akhir yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Metode Studi Literatur

Metode ini dilaksanakan dengan cara meneliti dan menganalisis berbagai sumber tertulis yang relevan dengan topik tugas akhir yang sedang dikaji. Sumber-sumber ini dapat berupa buku, jurnal ilmiah, artikel, laporan penelitian, makalah, dokumen resmi dan materi tertulis lainnya.

2. Metode Observasi

Metode ini dilaksanakan dengan cara meneliti secara langsung kondisi alat dan aktivitas website yang sedang dibangun. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk memperoleh data yang akurat dari fenomena yang terjadi, sehingga penulis dapat memahami kondisi nyata dari alat yang sedang diteliti.

3. Metode Rancang Bangun

Metode ini adalah perancangan sistem secara teknis, mulai dari desain skematik, pemilihan komponen (seperti elemen pemanas, sensor suhu, dan sistem kontrol), serta pembuatan gambar kerja, wiring diagram, dan heat exchanger. Setelah perancangan selesai, dilakukan tahap pembuatan alat berdasarkan desain yang telah disusun, kemudian dilanjutkan dengan tahap instalasi dan integrasi antar komponen.

4. Metode Pengujian Sistem

Metode ini adalah pengujian dan analisis, di mana sistem diuji untuk mengetahui kinerjanya dalam memanaskan pasir dan mengalirkan panas ke air. Parameter yang diamati meliputi suhu pasir, suhu air masuk dan keluar, serta waktu pemanasan. Data yang diperoleh dianalisis untuk menilai efisiensi sistem serta kesesuaian antara perancangan dan hasil nyata. Hasil ini kemudian disusun secara sistematis dalam laporan skripsi sebagai bagian dari penyusunan karya ilmiah.

3.2 Desain Umum Sistem

Panel surya akan menghasilkan listrik DC yang dioptimalkan oleh MPPT dan dialirkan ke elemen pemanas. Elemen pemanas tertanam di dalam pasir silika yang terisolasi menggunakan bahan seperti rockwool dan pelat baja. Di tengah pasir tersebut terdapat pipa tembaga berbentuk spiral yang mengalirkan air. Ketika pasir dipanaskan oleh elemen pemanas, panas ditransfer ke air yang mengalir di dalam pipa.

Table 3.2 Tabel komponen dan fungsinya

No	Nama Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	Panel Surya	400 Wp, Monocrystalline	Sumber energi listrik dari cahaya matahari
2	Wattmeter	150 A	Memantau penggunaan daya
3	Elemen Pemanas	500 Watt, 40V DC	Mengubah energi listrik menjadi panas
4	Drum Besi / Tabung Baja	Volume ± 20 liter, tahan suhu tinggi	Wadah penyimpanan pasir dan elemen pemanas
5	Rockwool	Ketebalan 3–5 cm	Isolator panas untuk mengurangi kehilangan panas
6	Pasir Silika	± 8 kg	Media penyimpan panas
7	Pipa Tembaga	Diameter 1/4 inch, panjang ± 2 m	Heat exchanger untuk sirkulasi air
8	Pompa Air Mini DC	5V, flow rate ± 1 LPM	Mengalirkan air dari tangki masuk ke pipa tembaga

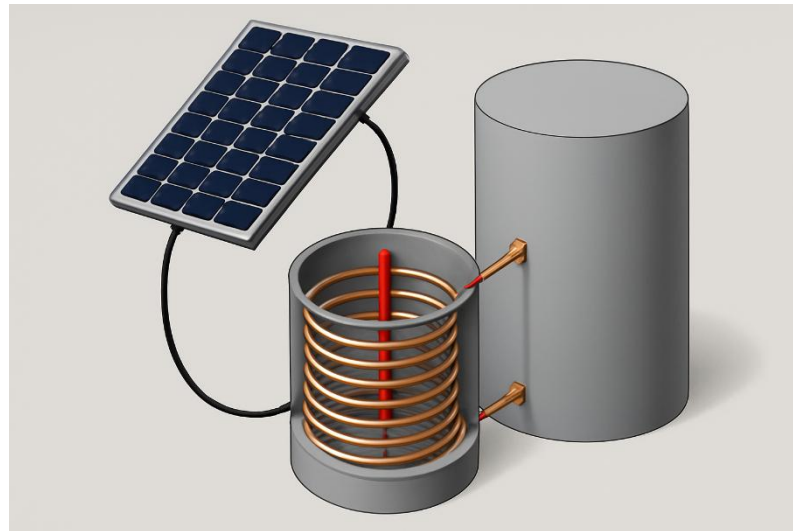
11	Tangki Air Masuk dan Keluar	Masing-masing ± 5 liter	Menyediakan dan menampung air sebelum dan sesudah dipanaskan
12	Kabel dan Konektor Listrik	Sesuai kebutuhan arus dan tegangan	Menghubungkan komponen kelistrikan
13	Termometer Analog / Digital	Rentang suhu hingga 300 °C	Monitoring suhu secara manual (cadangan dari sensor digital)
14	Multimeter	Digital, pengukur arus, tegangan, dan tahanan listrik	Untuk pengujian dan kalibrasi sistem elektronik
15	Timer / Stopwatch	Digital/manual	Mengukur durasi pengujian dan waktu pemanasan
16	Struktur Penopang	Besi siku / kayu	Menopang panel surya dan wadah sistem

