

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanasan air menggunakan energi matahari telah menjadi salah satu solusi efektif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon (Javadi, Metselaar, & Ganesan, 2020). *Solar Water Heater* (SWH) merupakan teknologi yang memanfaatkan radiasi matahari untuk memanaskan air, yang kemudian dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga maupun industri (Eleiwia, Mokhlif, & Saleh, 2023). Salah satu komponen kunci dalam SWH adalah pelat absorber, yang bertanggung jawab untuk menyerap energi matahari dan mengonversikannya menjadi panas.

Efisiensi pelat absorber sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk bahan, desain, dan sudut kemiringannya. Sudut kemiringan pelat absorber memainkan peran penting dalam menentukan jumlah radiasi matahari yang dapat diserap, karena sudut ini mempengaruhi bagaimana sinar matahari mengenai permukaan pelat. Sudut kemiringan yang optimal dapat memaksimalkan penyerapan energi matahari, sehingga meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem SWH (Hussein et al., 2021).

Selain pelat absorber, integrasi dengan *thermal storage* juga merupakan faktor penting dalam menjaga efisiensi SWH. *Thermal storage* memungkinkan penyimpanan panas yang dihasilkan selama periode sinar matahari tinggi untuk digunakan selama periode rendah atau tidak ada sinar matahari, seperti pada malam hari atau hari berawan. Dengan demikian, *thermal storage* membantu menjaga suhu air tetap stabil dan tersedia sepanjang waktu, meningkatkan kenyamanan pengguna (Zheng et al., 2022).

Penggunaan Phase Change Material (PCM) sebagai media penyimpanan panas telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem SWH karena kemampuannya menyimpan dan melepas energi laten secara stabil (Xu, Zhang, & Fang, 2022). Selain itu, penambahan media berpori seperti serbuk tembaga atau aluminium foam dalam PCM dapat meningkatkan konduktivitas termal dan mempercepat proses perpindahan panas, sehingga meningkatkan efisiensi kolektor secara keseluruhan (Eleiwia et al., 2023).

Penelitian ini berfokus pada analisis efisiensi SWH dengan variasi sudut kemiringan pada pelat absorber berbentuk datar yang terintegrasi dengan *thermal storage*. Studi ini penting karena:

1. Optimalisasi Desain SWH: Memahami pengaruh sudut kemiringan pada absorber membantu dalam merancang SWH yang lebih efisien (Hussein et al., 2021).



Energi Matahari: Meningkatkan efisiensi SWH dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan (Javadi et al., 2020).

Lingkungan: Penggunaan SWH yang lebih efisien dapat berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca dan dampak

lingkungan.

4. Efisiensi Ekonomi: Sistem SWH yang lebih efisien dapat mengurangi biaya operasional dan pemeliharaan bagi pengguna, menjadikannya solusi yang lebih ekonomis dalam jangka panjang (Xu et al., 2022).

Dari penelitian yang telah dilakukan oleh Arham Samsir (2023), dengan menggunakan metode eksperimental, yakni dengan melakukan dua kali percobaan untuk menguji pengaruh penggunaan Aluminium Foam dan Phase Change Material (Paraffin Wax) sebagai *Thermal Storage* terhadap efisiensi kolektor solar water heater, percobaan pertama tanpa menggunakan *Thermal Storage*, percobaan kedua dengan menggunakan variasi material *Thermal Storage* dengan parameter flowrate yaitu 36 liter/jam, dengan sudut kolektor  $0^\circ$  serta ketebalan *Thermal Storage* yaitu 10 mm dengan memperhatikan temperatur inlet dan temperatur outletnya. Hasil penelitiannya menunjukkan perbandingan efisiensi antara Pelat kolektor dengan variasi *Thermal Storage*. Penelitian kali ini akan dilakukan dengan menggunakan material PCM dan serbuk tembaga, dengan sudut kemiringan  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $60^\circ$ .

Dengan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi sudut kemiringan optimal pelat absorber terhadap efisiensi kolektor dan pengaruh *thermal storage* yg menggunakan PCM yg ditambahkan serbuk tembaga dalam meningkatkan efisiensi SWH. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi SWH yang lebih efisien dan berkelanjutan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana pengaruh sudut kemiringan terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari dengan pelat absorber terintegrasi dengan penyimpanan termal?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk tembaga pada PCM sebagai penyimpanan termal terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka penelitian ini memiliki tujuan antara lain:

1. Mengetahui pengaruh sudut kemiringan terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari dengan pelat absorber terintegrasi dengan penyimpanan termal.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan serbuk tembaga pada PCM sebagai penyimpanan termal terhadap efisiensi pemanas air tenaga matahari.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalahnya yaitu :



ng dipakai adalah pelat tembaga yang diintegrasikan dengan

gunakan untuk menyimpan panas adalah PCM dan serbuk jumlah serbuk tembaga yang digunakan yaitu, 18, 30, dan 42

yang diujikan adalah  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $60^\circ$ .

## 1.5 Landasan Teori

### 1.5.1 Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari

Pemanas air menggunakan energi matahari yaitu mengumpulkan energi matahari kemudian digunakan untuk memanaskan air. Penggunaan energi matahari dapat memangkas atau mengurangi biaya energi listrik dan juga memiliki dampak terhadap lingkungan yaitu mengurangi emisi karbon dioksida. Adapun pemanas air yang menggunakan energi matahari biasanya disebut Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari (SPATM), dengan memanfaatkan kolektor pelat datar dimana terdapat pipa-pipa yang dapat menghantar panas dengan baik dan aliran fluida yang berfungsi untuk mengalirkan fluida cair berupa air yang akan dipanaskan serta isolasi untuk mengurangi kerugian kelingkungan (Darwin,2020).

Energi matahari sebagai energi alternatif memiliki potensi daya yang besar untuk dikembangkan sebagai sumber energi cadangan, utamanya pada negara-negara di garis khatulistiwa seperti Indonesia. Energi matahari bersifat *renewable* atau terbarukan, tidak menimbulkan polusi sehingga tetap ramah lingkungan jika digunakan. Pemanfaatan energi matahari yang dilakukan terdapat dua jenis yaitu, pemanfaatan termal energi matahari dan energi matahari fotovoltaik. Penelitian mengemukakan bahwa kerapatan daya pada energi matahari yang menembus atmosfer rata-rata sebesar  $1.2 \text{ kW/m}^2$ , namun yang diserap bumi sebesar  $560 \text{ W/m}^2$ , sehingga dengan luas seluruh daratan di Indonesia yaitu  $\pm 2 \text{ juta km}^2$  berpotensi dapat dibangkitkan energi matahari sebesar  $5.108 \text{ MW}$ . Pengeringan dengan metode konvensional banyak dilakukan masyarakat dengan memanaskan bahan baku langsung dibawah terik matahari yang dilakukan di tempat terbuka. Proses pengeringan secara konvensional tidak bisa dilakukan ketika matahari terbenam, sehingga pengeringan terbatas waktu hingga waktu petang. Salah satu solusi untuk menangani permasalahan yang timbul pada pengering konvensional yaitu menggunakan modifikasi pengering dengan memanfaatkan energi udara panas dari energi panas fluida air yang bersirkulasi melewati alat penukar panas, dimana sumber panas yang diperoleh fluida air didapat dari Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari (SPATM). Pada pemanas air tenaga matahari terdapat bagian *absorber* yaitu berfungsi menyerap energi termal matahari. Alat pemanas air tenaga matahari mempunyai teori efek rumah kaca. Energi panas yang diterima dari radiasi akan terjebak dikarenakan terdapat lapisan kaca yang terletak pada bagian atas kolektor pemanas dan energi panas selanjutnya akan dialirkan ke pipa yang menampung fluida. Cara kerja dalam pemanas air tenaga matahari meliputi prinsip perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi. Mekanika fluida dan peralatan konveksi



Prinsip dasar dalam alat pemanas air tenaga matahari. Kolektor akan menangkap energi radiasi dari sinar matahari, kemudian induktif sesuai ukuran panjang pelat penyerap dan dinding dari pipa saluran pada kolektor yang sudah panas akan da melalui mekanisme konveksi. Tujuan modifikasi instalasi yaitu mempertahankan panas lebih lama walaupun tidak ada matahari pada waktu petang (Retno,2022).

