

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pemanfaatan sumber energi matahari sebagai pemanas air yang dilakukan oleh Sidopekso (2011) dengan menggunakan prinsip sistem *thermosyphon* menghasilkan beberapa kesimpulan, yaitu diperlukannya kolektor surya yang terisolasi dengan baik agar tidak terjadi *heat loss* yang menghambat proses pemanasan. Kemiringan dari kolektor surya juga sangat berpengaruh pada proses penyerapan panas air. Hal tersebut agar sirkulasi dari air berjalan dengan baik.

Wirawan dkk (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh yang terjadi pada jumlah pipa terhadap laju pelepasan kalor di kolektor surya absorber batu granit. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa lama batu granit melepas panas yang dihasilkan dari kolektor surya. Dan hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah jumlah pipa dapat mempengaruhi besar kecil laju perpindahan dari kerugian kalor terhadap lingkungan. Selain itu jumlah pipa yang lebih banyak, mempercepat penurunan kalor dengan debit air yang sama. Debit air yang lebih besar akan mempengaruhi penyerapan kalor yang besar.

Penelitian yang dilakukan oleh Sudrajat dan Santosa (2014) tentang perancangan PATS dengan kolektor plat datar yang bertujuan untuk mengetahui kebutuhan panjang pipa untuk mencapai suhu tertentu dan apakah PATS tersebut layak digunakan untuk kebutuhan mandi. Hasil yang didapat dari penelitian tersebut adalah suhu yang didapatkan dari alat PATS tersebut mencapai 52°C dan Panjang pipa yang dibutuhkan adalah 1,63 m dengan bahan dari jenis tembaga yang berdiameter 0,5 inchi. Dengan hasil tersebut PATS jenis kolektor plat datar layak digunakan untuk kebutuhan mandi.

Kristian dkk (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh debit aliran pada efisiensi thermal SWH dengan penambahan *finned tube* pada kolektor surya. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah penambahan *finned tube* pada kolektor surya membuat temperatur air yang keluar lebih tinggi pada setiap variasi

debit alirannya dan membuat efisiensi thermal maksimal lebih tinggi dibanding tanpa penambahan *finned tube*.

Struckmann (2008) melakukan penelitian tentang analisa pembuatan kolektor surya jenis plat datar yang baik. Dari hasil Analisa tersebut, peneliti menyimpulkan bahwa faktor yang paling penting dalam pembuatan kolektor surya jenis plat datar adalah seberapa efisien kinerja thermal yang dilakukan oleh kolektor tersebut dan perlu diperhatikan *heat loss* yang terjadi dan juga perpindahan panas yang terjadi pada kolektor tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Rusadi (2017) tentang pengaturan laju aliran fluida untuk meningkatkan laju perpindahan panas pada SWH menyimpulkan hasil bahwa pada laju aliran fluida air sebesar 2450 ccm sisi DHW *Loop* untuk SWH mempunyai nilai selisih temperature pada sisi keluar *heat exchanger* yang lebih kecil dibandingkan dengan besar laju lainnya. Hal ini membuktikan bahwa makin rendah selisih temperature pada sisi keluar *heat exchanger* maka semakin efektif pelepasan dan penyerapan panasnya.

Ocsirendi dkk (2018) juga merancang PATS dengan kolektor plat datar tetapi berbentuk spiral dan berbasis mikrokontroler. Tujuan dilakukannya perancangan tersebut adalah untuk mengetahui efisiensi dan optimalisasi biaya dari penggunaan alat tersebut dan juga mengetahui efektivitas metode *continue* dan *delay* dalam hal penyerapan kalor. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa SWH tersebut mampu memanaskan air dalam tandon dengan suhu maksimal 48,92 °C dan metode secara *continue* terbukti lebih baik dalam hal efektifitas pemanasan air dibanding dengan metode *delay*. Tetapi dalam konsumsi daya listrik pompa lebih besar dibanding dengan metode *delay*, karena penggunaan pompa yang terus menerus menyala.