Tabel 3. 1 Komponen dan Fungsinya

3.3 Perancangan Sistem

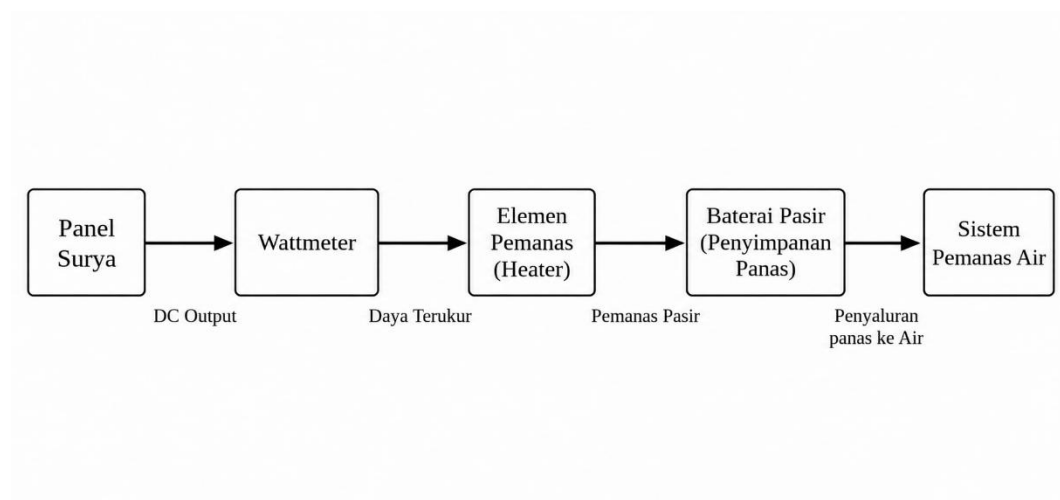
Perancangan sistem ini bertujuan untuk mengembangkan solusi pemanas air yang ramah lingkungan dan efisien, dengan memanfaatkan baterai pasir sebagai media penyimpanan panas. Energi listrik yang dibangkitkan oleh panel surya 400 Wp terlebih dipantau daya dan parameternya menggunakan wattmeter. Energi listrik ini kemudian dialirkan ke elemen pemanas 500 W yang tertanam di dalam wadah berisi pasir silika. Pasir silika dipilih karena memiliki kapasitas panas yang tinggi dan mampu mempertahankan suhu dalam jangka waktu lama. Wadah penyimpan panas ini juga dilapisi dengan bahan isolasi seperti rockwool dan pelat logam untuk meminimalkan kehilangan panas ke lingkungan sekitar.

Dalam proses pemanasannya, panas yang diserap oleh pasir akan ditransfer ke air melalui pipa tembaga spiral yang ditanam di dalam pasir. Air dipompa menggunakan pompa DC 5V dari tangki air masuk menuju heat exchanger dan mengalir kembali ke tangki air keluar setelah dipanaskan. Dengan pendekatan ini, sistem diharapkan mampu menyediakan air hangat secara mandiri, tanpa ketergantungan pada energi listrik dari jaringan PLN, sekaligus menjadi solusi berkelanjutan dalam pemanfaatan energi terbarukan untuk kebutuhan rumah tangga skala kecil.