Setiap menit matahari meradiasikan energi sebesar  $56 \times 10^{26}$  kalori. Indonesia menerima energi matahari dengan radiasi energi harian rata-rata sebesar  $4,8 \text{ kWh/m}^2$ . Energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai penyedia energi melalui dua macam teknologi, yaitu energi matahari termal dan fotovoltaik. Energi matahari termal diperoleh dengan cara mengkonversikan energi radiasi cahaya matahari menjadi panas sehingga dapat dimanfaatkan untuk berbagai kegunaan dengan menggunakan kolektor matahari. Kolektor matahari dibagi menjadi 3 jenis yaitu, *Flat Plate Collector (FPC)*, *Concentrating Collector (CC) / Parabolic Trough Collector (PTC)*, dan *Evacuated Tube Collector (ETC)*. Kolektor matahari tipe pelat datar adalah kolektor matahari yang dapat menyerap energi matahari dari sudut kemiringan tertentu sehingga pada proses penggunaannya dapat lebih mudah dan lebih sederhana, dalam aplikasinya kolektor pelat datar digunakan untuk memanaskan udara dan air (Ridwan,2019).

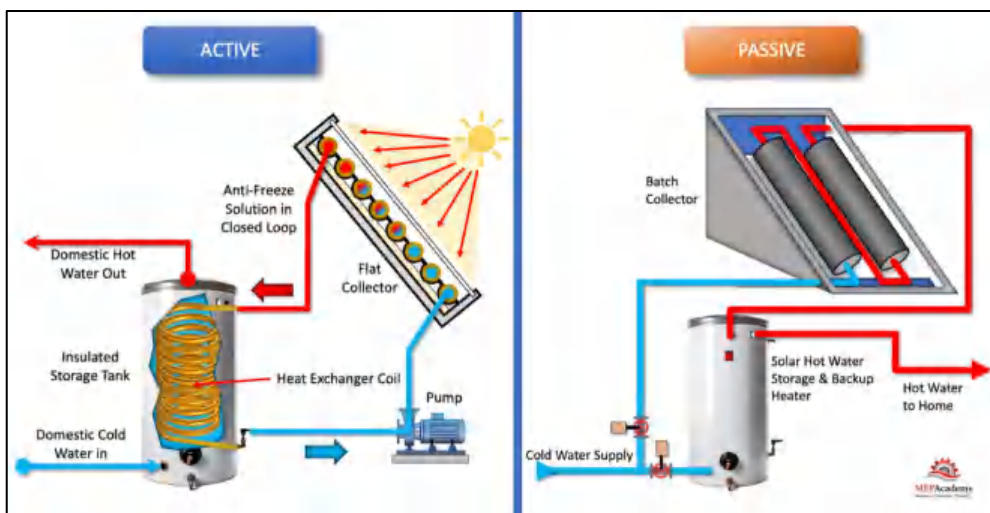
Adapun pemanas air yang menggunakan energi matahari disebut Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari (SPATM). Berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor1405/menkes/sk/xi/2002 temperatur air panas untuk keperluan mandi dan mencuci tangan adalah  $40\text{--}45^\circ\text{C}$ , maka solar water heater yang akan dirancang harus mencapai suhu tersebut. Alat pemanas air yang dirancang dalam penelitian ini merupakan alat pemanas air tenaga matahari dengan memanfaatkan panas dari sistem kolektor thermal. Pada proses konversi energi di kolektor termal, radiasi matahari jatuh ke atas permukaan kaca dan di pantulkan kembali, dalam waktu bersamaan pelat aluminium yang dicat hitam menyerap panas, sehingga pada rongga kolektor termal akan terkumpul panas. Kemudian panas akan mengenai pipa tembaga sebagai media pemindah panas secara konduksi dan konveksi, sehingga air pada pipa akan mengalami kenaikan suhu. Faktor penting dalam pemanfaatan energi matahari dalam pemanas air ialah intensitas radiasi matahari. Dalam konteks penelitian ini bertujuan untuk menganalisa panas yang dimanfaatkan untuk memanaskan air dari intensitas radiasi total yang diterima oleh kolektor, dan menganalisa laju konveksi, serta efisiensi pemanasan air pada alat Sistem Pemanas Air Tenaga Matahari (SPATM) (Ridwan,2019).

Dalam sistem pemanas air tenaga matahari, air dapat dipanaskan langsung di kolektor (sistem langsung) atau secara tidak langsung oleh fluida perpindahan panas yang dipanaskan di kolektor, kemudian melewati penukar panas untuk mentransfer panas ke air rumah tangga atau air layanan (sistem tidak langsung). Cairan perpindahan panas dapat diangkut secara alami (sistem pasif) atau dengan sirkulasi paksa (sistem aktif). Sirkulasi alami terjadi melalui konveksi alami (thermosiphon), sedangkan sirkulasi paksa menggunakan sistem pompa. Kecuali termosifon dan kolektor terintegrasi yang tidak memerlukan kontrol, sistem mestik dan layanan air panas dikendalikan menggunakan (Breeze et al., 2009).



sif karena tidak menggunakan pompa, sedangkan sistem aktif  
na untuk mengalirkan cairan. Dalam sistem termosifon,  
ir terjadi secara alami melalui konveksi, mengangkut air panas  
penyimpanan. Air di kolektor mengembang dan kepadatannya

berkurang saat dipanaskan oleh matahari, sehingga naik ke bagian atas tangki penyimpanan. Air yang lebih dingin kemudian menggantikan posisinya dengan tenggelam ke dasar tangki dan mengalir ke kolektor. Sirkulasi ini berlangsung terus menerus selama ada sinar matahari. Jalur penghubung harus diisolasi dengan baik untuk mencegah kehilangan panas dan harus miring untuk mencegah pembentukan kantong udara yang dapat menghentikan sirkulasi (Breeze et al., 2009). Untuk sistem pemanas air tenaga matahari aktif dan pasif, lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini.



**Gambar 1.** Sistem pemanas air tenaga matahari aktif dan pasif  
(Sumber : MEPAcademy)

Pada malam hari, atau kapan pun kolektor lebih dingin daripada air di dalam tangki, aliran termosifon bisa berbalik, menyebabkan air yang disimpan menjadi dingin. Salah satu cara untuk mencegah hal ini adalah dengan meletakkan bagian atas kolektor lebih rendah (sekitar 30 cm) dari bagian bawah tangki penyimpanan. Kerugian utama dari sistem termosifon adalah membutuhkan perbedaan ketinggian, yang mana membuatnya kurang menarik secara estetika. Biasanya, tangki penyimpanan air dingin dipasang di atas kolektor matahari untuk memasok silinder air panas dan kebutuhan air dingin rumah, sehingga membuat unit kolektor lebih tinggi dan kurang menarik. Selain itu, air yang sangat sadah atau asam dapat menyebabkan timbunan kerak atau korosi pada saluran cairan penyerap (Breeze et al., 2009).

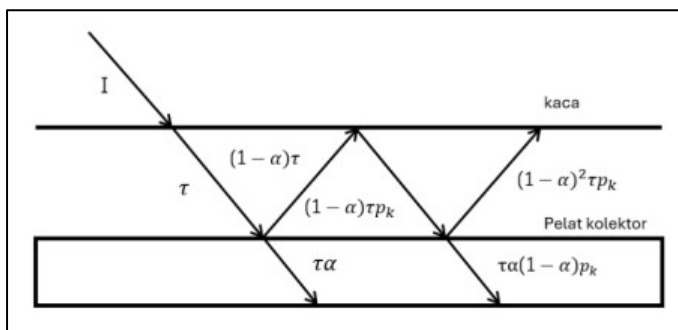


### tahari

merupakan salah satu bagian penting dari sistem pemanas air digunakan sebagai penukar panas. Mereka mengumpulkan radiasi dari matahari, mengubahnya menjadi panas, dan mentransfer panas itu ke fluida yang lebih dingin (biasanya air atau udara). Mereka digunakan untuk pemanasan ruang perumahan atau komersial dan pemanas kolam matahari, dan lain – lain. Pemilihan kolektor

matahari yang cocok tergantung pada beberapa faktor. Di Kanada, perlu untuk memilih kolektor matahari yang dapat dilindungi dari pembekuan (Kalogirou, 2009).

Alat yang berfungsi menyerap efek radiasi sinar matahari dan merubahnya merubahnya menjadi energi panas (kalor) yang berguna. Pada gambar 2 dijelaskan mengenai penyerapan radiasi oleh pelat penyerap. Berkas radiasi matahari yang mengenai kolektor, pertama akan menembus penutup transparan (kaca), kemudian mengenai absorber. Radiasi ini sebagian dipantulkan kembali oleh penutup kaca sebagiannya lagi diserap oleh absorber. Sehingga akan terjadi proses pemantulan yang terulang. Kolektor matahari dapat digunakan untuk memanaskan air, sama seperti sel matahari, sumber energi utama kolektor matahari adalah sinar matahari. Hal ini ditunjukkan pada Gambar penyerapan radiasi pada kolektor.