Mehmet dan Hikmet (2005) melakukan penelitian tentang kolektor surya system *thermosyphon* tertutup dua fase yang bertujuan untuk mengetahui kinerja thermal dari SWH tersebut yang di pengaruhi 3 refrigeran yang berberda yaitu R-134a, R407C dan R410A. Dari penelitian tersebut mendapat kesimpulan bahwa refrigerant jenis R410A dapat menyerap kalor lebih baik dibanding dengan

refrigeran lain. Jumlah pipa juga dapat mempengaruhi efisiensi dan kenaikan pada suhu air.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pemanas Air Tenaga Surya (PATS)

Pemanas Air Tenaga Surya (PATS) merupakan suatu alat yang memiliki prinsip kerja dengan memanfaatkan energi radiasi matahari yang diserap oleh absorber, lalu di dalam tangki yang sudah terisolasi menampung air panas. Fluida yang mengalir memanfaatkan perbedaan massa jenis air yang berada di dalam tangki. Beberapa sistem pemanas air sudah ada yang di pakai heater sebagai tambahan untuk memanaskan air jika tidak ada sinar matahari (Nurhalim, 2010).

PATS dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari seperti mencuci pakaian, mandi dan lain-lain. Tetapi penggunaannya yang memerlukan energi matahari, maka hasilnya bergantung pada kondisi cuaca yang sedang terjadi (Sidopekso, 2011).

2.2.2. Sistem Pemanas Air Tenaga Surya

Jenis pemanas air tenaga surya berdasarkan sistem atau cara kerjanya dapat dibagi menjadi 2 yaitu : pemanas air surya sistem aktif dan pemanas air surya system pasif atau termosifon (Ginting, 2018). Secara garis besar, sistem pemanas air tenaga surya dapat dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu :

1. Pengumpulan matahari yang menerima dan mentransfer radiasi energi matahari berubah menjadi energi thermal pada fluida kerja.
2. Bagian yang menghubungkan pengumpul dengan penyimpanan adalah sistem saluran fluida kerja atau pipa pengalir.
3. Bagian yang menyimpan dan menampung air panas adalah tangki penyimpanan fluida (Murot dkk, 2016).

2.2.2.1. Sistem Aktif

PATS sistem aktif dapat didefinisikan sebagai sistem pemanas air yang menggunakan energi tambahan seperti pompa yang berfungsi untuk memindahkan air ke kolektor surya agar menjadi hangat. Energi untuk menggerakkan pompa bisa

diperoleh dari energi listrik ataupun dari energi matahari itu sendiri yang diubah menggunakan sel fotovoltaik. Perbedaan utama antara sistem aktif dengan sistem pasif adalah pada tenaga yang digunakan untuk menggerakkan fluida yang akan dipanaskan (Ginting, 2018).

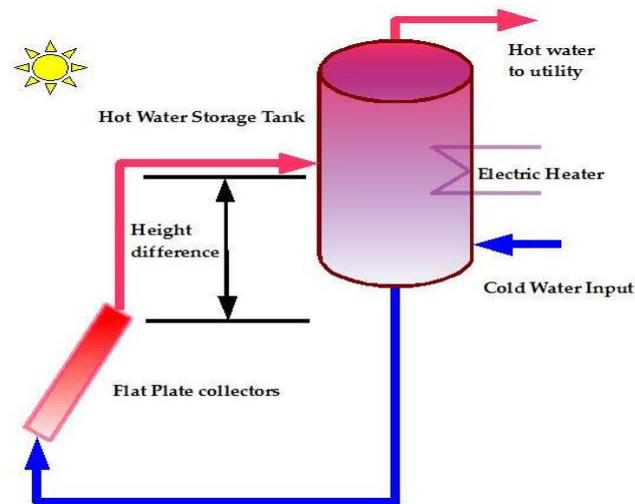
Kolektor surya adalah komponen kunci dari pemanas air tenaga surya sistem aktif. Kolektor surya mengumpulkan energi matahari, lalu mengubah radiasi menjadi panas dan kemudian panas tersebut dipindahkan ke cairan yang biasanya air atau udara (Struckmann, 2008).