Gambar 3. 1Ilustrasi Perancangan Sistem

3.4 Diagram Blok



Gambar 3. 2 Diagram Blok

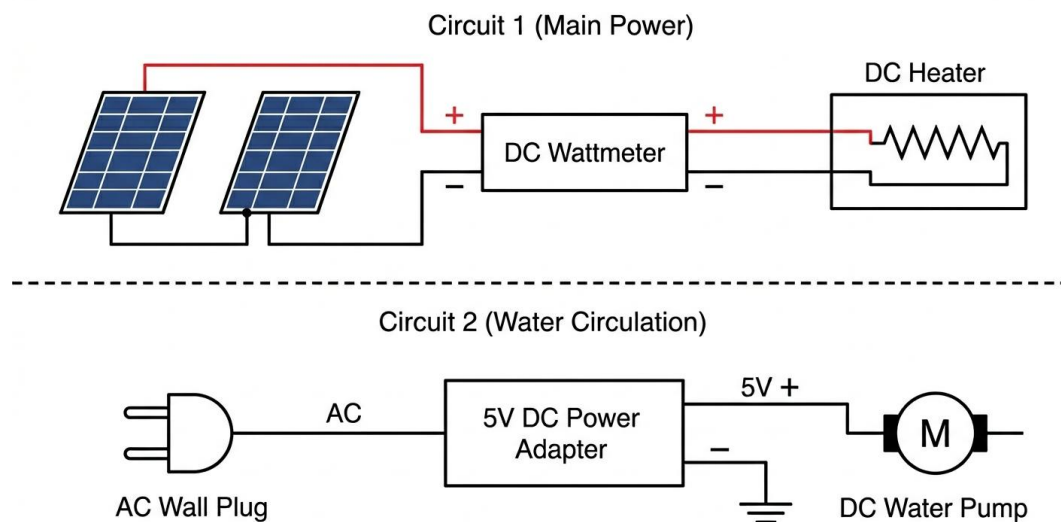
Gambar 3. 3 Diagram Blok Sistem

Sistem ini dirancang untuk mengonversi energi matahari menjadi energi panas yang dapat digunakan untuk memanaskan air secara efisien dan ramah lingkungan. Proses dimulai dari panel surya berkapasitas 400 Wp yang menyerap energi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi listrik arus searah (DC). Energi listrik ini kemudian dialirkan ke wattmeter, yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus agar tetap stabil, serta mencegah overcharge jika sistem menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi listrik.

Selanjutnya, energi listrik wattmeter digunakan untuk mengaktifkan elemen pemanas (*immersion heater*) berdaya 250–300 watt yang ditempatkan di dalam wadah penyimpan panas berisi pasir silika. Pasir ini berfungsi sebagai media penyimpan panas karena memiliki kapasitas kalor yang tinggi. Pemanas akan meningkatkan suhu pasir hingga mencapai target sekitar 250–300°C. Di dalam wadah ini juga terdapat pipa tembaga spiral yang berperan sebagai heat exchanger, di mana air dingin yang masuk melalui pipa akan menyerap panas dari pasir yang telah dipanaskan.

Setelah panas berpindah dari pasir ke air, air panas akan keluar dan dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan domestik. Proses ini berjalan secara pasif dan tanpa mikrokontroler, mengandalkan perancangan termal dan sistem aliran alami untuk efisiensi dan keandalan.