**Gambar 2.** Penyerapan radiasi oleh pelat penyerap  
(Sumber : Razali, 2019)

Kemampuan kolektor matahari untuk menangkap atau menyimpan radiasi tergantung dari intensitas penyinaran matahari dan karakter kolektor sendiri yaitu reflektifitas ( $\rho$ ), konduktivitas ( $K$ ), absorptivitas ( $\alpha$ ), dan emisivitas ( $\epsilon$ ). Dan untuk meningkatkan performa kerja kolektor yang tinggi maka harus mempunyai absorptivitas yang tinggi dan juga dengan memaksimalkan lebar pelat (Razali,2019).

### 1.5.3 Pelat Absorber Bentuk Datar

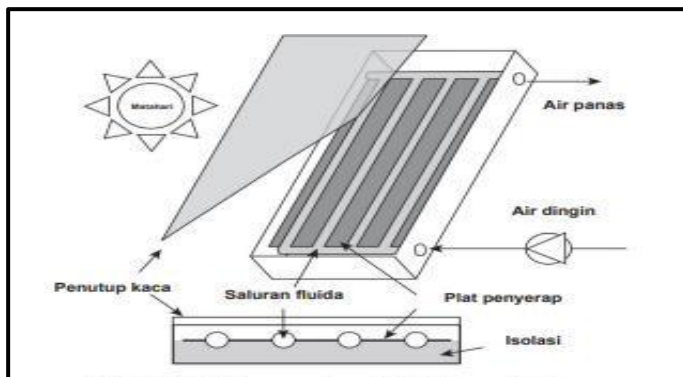
Kolektor Matahari Pelat Datar merupakan sebuah media yang paling sederhana dari jenis kolektor lainnya, yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir dengan mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi panas. Fluida yang dipanaskan biasanya berupa air, minyak, oli, dan udara. Dalam aplikasinya kolektor pelat datar digunakan untuk memanaskan udara dan air yang berada didalam pipa, pipa dibentuk menyerupai hairpin. Pipa yang digunakan bisa terbuat dari pipa paralon, pipa tembaga, ataupun pipa aluminium yang dicat hitam (Putri,2020).



ng dari setiap sistem pengumpulan energi matahari yang operasi pada rentang suhu rendah (kurang dari  $60^{\circ}\text{C}$ ) atau dalam gah (kurang dari  $100^{\circ}\text{C}$ ). Digunakan untuk menyerap energi nya menjadi panas, dan kemudian mentransfer panas ke aliran menggunakan radiasi matahari langsung dan menyebar, tidak an Matahari, dan membutuhkan sedikit perawatan. FPC secara ana daripada pengumpul konsentrasi. Aplikasi utama dari unit

ini adalah untuk pemanas air matahari, pemanas gedung, AC, dan panas proses industri (Putri,2020).

Kolektor pelat datar dapat dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan kenaikan temperatur yang sedang, hingga mungkin  $100^{\circ}\text{C}$  diatas temperatur ambien. Kolektor pelat datar menggunakan sinar matahari dan radiasi matahari difusi, tidak memerlukan tracking matahari dan hanya sedikit memerlukan perawatan. Secara mekanik lebih simple dari kolektor konstating. Aplikasi untuk kolektor pelat datar adalah pemanasan air pada bangunan, pemanas awal pada industri industri pembangkit (Darwin,2020). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



**Gambar 3.** Absorber pelat datar  
(Sumber: Ioan Sarbu, 2018)

#### 1.5.4 Thermal Energy Storage (TES)

Terdapat beberapa jenis teknologi penyimpanan energi panas yang sudah digunakan saat ini. Berdasarkan jenis panasnya, teknologi penyimpanan energi panas terbagi menjadi dua, yaitu: sensible heat dan latent heat. Pada sensible heat medium yang digunakan untuk menyimpan energi adalah material satu fasa, sedangkan pada latent heat medium yang digunakan adalah phase change material (PCM). Pemilihan dari jenis teknologi penyimpanan energi panas yang digunakan tergantung pada pemanfaatannya. Sebagai contoh, ketika memanaskan air sensible heat lebih cocok digunakan jika dibandingkan dengan latent heat (Ismail H, 2020).

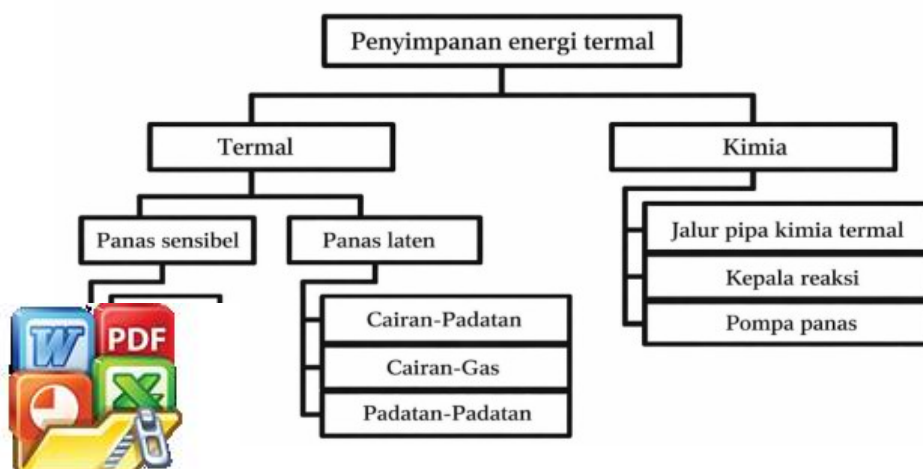
Penggunaan teknologi penyimpanan energi akan sangat berdampak karena dapat menjembatani ketidakcocokan pada kebutuhan dan suplai energi. Dari semua jenis teknologi penyimpanan energi panas, jenis latent heat lebih banyak diinvestigasi karena kemampuannya yang dapat menyimpan energi dalam jumlah yang besar sebagai media penyimpanan panas. Beberapa teknik untuk meningkatkan performa perpindahan panas yang latent. Salah satu cara yang digunakan untuk meningkatkan perpindahan panas adalah dengan menambah luas permukaan bidang. Peningkatan perpindahan panas dengan cara



menambahkan permukaan bidang dengan menambahkan permukaan tambahan seperti sirip longitudinal, sirip sirkular, pelat partisi berlubang, dan desain mengular (Ismail H, 2020).

Nilai dari konduktivitas panas PCM ketika berfasa cair lebih dari dua kali lipat lebih rendah jika dibandingkan ketika berfasa solid. Dikarenakan sistem diorientasikan secara vertikal dan ketebalan PCM yang digunakan pada sistem ini juga sangat kecil, pengaruh dari konveksi alamiah kecil sehingga perpindahan panas sebagian besar berpindah secara konduksi. Hal ini sejalan dengan penemuan yang menemukan bahwa peningkatan perpindahan panas akibat dari konveksi natural pada pelat datar meningkat ketika lebar dari sistem yang digunakan juga membesar. Oleh karena itu penurunan nilai dari konduktivitas panas berpengaruh besar terhadap laju perpindahan panas. Semakin lama sistem berjalan maka fraksi liquid dari PCM juga semakin meningkat yang mengakibatkan konduktivitas panas dari PCM menurun sehingga laju perpindahan panas semakin menurun. Perbedaan nilai konduktivitas panas secara langsung menyebabkan laju perpindahan panas berubah dengan cepat pada 10 menit awal sistem beroperasi. Pada  $t = 0$ , nilai laju perpindahan panas adalah 2087.8 Watt. Namun ketika  $t = 10$  menit, laju perpindahan panas bernilai kurang dari 20 Watt. Hal ini terjadi karena pada waktu tersebut dinding pipa tembaga bagian dalam sudah terlapiasi oleh PCM dengan fasa cair (Gambar 7), sehingga nilai konduktivitas panas PCM akan menurun lebih dari dua kali lipat dan menyebabkan laju perpindahan panas menurun secara signifikan. Semakin tebal lapisan PCM yang berfasa cair, maka perpindahan panas pada arah sumbu-y juga akan semakin lambat terjadi. Hal yang sama juga ditemukan bahwa lapisan PCM yang mencair disekitar dinding pipa akan menurunkan perpindahan panas secara signifikan. (Gambar 8) menunjukkan pada menit ke-60 diameter 0.015 m dan 0.0175 m menghasilkan fraksi liquid PCM lebih rendah 5.07% dan 10.5% jika dibandingkan dengan fraksi liquid ketika menggunakan diameter 0.0127 m (Ismail H, 2020).