2.2.2.2. Sistem Pasif

PATS sistem pasif merupakan pemanas air yang tidak menggunakan energi tambahan dari pompa, tetapi bergantung pada proses alam dalam mengalirkan air. Sistem ini terbukti lebih murah dibandingkan dengan sistem aktif. Sistem ini cukup baik dalam menyediakan air panas dengan sinar matahari salah satu contoh dari sistem pasif adalah *thermosyphon* (Opalsam dan Muin, 2014).

a. *Thermosyphon*

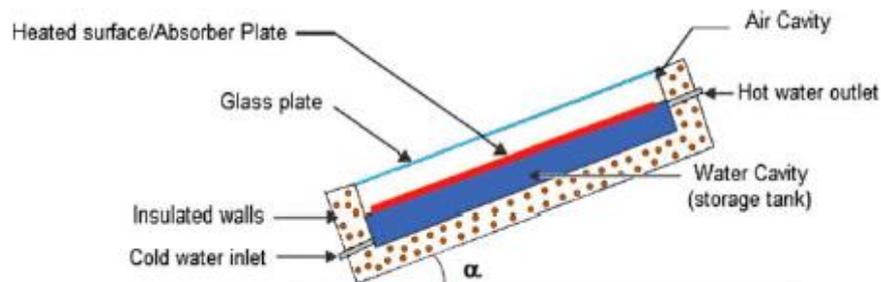
Salah satu jenis sistem pasif PATS adalah *thermosyphon*. Proses konveksi alami air antara panel kolektor matahari dengan tangki air panas disebut sistem *thermosyphon*. Sistem *thermosyphon* banyak digunakan oleh masyarakat umum. Proses kerja dari system *thermosyphon* yang bisa kita lihat pada Gambar 2.1 adalah jika pada siang hari air di dalam kolektor dipanaskan oleh radiasi matahari, sementara air di dalam tangki akan relatif dingin. Karena perbedaan kepadatan, air panas bergerak naik dan memanaskan air dalam tangki. Proses tersebut berlanjut sampai air di kedua komponen mencapai suhu yang sama.



Gambar 2.1 Proses cara kerja sistem *thermosyphon* (Dwivedi, 2009)

b. *Intergrated Collector Storage*

Sistem *Intergrated Collector Storage* (ICS) merupakan salah satu dari sistem pasif PATS yang paling sederhana dan menjadi pilihan yang populer di masyarakat. Sistem ini memiliki keunggulan yaitu menggabungkan kolektor surya dan tangki penyimpanan thermal dalam satu unit seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.2.

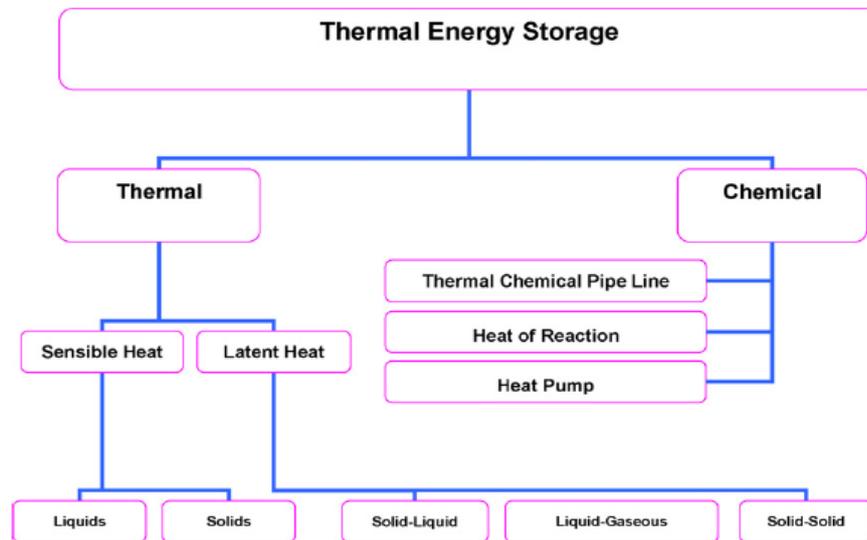


Gambar 2.2 Sistem *Intergrated Collector Storage* (Garnier dkk, 2009)

2.2.3. *Thermal Energy Storage*

Thermal Energy Storage (TES) adalah sebuah tangki yang berfungsi untuk menyimpan energi panas, agar sistem pemanas air dapat tetap berjalan meskipun energi matahari sudah tidak ada. TES adalah komponen kunci pada sistem energi panas dan keberadaannya sangat penting karena dapat menghubungkan ketidaksesuaian antara *supply* energi matahari dengan sisi *load demand* (Pikra dan Salim, 2011).