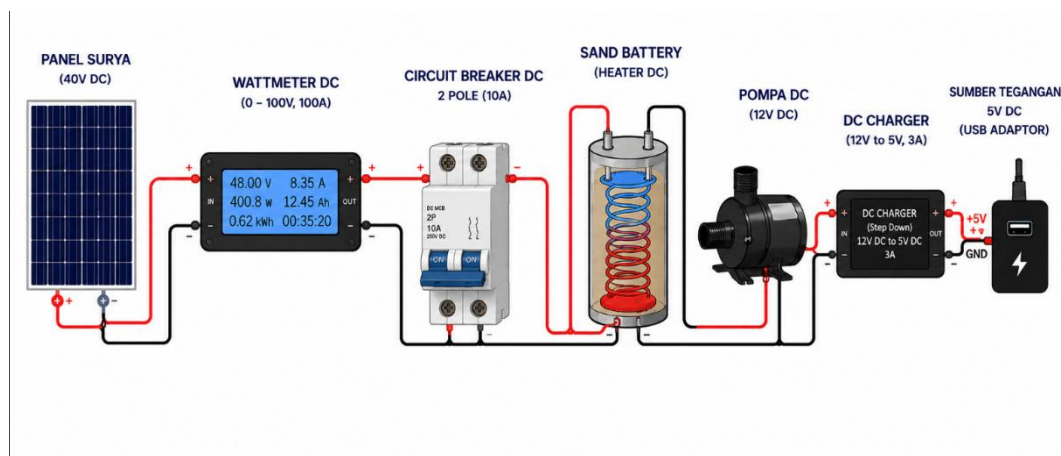
3.5 Wiring Diagram



Gambar 3. 4 Wiring Diagram

Gambar diatas menunjukkan sistem panas berbasis tenaga surya yang terdiri dari tiga komponen utama yaitu panel surya, wattmeter, dan heater (elemen pemanas). Pertama panel surya berfungsi sebagai sumber energi listrik utama dalam sistem ini. Panel ini mengubah energi matahari menjadi energi listrik DC (arus searah). Output dari panel surya ini kemudian dialirkan menuju wattmeter sebagai pengontrol pengisian daya, yang berperan sangat penting dalam mengatur dan mengontrol aliran listrik agar tetap stabil dan aman, mencegah overcharge (pengisian berlebih) serta overdischarge (pengosongan berlebih) terhadap sistem pemanas atau jika digunakan ke baterai.

Dari wattmeter, energi listrik selanjutnya dialirkan ke elemen pemanas yang berada di dalam wadah baterai pasir. Heater ini yang fungsinya untuk mengunah energi listrik menjadi panas. Panas yang dihasilkan akan diserap oleh media penyimpanan termal yaitu pasir, yang mampu menyimpan panas untuk waktu yang cukup lama. Pasir akan melepaskan panasnya secara perlahan dan panas tersebut dapat digunakan untuk menghangatkan air yang dialirkan melalui sistem sirkulasi air.



Gambar 3. 5 Wiring Keseluruhan

Wiring diagram sistem dirancang untuk menggambarkan hubungan antar komponen listrik pada sistem penyimpanan energi termal berbasis baterai pasir yang terintegrasi dengan panel surya. Sistem ini memanfaatkan energi listrik arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya sebagai sumber utama untuk mengoperasikan elemen pemanas (heater) yang berada di dalam media pasir silika. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan perangkat pengukuran, proteksi, dan suplai daya untuk pompa sirkulasi sehingga keseluruhan sistem dapat beroperasi dengan aman dan mudah dipantau.

Energi listrik berasal dari panel surya bertegangan nominal 40 VDC yang menghasilkan daya sesuai dengan intensitas radiasi matahari. Keluaran panel surya terlebih dahulu dihubungkan ke **DC Wattmeter** dengan spesifikasi 0–100 V dan 100 A. Wattmeter berfungsi untuk mengukur parameter kelistrikan secara real-time yang meliputi tegangan (V), arus (A), daya (W), energi (kWh), serta waktu operasi sistem. Data yang diperoleh dari wattmeter digunakan sebagai dasar analisis konsumsi energi dan evaluasi performa sistem pada tahap pengujian.

Setelah melewati wattmeter, aliran listrik diteruskan menuju DC Circuit Breaker (MCB DC) 2 Pole 10 A yang berfungsi sebagai perangkat proteksi utama. Penggunaan MCB DC dua kutub dipilih agar kedua jalur, yaitu penghantar positif (+) dan negatif (-), dapat diputus secara bersamaan ketika terjadi gangguan seperti arus lebih (*overcurrent*), hubungan singkat (*short circuit*), maupun saat proses pemeliharaan sistem. Dengan demikian, tingkat keselamatan instalasi listrik menjadi lebih baik dibandingkan pemutusan hanya pada satu penghantar.

Selanjutnya, keluaran dari MCB DC dihubungkan menuju heater DC yang dipasang di dalam tabung baterai pasir. Heater berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi panas berdasarkan prinsip pemanasan Joule (*Joule Heating*). Panas yang dihasilkan kemudian diserap oleh media pasir silika sehingga energi termal dapat tersimpan (*thermal energy storage*). Selama proses pemanasan, energi listrik secara bertahap dikonversi menjadi energi panas yang selanjutnya dimanfaatkan sebagai sumber kalor untuk proses pemanasan air.