Klasifikasi penyimpanan energi termal dapat dilihat pada gambar 4 dibawah :

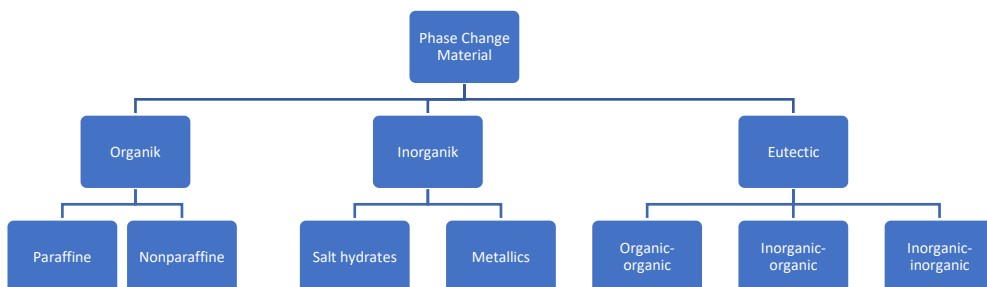


**Gambar 4.** Klasifikasi penyimpanan energi termal  
(Sumber: Ioan Sarbu, 2018)

### 1.5.5 PCM (Phase Change Material)

Phase Change Materials adalah material perubahan fase (gas-cair-padat), ada penyerapan/pelepasan panas pada suhu yang hampir konstan. Untuk penyimpanan energi, perubahan fase cair-padat adalah satu-satunya yang praktis, dan bahan tersebut harus memiliki panas laten yang besar dan konduktivitas termal yang tinggi. Bahan perubahan fase menyimpan energi panas 5 hingga 14 kali lebih banyak per satuan volume daripada bahan penyimpanan konvensional (air, pasangan bata, dan batuan). Ada sejumlah besar bahan perubahan fase dalam kisaran suhu dari  $-5^{\circ}\text{C}$  hingga  $190^{\circ}\text{C}$ . Bahan organik seperti parafin dan asam lemak memiliki perubahan fase dalam kisaran ini. Beberapa masalah dengan menggunakan bahan perubahan fase adalah stabilitas sifat termal di bawah siklus yang diperpanjang dan kadang-kadang pemisahan fase dan subcooling. Panas fusi untuk air adalah  $333,6 \text{ kJ/kg}$  atau  $319,8 \text{ MJ/m}^3$ . Ingat, kepadatan es kurang dari itu untuk air, jadi wadah harus memiliki ruang untuk ekspansi air dalam fase padat. Contoh penyimpanan perubahan fase untuk gedung perkantoran adalah es yang dibuat di musim dingin, disimpan di reservoir bawah tanah, dan kemudian digunakan untuk pendinginan selama musim panas (Nelson, 2009).

Secara umum, penyimpanan panas laten adalah yang paling menjanjikan di antara berbagai metode penyimpanan energi panas. Dalam tes panas laten; energi disimpan dalam bahan perubahan fase (PCM) melalui perubahan suatu zat dari satu fase ke fase lainnya. Pada gambar 5 dapat dilihat daftar bahan yang sering digunakan sebagai bahan penyimpanan panas laten.



**Gambar 5.** Daftar bahan yang paling mungkin digunakan untuk penyimpanan panas laten  
(Sumber: Avghad et al., 2016)

Ketika suhu meningkat, bahan berubah dari fase padat menjadi cair dan menyerap panas dalam proses endotermik. Ketika suhu berkurang, bahan berubah dari fase cair ke padat dan melepaskan panas. Karena PCM dalam bentuk panas laten fusi, tidak ada penurunan suhu yang signifikan saat melepaskan panas. Penyimpanan energi harus melalui proses perubahan fase: padat-padat, padat-cair, padat-gas dan cair-gas. Dalam proses ini, energi disimpan oleh transformasi kristal material. Transisi ini melibatkan perubahan panas laten yang jauh lebih kecil dan perubahan volume kecil.



Akibatnya, PCM padat-padat memiliki keuntungan dari persyaratan kontainer yang kurang ketat yang memungkinkan fleksibilitas desain yang lebih besar. Di sisi lain, transformasi padat-cair memainkan peran penting dalam TES panas laten karena memberikan kepadatan penyimpanan energi yang tinggi dan memiliki panas fusi laten yang jauh lebih tinggi. Berbeda dengan transisi fase padat-padat dan padat-cair, transisi padat-gas dan gas cair memiliki keuntungan dari panas fusi laten yang lebih tinggi, tetapi perubahan volumenya yang besar selama proses perubahan fase meningkatkan kesulitan dan kompleksitas sistem penyimpanan (Avghad et al., 2016).

### 1.5.6 Parafin Wax

Lilin parafin adalah campuran hidrokarbon jenuh yang biasanya terdiri dari campuran alkana yang berbeda. Parafin dicirikan oleh rantai karbon lurus atau bercabang dengan rumus generik  $C_nH_{2n+2}$  ( $C_{20}H_{42}$  hingga  $C_{40}H_{84}$ ), dan memiliki suhu leleh mulai dari  $23^\circ$  hingga  $67^\circ C$ . Parafin adalah padatan putih, semi-transparan, hambar dan tidak berbau dengan sifat umum seperti tekstur halus, anti air, toksisitas rendah, bebas dari bau dan warna yang tidak menyenangkan. Parafin mudah terbakar dan memiliki sifat dielektrik yang baik. Larut dalam benzena, ligroin, alkohol hangat, kloroform dan karbon disulfida, tetapi tidak larut dalam air dan asam. Parafin digunakan untuk pelengkap lilin, lapisan kertas, sealant pelindung untuk produk makanan dan minuman, pelengkap pembersihan kaca, dukungan karpet panas-meleleh, mulsa biodegradable, pelumas, dan sumbat untuk botol asam, serta isolasi listrik. Parafin digunakan sebagai bahan perubahan fase untuk aplikasi penyimpanan termal, karena mereka memiliki sebagian besar sifat yang diperlukan. Memiliki panas laten fusi yang tinggi, pendinginan super yang dapat diabaikan, tekanan uap rendah dalam keadaan cair, mereka secara kimiawi lembam, memiliki stabilitas kimia, nukleasi diri, tersedia secara komersial, tidak berbahaya secara ekologis, tersedia dan murah. Kapasitas panas spesifik mereka adalah sekitar  $2,1 \text{ kJ/kg.K}$ , dan entalpi mereka terletak antara  $180$  dan  $230 \text{ kJ/kg}$ , cukup tinggi untuk bahan organik. Kombinasi kedua nilai ini menghasilkan kepadatan penyimpanan energi yang sangat baik. Karena karakteristik yang diinginkan inilah lilin parafin digunakan sebagai PCM dalam penelitian ini. Lilin parafin dikatakan sebagai PCM padat-cair konvensional, dan karenanya tidak nyaman digunakan secara langsung sebagai bahan perubahan fase. Ini berarti bahwa lilin parafin perlu dienkapsulasi untuk mencegah, misalnya, kebocoran lilin parafin cair selama transisi fase. Memiliki konduktivitas termal yang rendah dan perubahan volume yang besar selama transisi fase. Penerapan bahan perubahan fase telah menemukan pentingnya dalam berbagai sistem mulai dari penyimpanan energi hingga perlindungan termal. Pada

memiliki sifat-sifat yang penting untuk diketahui, berikut dijelaskan ezulu M.E., 2009).



**Tabel 1.** Sifat fisik lilin paraffin

Properti	Nilai
Melting	40°C – 53°C
Heat of Fusion (Hf)	251 kJ/kg
Cp (solid)	1,92 kJ/kg·K
Cp (liquid)	3,26 kJ/kg·K
k (solid)	0,514 W/m·K
k (liquid)	0,224 W/m·K
$\rho$ (density)	830 kg/m <sup>3</sup>

### 1.5.7 Serbuk Tembaga

Serbuk logam umumnya diproduksi dengan proses atomisasi (sentrifugal, gas, atau air), elektrolisis, atau kimia. Logam umumnya memiliki struktur kristal (crystalline), agar dapat diperoleh serbuk logam berstruktur nonkristal atau amorf (amorphous) maka proses yang dipilih adalah reaksi kimia. Untuk memperoleh serbuk tembaga berstruktur amorf maka dilakukan reaksi antara larutan tembaga (II) sulfat (atau CuSO<sub>4</sub>) dengan logam seng (atau Zn) pada temperatur dan kecepatan agitasi yang relatif tinggi. Sedangkan untuk meningkatkan kemurnian logam tembaga (atau Cu) yang dihasilkan digunakan gas inert selama berlangsungnya reaksi kimia tersebut. Karakterisasi terhadap serbuk logam yang dihasilkan dilakukan dengan analisis menggunakan sinar x. Aplikasi logam amorf antara lain adalah sebagai material soft-magnetic dan aplikasi yang membutuhkan material amorf yang ketangguhannya lebih tinggi dibandingkan material amorf yang lain seperti keramik. Ini merupakan penelitian awal pembuatan serbuk tembaga berstruktur amorf, sebab untuk bisa memperoleh logam yang nonkristal (metallic glass/glassy metal) adalah hal yang sulit, bahkan untuk memperoleh serbuk logam yang kemurniannya cukup tinggi pun dengan proses ini bukanlah hal yang mudah (Yunita Sari, 2020). Pada gambar 6 diperlihatkan mengenai bentuk daripada serbuk tembaga.