Adapun tipe dari TES ada 3 tipe, yaitu *Latent Heat Storage* (LHS), *Sensible Heat Storage* (SHS), dan *Thermo-chemical Storage*. Seperti yang tertera pada Gambar 2.3.



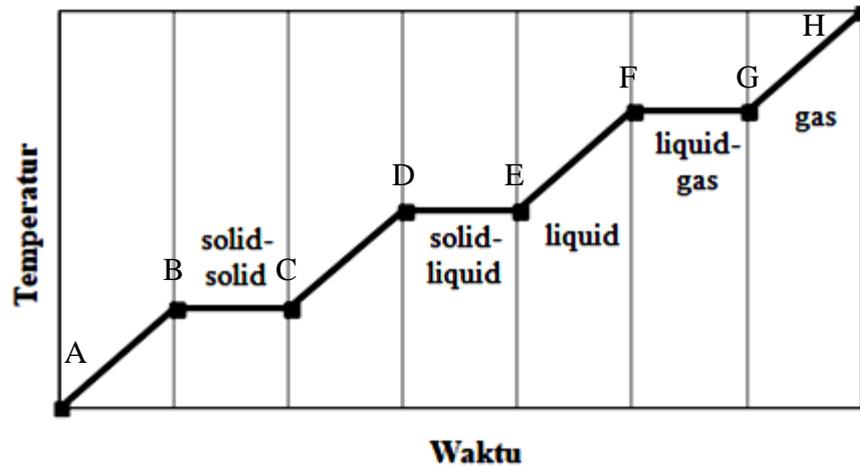
Gambar 2.3 Tipe-tipe *Thermal Energy Storage* (Sharma dkk, 2009)

2.2.3.1. *Latent Heat Storage*

Dalam sistem *Latent Heat Storage* (LHS), panas dilepaskan atau diserap melalui perubahan fase dari suatu bahan pada suhu konstan. Seperti perubahan dari keadaan gas, cairan dan padat. Bahan yang mengalami perubahan fase menyerap energi dan meleleh ketika suhu dinaikkan di atas titik leleh (Lefebvre dan Tezel, 2017). Putra dkk (2015) membahas bahwa LHS memiliki kapasitas penyimpanan energi per unit volume dan per unit massa yang lebih besar. Hal ini disebabkan fakta yang menyatakan bahwa hampir sebagian besar materialnya memiliki *latent heat of fusion* yang lebih tinggi dibanding dengan perubahan entalpinya.

Tahapan total perubahan suatu fase yang terjadi dalam suatu zat menurut Regin dkk (2006) dapat dijelaskan pada Gambar 2.4. Dimulai dari keadaan *solid* pada titik A, lalu penambahan kalor pada substansi awal yang menyebabkan *sensible heat* pada *solid* (wilayah A-B), dilanjutkan dengan perubahan fase *solid-solid* (wilayah B-C), lalu terjadi pemanasan *sensible* lagi pada *solid* (wilayah C-D), dilanjutkan dengan perubahan fase *solid-liquid* (wilayah D-E), lalu terjadi

pemanasan *sensible* pada fase *liquid* (wilayah E-F), perubahan fase menjadi *liquid-gas* (wilayah F-G) dan terakhir pemanasan gas *sensible* (wilayah G-H).



Gambar 2.4 Diagram temperatur dan waktu pemanasan suatu zat (regin dkk, 2006)

Sehingga jumlah total energi yang tersimpan dapat ditulis sebagai persamaan (2.1) dibawah ini:

$$Q = m \left[\int_{T_A}^{T_D} c_{p,s}(T) dT + L + \int_{T_E}^{T_F} c_{p,l}(T) dT + L_g + \int_{T_G}^{T_H} c_{p,g}(T) dT \right] \quad (2.1)$$

Massa (m) dengan satuan kg. Kalor jenis material fase padat ($cp.s$). Kalor jenis material fase cair ($cp.l$) dan kalor jenis material fase gas ($cp.g$) dengan satuan $J/kg^\circ C$. Kalor laten perubahan padat ke cair (L). Kalor laten cair ke gas (L_g) dengan satuan J/kg (regin dkk, 2006).