Sistem pemanas air menggunakan **pompa** DC 12 V yang bertugas mensirkulasikan air melalui pipa tembaga berbentuk spiral (*coiled copper heat exchanger*) yang tertanam di dalam pasir silika. Ketika air mengalir melewati pipa tersebut, panas yang tersimpan di dalam pasir berpindah secara konduksi menuju dinding pipa tembaga, kemudian diteruskan secara konveksi ke fluida sehingga temperatur air meningkat sebelum keluar sebagai air panas.

Karena pompa yang digunakan memerlukan tegangan operasi 5 VDC, maka pada sistem ditambahkan sebuah DC Step-Down Converter (DC Charger) 12 V ke 5 V **dengan kapasitas 3 A**. Konverter ini berfungsi menurunkan tegangan masukan menjadi tegangan yang sesuai dengan spesifikasi pompa sehingga pompa dapat bekerja secara stabil tanpa mengalami kerusakan akibat

tegangan berlebih. Sumber tegangan untuk konverter berasal dari adaptor USB 5 VDC yang menyediakan suplai daya sesuai kebutuhan pompa selama proses sirkulasi berlangsung.

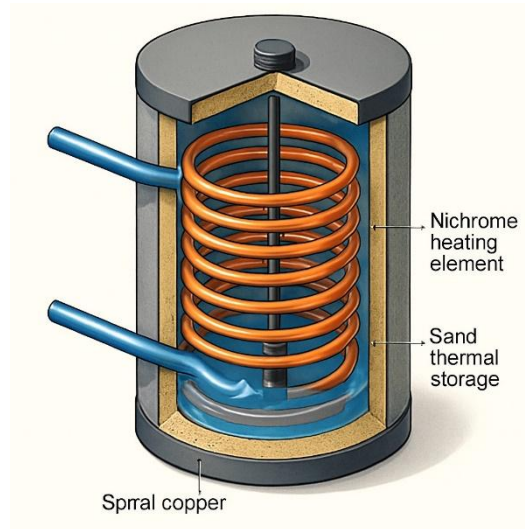
3.6 Perancangan Wadah Penyimpan Panas (*Thermal Battery*)

Wadah penyimpan panas merupakan inti dari sistem penyimpanan energi termal dalam proyek ini. Bahan utama yang digunakan adalah drum besi atau tabung baja tahan panas, yang dipilih karena kekuatannya dalam menahan suhu tinggi serta ketahanannya terhadap deformasi termal. Struktur ini dirancang agar mampu menampung volume pasir silika dengan efisiensi ruang dan distribusi panas yang merata. Di bagian luar wadah, ditambahkan pelat pelindung logam untuk memberikan perlindungan mekanis tambahan serta memperkuat konstruksi secara keseluruhan.

Untuk mengurangi kehilangan panas secara signifikan, wadah dilapisi dengan isolasi termal dari bahan rockwool setebal beberapa sentimeter di seluruh permukaan. Rockwool dipilih karena memiliki konduktivitas termal yang rendah, tahan terhadap suhu tinggi, serta tidak mudah terbakar. Lapisan ini dibungkus kembali dengan bahan pelindung seperti plat galvanis atau aluminium foil guna menahan kelembaban dan menjaga stabilitas isolasi. Dengan adanya sistem insulasi ini, panas yang dihasilkan dari elemen pemanas dapat disimpan lebih lama di dalam media pasir, memungkinkan efisiensi yang lebih tinggi dalam pemanasan air.

Di dalam wadah, elemen pemanas listrik diletakkan di bagian bawah atau tengah-tengah lapisan pasir silika agar dapat mendistribusikan panas secara merata ke seluruh volume media. Sementara itu, pipa tembaga berbentuk spiral atau melingkar ditanam melintang dalam pasir sebagai jalur sirkulasi air. Ketika elemen pemanas aktif dan pasir mencapai suhu tinggi, air yang mengalir dalam pipa akan mengalami peningkatan suhu akibat proses konduksi panas dari pasir ke pipa. Desain

ini memungkinkan sistem berfungsi seperti heat exchanger tertutup, di mana air tidak bersentuhan langsung dengan pasir, namun tetap memperoleh panas secara efisien.