**Gambar 6.** Serbuk Tembaga  
(Sumber: Yunita Sari, 2020)



### 1.5.8 Perpindahan Panas

Panas dapat didefinisikan sebagai bentuk energi yang dapat ditransfer dari satu sistem ke sistem lainnya akibat perbedaan suhu. Analisis termodinamika berkaitan dengan jumlah perpindahan panas ketika suatu sistem mengalami perubahan dari satu keadaan setimbang ke keadaan setimbang lainnya. Ilmu yang mempelajari laju perpindahan energi tersebut disebut perpindahan panas. Energi sebagai panas selalu berpindah dari medium bersuhu lebih tinggi ke medium bersuhu lebih rendah, dan perpindahan panas berhenti ketika kedua medium mencapai suhu yang sama. Panas dapat ditransfer melalui tiga mode berbeda: konduksi, konveksi, dan radiasi. Semua mode perpindahan panas memerlukan perbedaan suhu dan terjadi dari medium bersuhu tinggi ke medium bersuhu lebih rendah (Kanoglu,2023). Di bawah ini penjelasan singkat masing-masing mode :

#### a. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi dari partikel yang lebih berenergi dari suatu zat ke partikel yang kurang energiknya sebagai akibat interaksi antar partikel. Konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair, atau gas. Dalam gas dan cairan, konduksi disebabkan oleh tumbukan dan difusi molekul selama gerakan acaknya. Dalam padatan, hal ini disebabkan oleh kombinasi getaran molekul dalam kisi dan transpor energi oleh elektron bebas. Minuman kaleng dingin di ruangan hangat, misalnya, pada akhirnya akan menghangat hingga mencapai suhu ruangan akibat perpindahan panas dari ruangan ke minuman melalui kaleng aluminium secara konduksi. Laju konduksi panas melalui suatu medium bergantung pada geometri medium, ketebalannya, dan bahan medium, serta perbedaan suhu antar medium. Kita tahu bahwa membungkus tangki air panas dengan wol kaca (bahan isolasi) mengurangi laju kehilangan panas dari tangki. Semakin tebal isolasinya, semakin kecil kehilangan panasnya. Kita juga mengetahui bahwa tangki air panas kehilangan panas dengan kecepatan lebih tinggi ketika suhu ruangan yang menampung tangki tersebut diturunkan. Selanjutnya, semakin besar tangki, semakin besar pula luas permukaan dan dengan demikian laju kehilangan panas (Cengel, 2015).

Jadi kita menyimpulkan bahwa laju konduksi panas melalui suatu lapisan bidang berbanding lurus dengan perbedaan suhu melintasi lapisan dan luas perpindahan panas, namun berbanding terbalik dengan ketebalan lapisan (Cengel, 2015).

Persamaan laju perpindahan panas secara konduksi :

$$Q_{\text{konduksi}} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Dimana :

$Q_{\text{konduksi}}$  = Laju perpindahan panas secara konduksi (W)

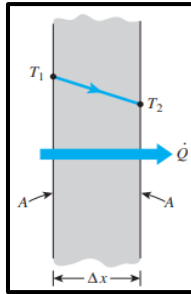
$k$  = Konduktivitas termal (W/m·K)

$A$  = luas area perpindahan panas (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = perbedaan temperatur yang melalui suatu material (°C)



$\Delta x$  = Ketebalan material (m)



**Gambar 7.** Perpindahan panas secara konduksi  
(Sumber: Cengel.,2015)

Pada gambar 7 dijelaskan mengenai perpindahan panas secara konduksi dari satu sisi benda ke sisi sebelahnya.

#### b. Konveksi

Konveksi adalah cara perpindahan energi antara permukaan padat dan cairan atau gas di dekatnya yang sedang bergerak, dan ini melibatkan efek gabungan konduksi dan gerakan fluida. Semakin cepat gerak fluida maka perpindahan panas konveksi semakin besar. Dengan tidak adanya gerakan fluida massal, perpindahan panas antara permukaan padat dan fluida di dekatnya terjadi secara konduksi murni. Adanya gerakan sebagian besar fluida meningkatkan perpindahan panas antara permukaan padat dan fluida, namun juga mempersulit penentuan laju perpindahan panas. Konveksi disebut konveksi paksa jika fluida dipaksa mengalir di atas permukaan dengan cara eksternal seperti kipas angin, pompa, atau angin. Sebaliknya, konveksi disebut konveksi alami (atau bebas) jika gerak fluida disebabkan oleh gaya apung yang disebabkan oleh perbedaan massa jenis akibat variasi suhu dalam fluida (Cengel, 2015).

Persamaan laju perpindahan panas secara konveksi :

$$Q_{\text{konveksi}} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (2)$$

Dimana :

$Q_{\text{konveksi}}$  = Laju perpindahan panas secara konveksi (W)

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi ( $W/m^2 \cdot K$ )

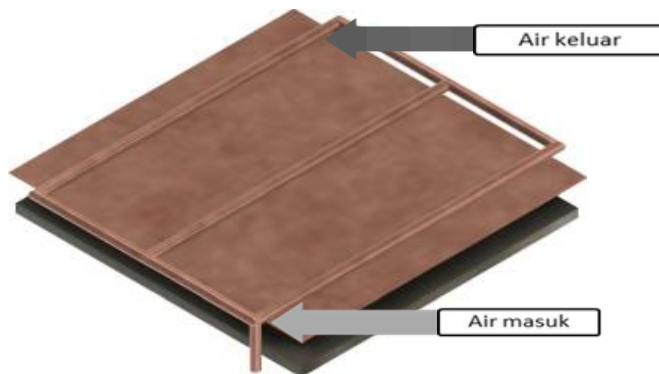
$A_s$  = Luas permukaan tempat terjadinya perpindahan panas konveksi ( $m^2$ )

= Temperatur dinding ( $^{\circ}C$ )

= Temperatur sekeliling ( $^{\circ}C$ )



is konveksi dapat diperhatikan pada gambar 8 di bawah, yang nbar daripada alat uji. Perpindahan panas konveksi terjadi pada ari inlet ke outlet, yang menyebabkan temperatur outlet lebih eratur inlet.



**Gambar 8.** Perpindahan panas secara konveksi

c. Radiasi

Radiasi adalah energi yang dipancarkan materi dalam bentuk gelombang elektromagnetik (atau foton) sebagai akibat dari perubahan konfigurasi elektronik atom atau molekul. Berbeda dengan konduksi dan konveksi, perpindahan panas secara radiasi tidak memerlukan adanya media perantara. Faktanya, perpindahan panas melalui radiasi terjadi paling cepat (pada kecepatan cahaya) dan tidak mengalami redaman dalam ruang hampa. Beginilah cara energi matahari mencapai bumi. Berbeda dengan bentuk radiasi elektromagnetik lain seperti sinar X, sinar gamma, gelombang mikro, gelombang radio, dan gelombang televisi yang tidak berhubungan dengan suhu. Semua benda pada suhu di atas nol mutlak memancarkan radiasi termal. Radiasi adalah fenomena volumetrik, dan semua benda padat, cair, dan gas memancarkan, menyerap, atau mentransmisikan radiasi dalam derajat yang berbeda-beda (Cengel, 2015).