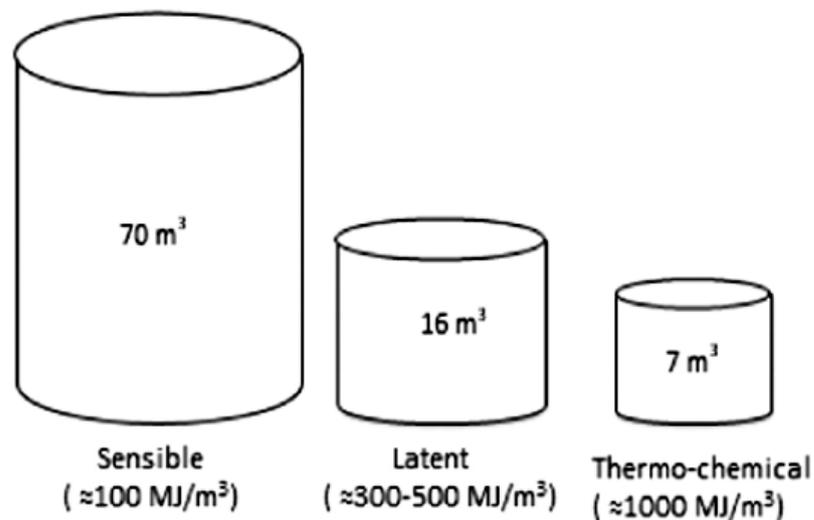
2.2.3.2. Sensible Heat Storage

Sensible Heat Storage (SHS) merupakan penyimpanan energi thermal yang berbasis dengan pemanasan dan pendinginan cairan dengan media penyimpanan padat atau solid. Adapun media zat cair yang digunakan seperti air, minyak dan *molten salt*. Sedangkan untuk media padatnya seperti logam (Putra dkk, 2015). Keunggulan dari SHS yang paling adalah memiliki harga yang murah. Tetapi SHS mempunyai *density energy* paling rendah sehingga membutuhkan volume yang besar dibandingkan ketiga tipe *storage* lainnya seperti terlihat pada Gambar 2.5.

Hal ini mengakibatkan SHS memerlukan *volume storage* yang besar. Selain permasalahan *density energy*, pada SHS memiliki *heat loss* yang sangat merugikan sebagai material penyimpanan energi. Besarnya energi yang tersimpan (dalam *Joule*) dapat dihitung dengan persamaan (2.2) berikut (Sharma, 2009).

$$Q = \int_{T_i}^{T_f} mcp \, dT = mc_{ap}(T_f - T_i) = \rho V c_{ap}(T_f - T_i) \quad (2.2)$$

Selisih temperatur awal (T_i) dengan temperatur akhir (T_f) dengan satuan $^{\circ}\text{C}$. Massa material penyimpanan (m) dengan satuan kg. Massa jenis (ρ) dengan satuan kg/m^3 . Kalor jenis rata-rata material penyimpanan saat proses (C_{ap}) dengan satuan $\text{J}/\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C}$. Volume material (V) dengan satuan m^3 .



Gambar 2.5 *Volume storage* yang dibutuhkan untuk menyimpan kalor (Levebvre dan Tezel, 2017)

2.2.3.3. *Thermo-Chemical Storage*

Thermo-Chemical Storage (TCS) merupakan suatu tempat penyimpanan energi matahari yang memanfaatkan terjadinya reaksi kimia pada proses penyerapan dan pelepasan energi (Putra dkk, 2015). Energia yang tersimpan masuk melalui *reversible reaction* kemudian pada proses pelepasan reaksi tersebut dibalik. TCS sendiri memiliki densitas energi yang cukup tinggi, tetapi pada sistemnya TCS memerlukan catalyst saat pelepasan energi dan pengontrolan reaksi kimia tetapi hal itu tidak diinginkan.

2.2.4. *Charging dan Discharging*

Menurut Cabeza dkk (2011) proses yang terjadi di dalam TES mempunyai tiga siklus yaitu *charging*, *storage* dan *discharging*. *Charging* pada SWH merupakan suatu proses penyerapan energi panas yang dilakukan oleh PCM di dalam tangki TES dari temperatur rendah ke temperatur tinggi. Pada proses tersebut PCM akan mengalami perubahan fasa dari *solid* ke *liquid* atau mencapai temperatur leleh.