Gambar 3. 6 Ilustrasi Wadah

3.7 Prosedur Perancangan Sistem

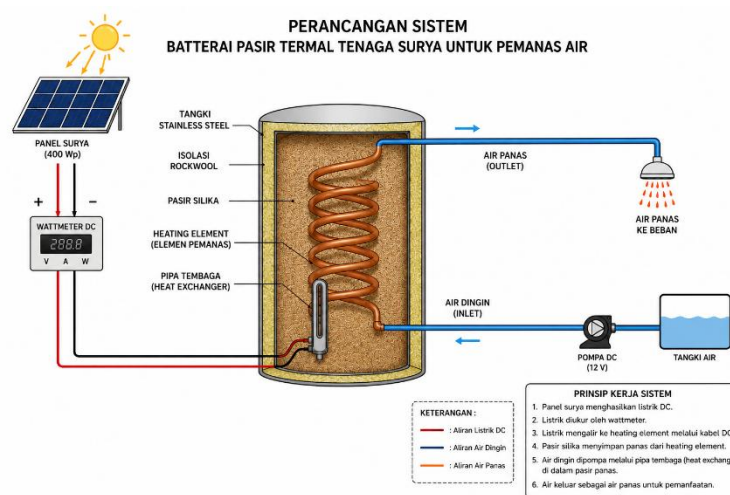
Perancangan sistem pemanas air berbasis baterai pasir dengan sumber energi dari panel surya dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis dan terukur. Tahapan awal dimulai dengan studi literatur terhadap berbagai teori pendukung, seperti prinsip kerja panel surya, teknologi penyimpanan energi panas (thermal energy storage/TES), karakteristik pasir silika sebagai media penyimpan panas, serta prinsip kerja heat exchanger menggunakan pipa tembaga. Pengetahuan tentang elemen pemanas dan prinsip kelistrikan seperti hukum Ohm dan daya listrik juga menjadi dasar penting dalam menentukan spesifikasi sistem secara keseluruhan.

Tahap selanjutnya adalah merancang sistem dalam bentuk diagram blok dan skema kelistrikan. Diagram blok menggambarkan hubungan fungsional antar komponen, mulai dari panel surya, wattmeter, elemen pemanas, media pasir silika, hingga sistem sirkulasi air yang melewati heat exchanger. Skema kelistrikan (wiring diagram) menunjukkan hubungan [10].

Setelah desain selesai, tahap berikutnya adalah pemilihan dan perakitan komponen. Wadah penyimpan panas dibuat dari drum baja tahan panas yang dilapisi material isolator seperti rockwool dan aluminium foil untuk meminimalkan kehilangan panas. Di dalam drum, dipasang elemen pemanas berdaya 500 W yang tertanam di pasir silika seberat ± 8 kg. Di tengah-tengah

media pasir diposisikan pipa tembaga spiral sebagai heat exchanger, yang dialiri air dari tangki melalui pompa mini DC 5V [10]. Sensor suhu digital dipasang di beberapa titik untuk memantau suhu pasir dan air.

Proses selanjutnya adalah pengujian dan kalibrasi sistem. Sistem diuji di bawah paparan sinar matahari langsung untuk melihat efektivitas transfer panas dari elemen pemanas ke pasir, dan dari pasir ke air melalui pipa tembaga. Data suhu pasir dan air direkam secara berkala untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi efisiensi sistem dan menentukan apakah sistem mampu memenuhi target suhu pemanasan air secara berkelanjutan dengan energi yang disediakan oleh panel surya 400 Wp. Keseluruhan proses ini mendukung pencapaian tujuan utama tugas akhir, yaitu merancang sistem pemanas air hemat energi berbasis sumber daya terbarukan [11].



Gambar 3. 7 Skema Keseluruhan Sistem

3.8 Analisis Kerja Sistem

Analisis Energi dan Kinerja Sistem Perancangan sistem pemanas air berbasis energi surya ini bertujuan untuk memanfaatkan panel surya berdaya 400 Wp sebagai sumber energi utama yang akan dikonversi menjadi panas melalui elemen pemanas berdaya 300 W. Energi panas tersebut selanjutnya disimpan dalam media pasir silika sebagai thermal energy storage (TES), dan digunakan untuk memanaskan air melalui pipa tembaga yang berfungsi sebagai heat exchanger. Untuk memastikan efektivitas sistem, dilakukan perhitungan kebutuhan energi dan kapasitas pemanasan berdasarkan karakteristik material dan komponen sistem [8].