Persamaan laju perpindahan panas secara radiasi :

$$Q_{\text{radiasi}} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{\text{surr}}^4) \quad (3)$$

Dimana :

$Q_{\text{radiasi}}$  = Laju perpindahan panas secara radiasi (W)

$\varepsilon$  = Emisivitas

$\sigma$  = Konstanta boltzman ( $5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

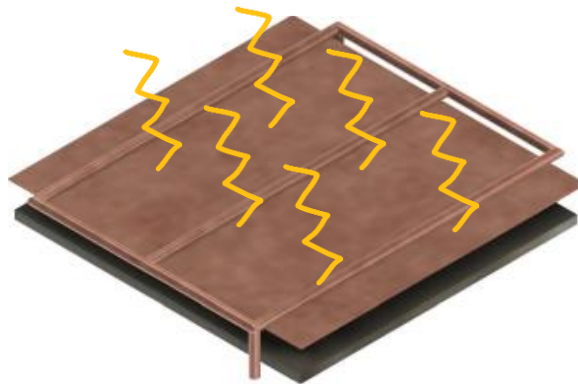
$A_s$  = luas permukaan material ( $\text{m}^2$ )

$T_s$  = temperatur permukaan ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\text{surr}}$  = temperatur sekeliling ( $^{\circ}\text{C}$ )



Pada gambar 9 diperlihatkan benda uji yang terpapar sinar matahari, sehingga terjadi perpindahan panas radiasi.



**Gambar 9.** Perpindahan panas secara radiasi

### 1.5.9 Formulasi Kesetimbangan Energi Pada Solar Water Heater

Untuk kondisi steady, kinerja sebuah kolektor ditentukan oleh kesetimbangan energi melalui distribusi energi matahari sebagai sumber kalor (energi gain), kehilangan termal (thermal losses), dan kehilangan optikal (optical losses). Besarnya energi yang berguna pada kolektor dinyatakan dengan persamaan (Beckman et al., 2021) :

$$Q_u = A_c [S - UL (T_{pm} - T_a)] \quad (4)$$

Dimana :

- $Q_u$  = Kalor yang berguna (kW)
- $A_c$  = Luas Kolektor ( $m^2$ )
- $S$  = Radiasi Cahaya yang diserap per satuan luas ( $kW/m^2$ )
- $UL$  = Koefisien Perpindahan panas ( $kW/m^2.K$ )
- $T_{pm}$  = Temperatur rata-rata pelat (K)
- $T_a$  = Temperatur Ambien (K)

Selain itu, besarnya energi berasal dari fluida kerja melalui perbedaan temperatur masuk dan keluar pada kolektor yaitu :

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) \quad (5)$$

Dimana:

- $Q_u$  = Kalor yang berguna (kW)
- $\dot{m}$  = alirannya massa air (kg/s)
- $C_p$  = kapasitas panas spesifik air ( $kJ/kg.K$ )
- $T_{in}$  = Temperatur air masuk ke kolektor (K)
- $T_{out}$  = Temperatur air keluar dari kolektor (K)
- $\tau$  = Waktu kolektor pada periode waktu yang konstan dapat ditentukan

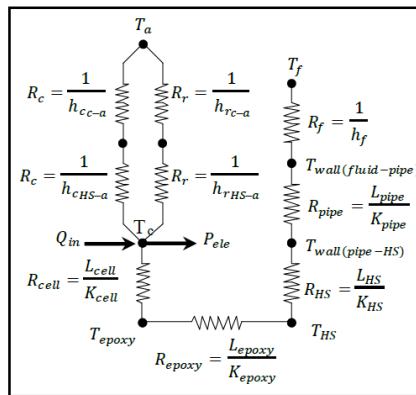
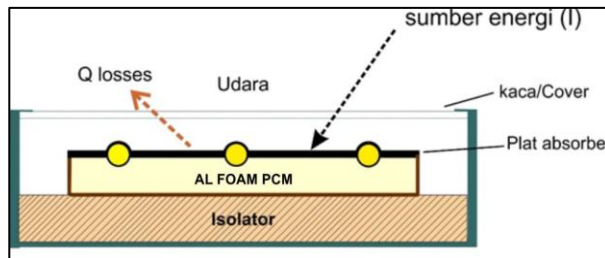


$$\eta = \frac{Q_u}{I_T \cdot A_c} \tag{6}$$

Dimana:

- $\eta$  = Efisiensi (%)
- $I_T$  = intensitas matahari total pada periode waktu sama(kW/m<sup>2</sup>)
- $Q_u$  = panas yang berguna (kW)
- $A_c$  = Luas Kolektor (m<sup>2</sup>)

Pada gambar 10 dijelaskan mengenai tata letak kaca, pelat absorber, isolator, serta sumber energi yang masuk pada benda uji serta tahanan termalnya.



**Gambar 10.** Tahanan termal pada kolektor (Sumber: Rida Ali,2022)

Adapun tahap perhitungan dalam mencari kerugian kalor pada benda uji sebagai berikut:

Analisis perpindahan panas:

1. Koefisien perpindahan panas konveksi antara kaca penutup dengan udara



$$h_c = 0.52 Re^{1/2} Pr^{1/3} \tag{7}$$

- = Bilangan Reynolds
- = Bilangan Prandtl

2. Koefisien perpindahan panas radiasi antara kaca penutup dengan udara luar.

$$h_{r\ c-a} = \varepsilon_c \sigma (T_c^2 + T_s^2) (T_c + T_s) \quad (8)$$

$$T_s = 0,5552 T_a^{1,5} \quad (9)$$

Dimana:

$h_{r\ c-a}$  = koefisien perpindahan panas radiasi (penutup dan udara luar) (W/m<sup>2</sup>.K)

$\varepsilon_c$  = Emisivitas penutup

$\sigma$  = konstanta Stefan-Boltzman (5,67×10<sup>-8</sup>, W/m<sup>2</sup>k<sup>4</sup>)

$T_c$  = temperatur penutup (K)

$T_s$  = temperatur sky (K)

$T_a$  = temperatur lingkungan (K)

3. Koefisien perpindahan panas konveksi antara pelat absorber dengan kaca penutup.

$$h_{c\ p-c} = \frac{N_u \cdot K}{L} \quad (10)$$

$$N_u = 1 + 1,44 \left[ 1 - \frac{1708(\sin 1,8\beta)^{1,6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right] + \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right] \quad (11)$$

Dimana:

$R_a$  = Bilangan Rayleigh

$\beta$  = sudut kemiringan (°)

$L$  = panjang karakteristik penutup (m)

4. Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup.

$$h_{r\ p-c} = \frac{\sigma (T_p^2 + T_c^2) (T_p + T_c)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (12)$$

Dimana:

$h_{r\ p-c}$  = Koefisien perpindahan panas radiasi pelat-penutup (W/m<sup>2</sup>.K)

$\varepsilon_c$  = emisivitas penutup

$\varepsilon_p$  = emisivitas pelat

$T_p$  = temperatur pelat

$T_c$  = temperatur penutup



$h_{tot}$  = koefisien perpindahan panas total kolektor.

$$U_t = \left( \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-a}} \right)^{-1} \quad (13)$$

$$U_b = \frac{1}{\frac{L_c}{k_c} + \frac{L_{Af}}{k_{Af}} + \frac{L_{besi}}{k_{besi}} + \frac{L_i}{k_i}} \quad (14)$$

$$U_L = U_t + U_b \quad (15)$$

Dimana:

$U_t$  = koefisien perpindahan panas bagian atas kolektor atas ( $W/m^2.K$ ).

$U_b$  = koefisien perpindahan panas bagian bawah kolektor ( $W/m^2.K$ ).

$U_L$  = koefisien perpindahan panas total kolektor ( $W/m^2.K$ ).

$L_c$  = ketebalan pelat tembaga penutup material penyimpan panas (m).

$k_c$  = konduktivitas pelat tembaga penutup material penyimpan panas ( $W/m.K$ ).

$L_{Af}$  = ketebalan material Aluminium Foam (m).

$k_{Af}$  = konduktivitas termal Aluminium Foam ( $W/m.K$ ).

$L_{besi}$  = ketebalan pelat besi casing material penyimpan panas (m).

$k_{besi}$  = konduktivitas pelat besi casing material penyimpan panas ( $W/m.K$ ).

$L_i$  = ketebalan isolator (m).

$k_i$  = konduktivitas termal isolator ( $W/m.K$ ).

#### 6. Kerugian panas kolektor.

$$Q_{loss} = U_L(T_i - T_a) \quad (16)$$

Dimana:

$Q_{loss}$  = Panas yang terbuang ( $W/m^2$ )

$U_L$  = koefisien perpindahan panas total kolektor ( $W/m^2.K$ ).

$T_i$  = temperatur inlet (K).

$T_a$  = temperatur Udara (K).



## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian secara eksperimental dari bulan Desember 2024 sampai Juni 2025. Lokasi dilaksanakannya di Laboratorium Energi Terbarukan Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

### 2.2 Variabel Penelitian

#### 2.1.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan sebelum dilakukan penelitian, yang terdiri dari :

- a. Intensitas *artificial sun* yaitu 1194 watt/m<sup>2</sup>
- b. Mengintegrasikan pelat absorber dengan termal energi storage
- c. Variasi jumlah serbuk tembaga yaitu 18 (2%), 30 (3,5%), dan 42 (5%) gram dari total berat volume PCM.
- d. Variasi kemiringan 0°, 30°, dan 60°.

#### 2.1.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya sangat bergantung pada variabel bebas dan merupakan hasil dari penelitian, yaitu :

- a. Temperatur air pada *outlet* pelat absorber
- b. Kalor yang tersimpan pada pelat absorber
- c. Efisiensi termal pada pelat absorber

#### 2.1.3 Variabel Kontrol

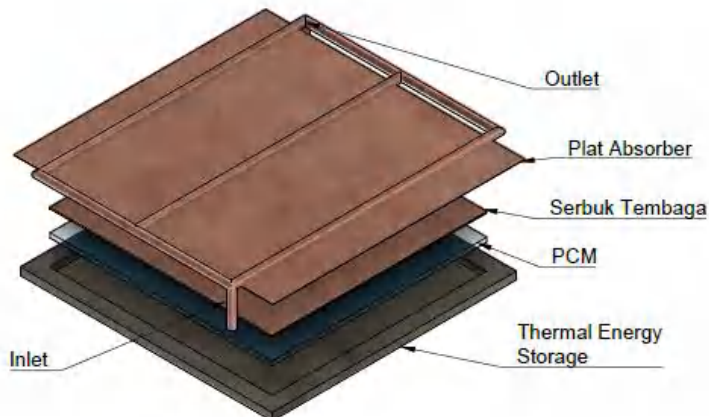
- a. Sensor yang terhubung langsung ke alat yang digunakan untuk mengetahui nilai dari tiap variabel pada sistem pemanas air.
- b. Komputer yang digunakan untuk menampilkan data dari sensor.

### 2.3 Benda Uji

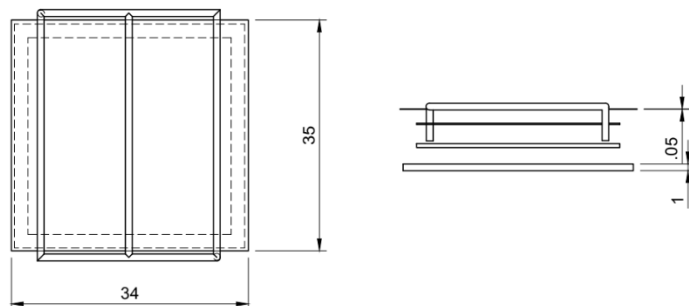


ambar 11. Pelat Absorber berbentuk datar





**Gambar 12.** Bagian-bagian benda uji



**Gambar 13.** Ukuran benda uji

Objek penelitian yang digunakan adalah pelat absorber berbentuk datar tanpa penyimpanan termal dan pelat absorber yang terintegrasi dengan *thermal energy storage* (TES). Pada gambar 11, gambar 12, dan gambar 13, diperlihatkan mengenai bentuk dari pelat absorber berbentuk datar, bagian-bagian pelat absorber, serta ukuran daripada pelat absorber itu sendiri. Pelat absorber sendiri terdiri dari pelat tembaga yang digabungkan dengan pipa tembaga, sebagaimana diketahui bahwa tembaga memiliki kemampuan menyerap panas dengan baik. Pada TES diberikan PCM serta serbuk tembaga yang masing-masing jumlah serbuk tembaganya sebanyak 18, 30, dan 42 gram.

Setelah itu pelat absorber dicat warna hitam supaya penyerapan panasnya dian objek penelitian ini dimasukkan kedalam alat uji GUNT ET pelat absorber dapat dilihat pada tabel 2 dibawah ini.

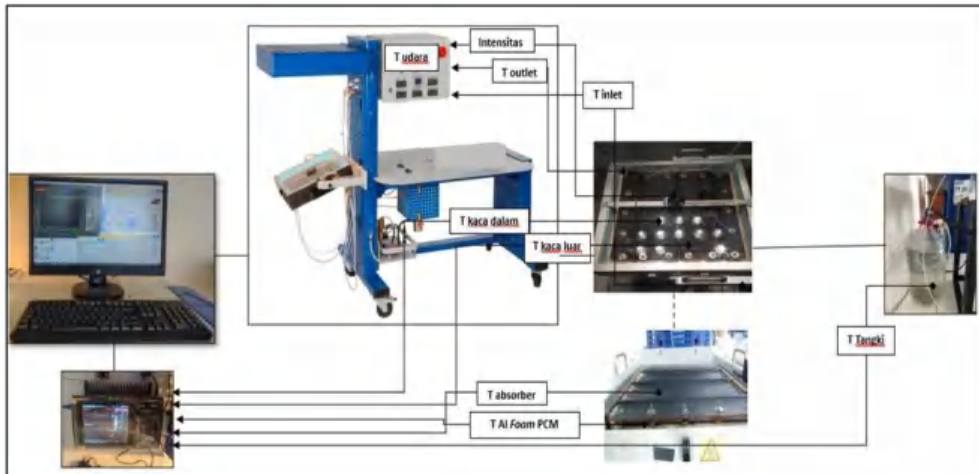
**Tabel 2.** Spesifikasi pelat absorber

pelat absorber	35 x 34 cm
	0.5 mm
	5/16 inch
	0.8 mm

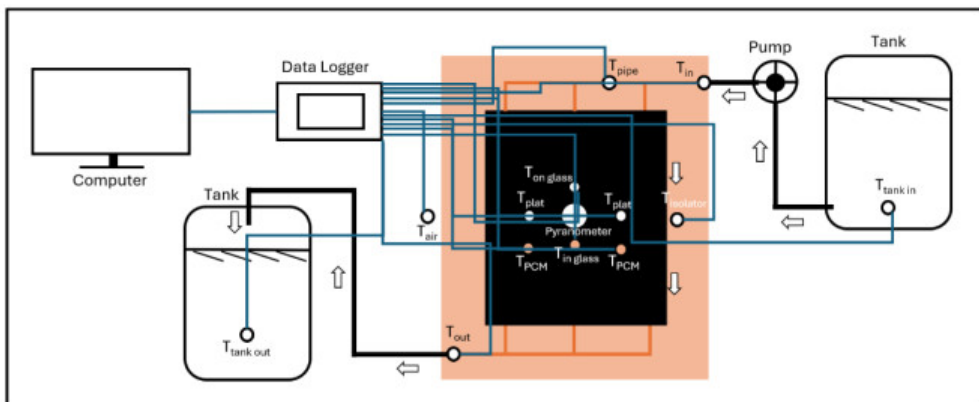


## 2.4 Teknik Pengumpulan Data

Adapun skema alat penelitian dan posisi sensor dapat dilihat pada gambar 14 dan 15 dimana diperlihatkan letak pelat absorber, tangki, data logger, dan alat-alat lainnya bekerja.



Gambar 14. Skema alat penelitian



Gambar 15. Skema alat penelitian dan posisi sensor

## 2.5 Teknik Analisis

Dalam menguji objek penelitian, dipasang sensor pada objek penelitian untuk mengetahui nilai dari tiap variabel yang memenuhi persamaan untuk lari objek penelitian. *Thermocouple* yang terpasang pada objek terhubung pada komputer sehingga dapat diketahui nilai dari tiap

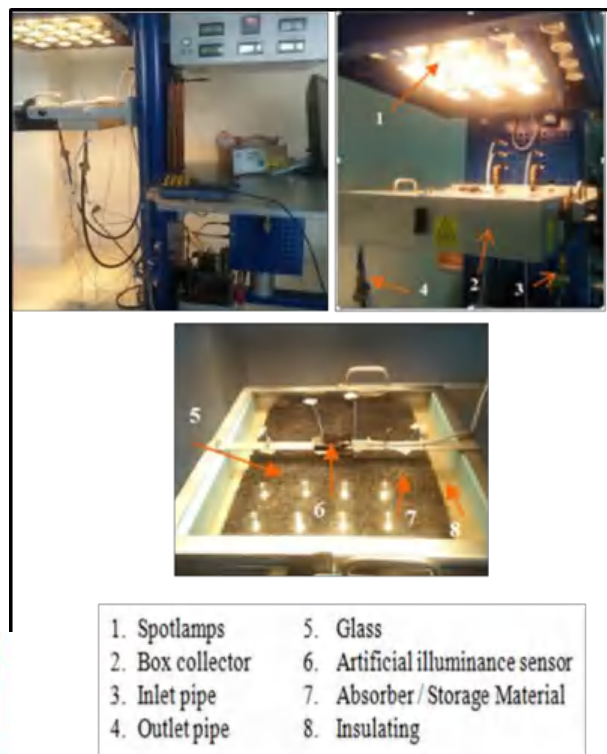


### 2.5.1 Alat Pengujian

Alat yang digunakan untuk pengambilan data adalah :