Proses *discharging* pada SWH merupakan suatu proses pelepasan energi panas yang sudah tersimpan pada PCM selama proses *charging*. Proses pelepasan terjadi ketika temperatur awal yang tinggi berubah ke temperatur rendah secara perlahan. Perubahan fasa juga terjadi pada PCM dari *liquid* ke *solid* atau *solidification*. Temperatur PCM juga akan turun dan berhenti ketika sama dengan temperatur HTF.

2.2.5. **Air**

Air adalah material utama dari PATS. Air merupakan suatu senyawa kimia yang memiliki unsur cair yang tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau. Air memiliki titik beku 0°C di dalam tekanan 1 atm, lalu mempunyai titik didih 100°C dan memiliki kerapatan 1 g/cm³ pada suhu 4°C (Susana, 2003).

Adapun karakteristik air yang tidak dimiliki oleh senyawa kimia lainnya menurut Effendi (2003) antara lain, yaitu :

1. Suhu yang sesuai bagi kehidupan yaitu berkisar antara 0°C sampai 100°C yang berbentuk cairan.
2. Perubahan suhu yang terjadi pada air berlangsung secara lambat, itu yang menyebabkan air menjadi penyimpanan panas yang sangat baik.
3. Panas yang tinggi diperlukan air agar bisa terjadinya penguapan.
4. Air menjadi pelarut yang sangat baik.
5. Air memiliki tegangan permukaan yang cukup tinggi.
6. Air merupakan satu-satunya senyawa kimia yang akan merenggang bila terjadi proses pembekuan.

2.2.6. Kalor

Kalor atau panas merupakan suatu energi yang berpindah akibat adanya perbedaan suhu. Untuk satuan Standar Internasional (SI) panas yaitu *Joule*. Panas akan bergerak dari daerah yang memiliki suhu tinggi ke daerah yang memiliki suhu rendah (Supu dkk, 2016). Adapun kalor jenis yang dapat diartikan sebagai jumlah kalor yang dibuat untuk menaikkan suhu atau menurunkan suhu 1 kg massa zat sebesar 1°C atau 1 K. Yang bisa dilihat pada persamaan (2.3) berikut :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2.3)$$

Q yang diartikan sebagai kalor yang diperlukan atau dibuang dengan satuan *Joule*. m yang diartikan sebagai massa benda dengan satuan kg. c yang diartikan sebagai kalor jenis benda dengan satuan J/kg.°C. Dan yang terakhir adalah ΔT yang diartikan sebagai perubahan suhu suatu benda dengan satuan °C (Astra, 2010).

Adapun kenaikan suhu suatu benda yang digunakan dalam menentukan banyaknya kalor yang akan diserap oleh suatu benda tersebut dapat dilihat pada persamaan (2.4) berikut ini :

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T} \quad (2.4)$$

C yang diartikan sebagai kapasitas kalor dengan satuan J/K. ΔQ yang diartikan sebagai jumlah kalor yang ada. Dan yang terakhir adalah ΔT yang diartikan sebagai perubahan suhu yang terjadi (Kholifudin, 2017).

2.2.7. Hukum Kekekalan Energi atau Asas *Black*

Asas Black adalah salah satu dari bentuk lain hukum kekekalan energi. Joseph Black mengukur suatu kalor jenis benda dengan diletakkannya suatu benda dengan keadaan kontak secara termal dengan benda lain dengan kalor jenis yang sudah diketahui (Kholifudin, 2017). Adapun persamaan asas black yang bisa di lihat pada persamaan (2.5) berikut :

$$\begin{aligned} Q_A &= Q_B \\ m_A \cdot c_A \cdot \Delta T_A &= m_B \cdot c_B \cdot \Delta T_B \\ m_A \cdot c_A (T_A - T_C) &= m_B \cdot c_B (T_C - T_B) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Seringnya pengukuran kalor dilakukan untuk menentukan suatu kalor jenis atau dilepaskan untuk menentukan suatu perubahan suhu pada zat (Puteri, 2016).