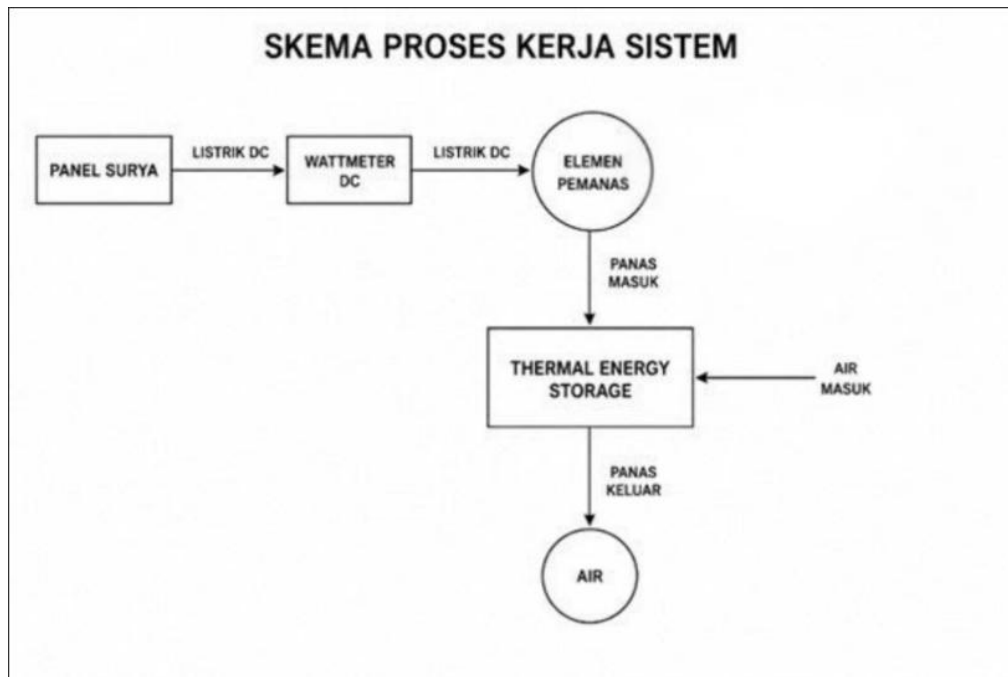
Panel surya 400 Wp pada kondisi cerah ideal diperkirakan mampu menghasilkan daya sekitar 300 W yang dapat dimanfaatkan secara langsung untuk mengaktifkan elemen pemanas melalui wattmeter. Dengan estimasi durasi penyinaran efektif selama 3 jam per hari, energi yang tersedia adalah sekitar 1500 Wh atau setara dengan 5,4 juta joule. Energi ini akan dialirkan ke elemen pemanas untuk memanaskan pasir silika sebanyak 7 kg dari suhu awal sekitar 30°C menuju suhu target hingga 300°C. Berdasarkan perhitungan energi panas, dibutuhkan sekitar 1,512,000 joule (1,51 MJ) untuk memanaskan pasir sebanyak itu, dengan menggunakan rumus

$$Q_{pasir} = m.c.\Delta T = 7.800.270 = 1,512,000J = 1.51MJ$$

Setelah energi panas diserap oleh pasir, energi sisa dari proses pemanasan pasir dapat digunakan untuk memanaskan air melalui sistem pipa tembaga spiral yang tertanam di dalam media pasir. Dengan asumsi efisiensi sistem sekitar 70%, energi yang masih dapat digunakan untuk memanaskan air diperkirakan mencapai 3,89 MJ. Energi ini cukup untuk memanaskan sekitar 23 liter air dari suhu awal 30°C hingga mendekati 70°C. Ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya mampu menyimpan energi dalam bentuk panas, tetapi juga cukup efisien dalam mentransfer panas ke media air, sehingga cocok diterapkan sebagai solusi pemanas air berbasis energi terbarukan.

Dari hasil analisis ini, dapat disimpulkan bahwa sistem penyimpanan energi panas menggunakan pasir silika yang dipanaskan oleh panel surya 400 Wp memiliki potensi besar untuk diaplikasikan pada skala rumah tangga. Kombinasi antara elemen pemanas, media penyimpan panas (pasir), isolasi termal, serta heat exchanger berbahan tembaga memberikan efisiensi perpindahan panas yang baik. Perancangan ini selaras dengan prinsip keberlanjutan dan efisiensi energi, serta dapat menjadi solusi praktis di daerah dengan paparan sinar matahari tinggi [5].