#### 1. Artificial Sun

ET 202 merupakan alat pengujian yang digunakan sebagai *artificial sun*. Untuk menggantikan cahaya matahari yang tidak bergantung pada cuaca, sehingga pencahayaan stabil dan sistem ini dilengkapi dengan unit pencahayaannya sendiri. Penempatan sensor cahaya pada kolektor digunakan untuk mengetahui radiasi yang dihasilkan oleh alat ET 202. Cahaya lampu pada alat ini diubah menjadi panas dalam penyerap dan dipindahkan ke fluida perpindahan panas. Sistem secara *thermosipon* menyampaikan fluida perpindahan panas melalui kolektor ke tangki penyimpanan air panas. Suhu di tangki penyimpanan, di inlet dan outlet kolektor dan temperatur lingkungan diukur. Nilai terukur ditampilkan pada perangkat dan secara bersamaan dapat ditransfer ke *Personal Computer* (PC) melalui *Universal Serial Bus* (USB) . Dengan menggunakan PC, data dapat ditampilkan dengan jelas dalam perangkat lunak yang disediakan untuk dianalisis lebih lanjut. Bentuk daripada alat artificial sun ET 202 dapat dilihat pada gambar 16 dibawah.



**Gambar 16.** Artificial sun ET 202



2. Data Logger Temperatur Graphtec GL820

Alat yang digunakan untuk mengumpulkan data temperatur yang direkam dari termokopel. Adapun tampilan fisik dari data logger temperatur Graphtec GL820 terlihat pada gambar 17.



**Gambar 17.** Data Logger Temperatur Graphtec GL820

3. Termokopel

Untuk mengukur temperatur pelat kolektor yang dihubungkan langsung secara fisik. Adapun tampilan fisik termokopel terlihat pada Gambar 18.



**Gambar 18.** Termokopel



#### 4. Komputer

Alat yang dipakai untuk menampilkan hasil data eksperimen, dapat dilihat pada gambar 19 dibawah.



**Gambar 19.** Komputer

#### 5. Air

Sebagai fluida kerja dalam penelitian, dimana air yang digunakan pada penelitian ini merupakan air jenis RO (*Reverse Osmosis*). Pada gambar 20 berikut, merupakan gambar air RO yang sering digunakan.



**Gambar 20.** Air RO (Reverse Osmosis)

### 2.5.2 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah pengambilan data yang dilakukan secara eksperimental adalah:



1. Mengisi Air ke dalam tangki unit ET-202 Solar Thermal Energy  
 2. Air di dalam tangki untuk sekali eksperimen agar kalor air  
 tangki tetap terjaga sewaktu melaksanakan eksperimen.  
 3. Dilakukan pengamatan dan menyamakan kondisi awal pada temperatur air yang  
 alam sistem dan dilihat di panel board alat, hal ini dilakukan  
 4. Melakukan pengambilan data.

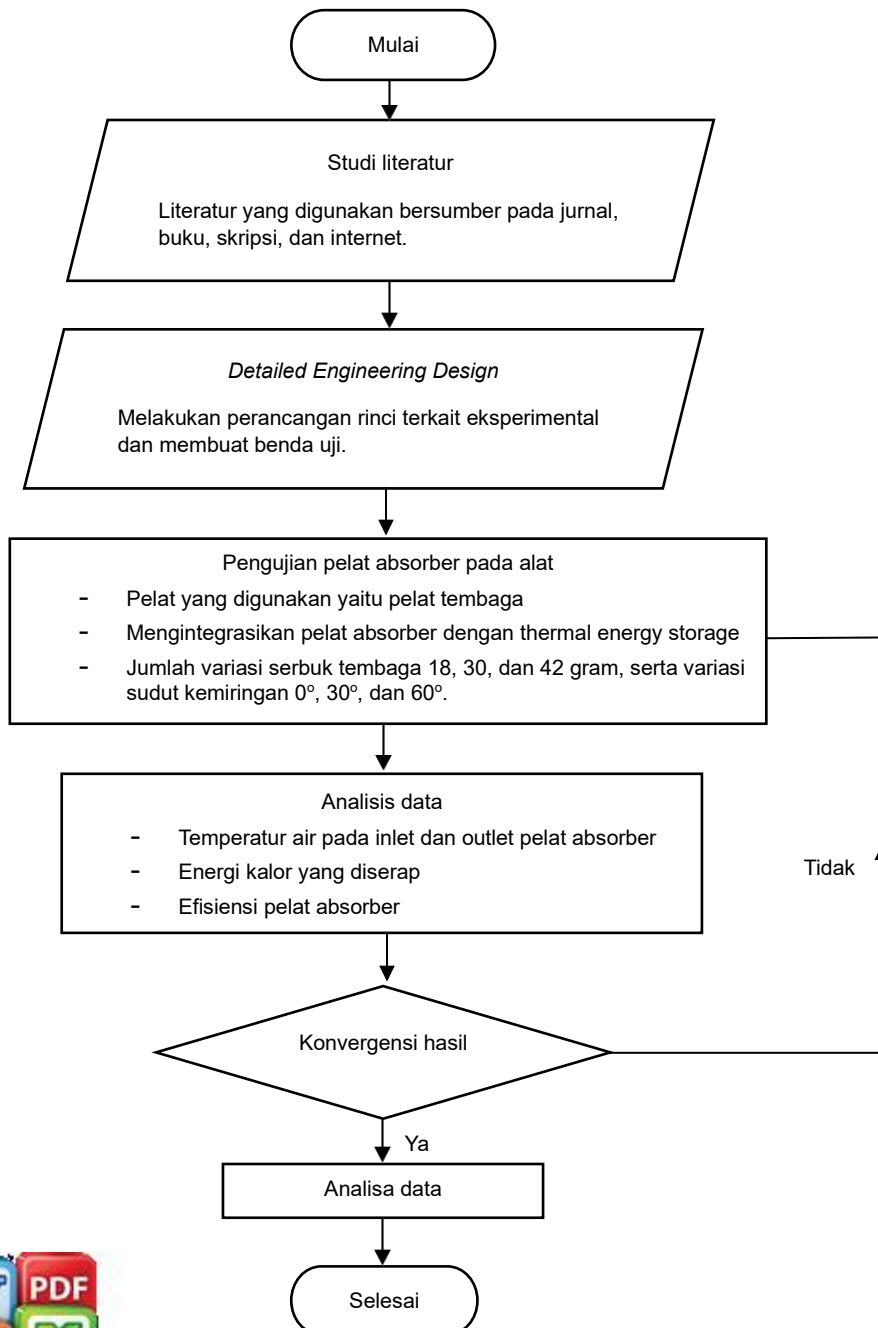
5. Melakukan pengukuran dengan menentukan intensitas cahaya pada unit karena pada

percobaan menggunakan cahaya buatan sehingga harus diukur intensitas Cahaya yang tergantung pada lokasi sebelum memulai eksperimen dengan memperhatikan prosedur pada buku petunjuk alat uji.

5. Menentukan variasi parameter dalam penelitian ini yaitu kemiringan kolektor dari sumbu horizontal adalah  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $60^\circ$ .
6. Menentukan titik-titik pada setiap temperatur yang ada pada di dalam maupun diluar panel dengan menggunakan termokopel yang direkam oleh data logger.
7. Mencatat dan merekam data secara otomatis yang ditampilkan oleh unit maupun alat pada komputer dengan waktu penyimpanan setiap 30 menit unit beroperasi.
8. Menyimpan semua data yang digunakan setelah perekaman data selesai, baik data pada termokopel maupun data perekaman dari unit, setelah itu disatukan dan di konversi ke dalam file xls.
9. Proses ini dilakukan sebanyak dua belas kali untuk melakukan perbandingan yaitu pelat absorber tanpa penyimpanan termal, dan pelat absorber dengan penyimpanan termal dari material serbuk tembaga dan PCM, dengan takaran 18, 30, dan 42 gram. Yang mana masing-masing dengan sudut kemiringan  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $60^\circ$ .



## 2.6 Diagram Alur Penelitian



**Gambar 21.** Diagram alur penelitian