3.9 Skema Proses Kerja dari *Thermal Energy Storage*



Gambar 3. 8 Skema Proses Kerja Sistem

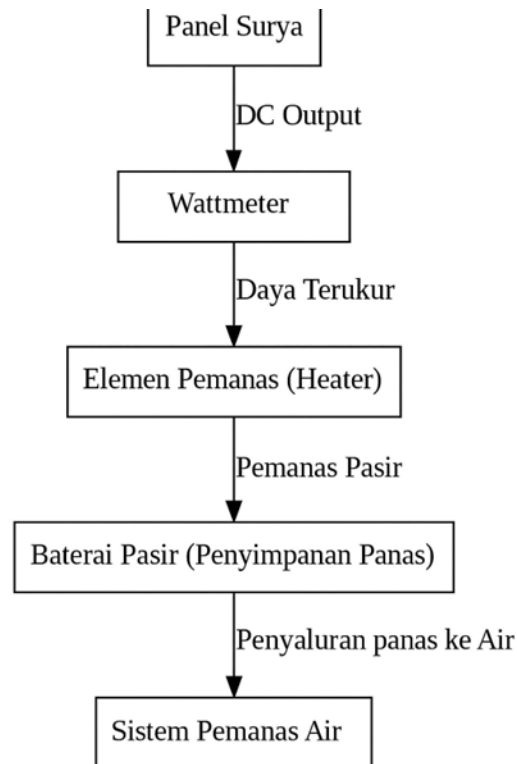
Sistem Thermal Energy Storage (TES) dalam proyek ini dirancang untuk menyimpan energi panas yang berasal dari energi listrik hasil konversi panel surya. Proses dimulai dari panel surya 400 Wp yang menangkap energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi listrik arus searah (DC). Listrik dari panel surya kemudian dialirkan wattmeter jenis ini untuk memastikan tegangan dan arus tetap stabil dan optimal.

Energi listrik yang telah distabilkan dialirkan menuju elemen pemanas (*heater* DC 500 watt) yang tertanam di dalam wadah berisi pasir silika seberat ± 7 kg. Elemen pemanas ini mengubah energi listrik menjadi energi panas, yang kemudian diserap oleh pasir silika. Pasir silika berfungsi sebagai media penyimpanan panas (*thermal battery*) karena memiliki kapasitas panas jenis yang cukup tinggi dan kestabilan termal yang baik.

Selanjutnya, panas yang tersimpan dalam pasir silika akan ditransfer ke air melalui heat exchanger berupa pipa tembaga spiral yang tertanam di dalam wadah pasir. Ketika pompa DC 12V mengalirkan air dari tangki ke dalam pipa, air akan menyerap panas dari pasir yang telah dipanaskan. Proses ini memungkinkan air untuk keluar dalam keadaan lebih panas dan siap digunakan untuk kebutuhan pemanas air.

Dengan memanfaatkan sistem TES berbasis baterai pasir, energi panas dapat disimpan dan dimanfaatkan secara lebih efisien, bahkan ketika radiasi matahari menurun. Skema ini juga memungkinkan pengurangan ketergantungan terhadap energi konvensional, dan memaksimalkan pemanfaatan energi terbarukan di lingkungan rumah tangga atau fasilitas terpencil.

3.10 Flowchart Sistem



Gambar 3. 9 Alur Kerja Sistem

Untuk mempermudah memahami proses yang dilakukan sistem, maka perlu dibuat flowchart seperti gambar diatas. Sistem penyimpanan eneri panas menggunakan baterai pasir dimulai dengan panel surya yang menangkap radiasi matahari dan mengubahnya menjadi listrik searah (DC). Listrik yang dihasilkakan tidak selalu stabil, sehingga power controller digunakan untuk menyesuaikan tegangan dan arus agar sesuai denan kebutuhan sistem. Selanjutnya, listrik dialirkan ke elemen pemanas (heater) yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi panas, yang kemudian disimpan dalam baterai pasir. Pasir dipilih sebagai media penyimpanan karena memiliki kapasitas tetrmal tinggi dan mampu mempertahankan suhu dalam jangka waktu lama. Suhu dalam baterai pasir dikontrol oleh sensor dan sistem kontrol, yang memantau kondisi panas serta mengatur kapan energi panas perlu didistribusikan. Ketika suhu mencapai tingkat yang

dibutuhkan, panas disalurkan ke sistem pemanas air, yang mendistribusikan energi panas untuk pemanas ruangan, industry, atau aplikasi lain yang memerlukan energy panas. Dengan sistem ini, energy matahari dapat dimanfaatkan secara