

# Analisis Pengaruh Penggunaan Fin Terhadap Peningkatan Perpindahan Kalor Pada Alat Penukaran Kalor Untuk Menyimpan Kalor Laten

Erizal<sup>1</sup>

## Abstrack

The fin effect on heat transfer rate of a heat exchanger for latent thermal energy storage system using the latent heat of fusion of a phase change material (PCM) has been studied. The heat storage container consist of a double pipe heat exchanger, where the energy source (hot water) flows through the copper inner finned tube of 12,5 mm inside diameter with 1,75 mm thick and 1495 mm length, while the heat sink (storage PCM) fills the annulus gap (outer pipe consists of PVC of 78 mm inside diameter with thickness of 6 mm) The PCM used in the experiments is paraffin wax of melting temperatur 44° C. Heat transfer rate and accumulated energy stored into PCM as a function of taim were determined for different water flow rates and water inlet temperatures. The experimental results have been compared to the one obtained by the plain tube heat exchanger. The results show that substituting a series of fin on the surface of inner tube of heat exchanger significantly increases the heat transfer rate and accumulated energy in the system.

**Keyword:** Fin Effect, Laten Thermal Energy Storage, phase change material (PCM).

## Pendahuluan

Penyimpanan energi kalor pada sistem Thermal Energy Storage (TES) dengan menggunakan kalor laten dari suatu zat yang disebut phase change material (PCM) dapat diterapkan untuk menyimpan energi kalor dari matahari atau sisa energi yang terbawa pada bahan buangan industri. Penggunaan PCM sebagai kalor dari matahari atau sisa energi yang terbawa pada bahan buangan industri. Penggunaan PCM sebagai media penyimpan kalor pada sistem TES mempunyai beberapa keuntungan. (Yanadori dan masuda, 1986). PCM menggunakan kalor laten yang jauh lebih besar dibandingkan dengan kalor sensibel, sehingga mempunyai kapasitas penyimpanan kalor per satuan volume yang lebih besar dibandingkan dengan sistem yang menggunakan panas sensibel. Kapasitas penyimpanan kalor per satuan volume yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan sistem yang menggunakan panas sensibel. Selain itu waktu pembebasan kalor terjadi pada temperatur yang tetap. Sementara kelemahan menggunakan PCM sebagai media penyimpan kalor adalah rendahnya kecepatan peleburan dan pembekuan karena rendahnya konduktivitas thermal dari PCM. Dalam perancangan peralatan TES ini diperlukan data kecepatan perpindahan kalor antara kedua fluida yang berlangsung pada alat tersebut, juga perkiraan energi total yang dapat disimpan.

## Landasan Teori

Secara umum unjuk kerja dari sistem penyimpanan kalor menggunakan PCM dipengaruhi oleh parameter-parameter sebagai berikut, sifat-sifat termofisis dari PCM, kecepatan transfer kalor pada proses peleburan dan pembekuan, konfigurasi bahan dan luas permukaan perpindahan kalor, dan kecepatan aliran massa serta sifat-sifat termofisis dari media transfer. Demikian juga temperatur, kecepatan transfer kalor, dan energi yang tersimpan secara akumulatif berubah sebagai fungsi waktu.

Seperti diketahui bahwa besarnya kecepatan transfer kalor dapat dinaikkan dengan usaha meningkatkan koefisien perpindahan kalor menyeluruh atau memperbesar luas permukaan kontak antara dua fluida kerja.

## Metodologi Penelitian

### Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Paraffin wax (lilin) sebagai PCM
- Air sebagai media transfer kalor
- Pipa tembaga diameter dalam 12,5 mm dan tebal 1,75 mm
- Fin tembaga ukuran 50 mm x 50 mm, tebal 0,3 mm dan pitch 30 mm
- Pipa PVC diameter 78 mm dan tebal 6 mm

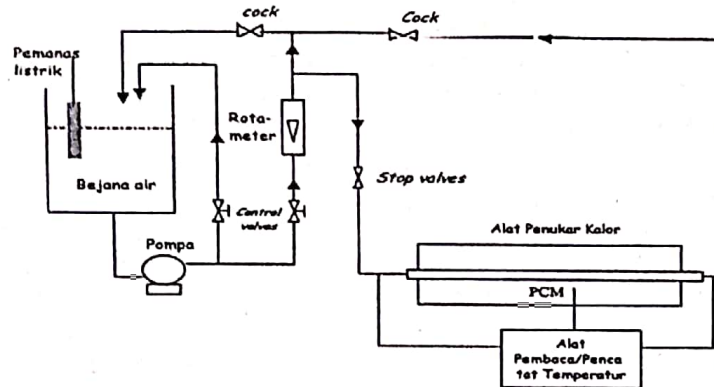
<sup>1</sup> Dosen Fak. Teknik Prodi Teknik Mesin Universitas Prof. Dr. Hazairin SH Bengkulu  
Majalah Teknik Simes Vol.13 No.1 Januari 2019

## Alat

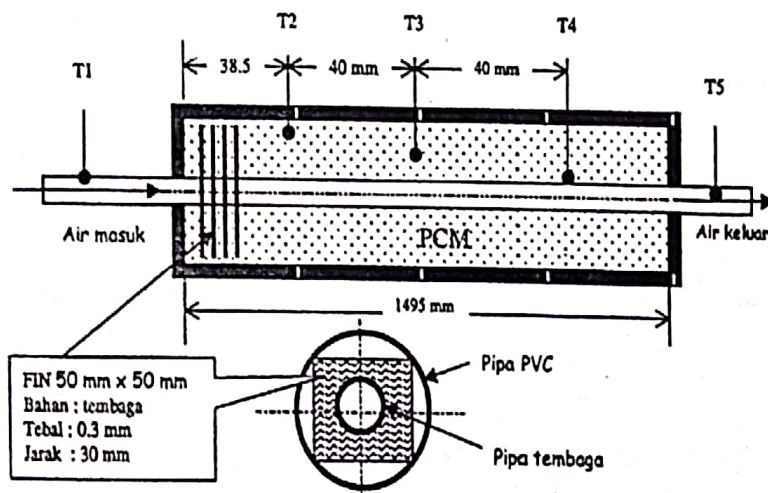
Skema alat penelitian ditunjukkan pada gambar 1. Komponen utama terdiri dari alat penukar kalor tempat berlangsungnya proses pemindahan kalor antara lilin dengan air :

- Bejana penyedia air

- Pompa air
- Rotameter
- Pemanas listrik
- Alat pengukur suhu (termometer dan termokopel)
- Panjang efektif alat penukar kalor 1495 mm



Gambar 1 . Skema rangkaian alat penelitian



Gambar 2. Skema detail alat penukar kalor

## Pelaksanaan Percobaan

Air sebagai media transfer kalor dipanaskan dalam bejana. Dengan bantuan pompa, air dari bejana ini lalu dialirkan menuju alat penukar kalor. Kecepatan aliran massa air dikontrol dengan kran dan besarnya dibaca pada rotameter. Suhu PCM yang berada dalam ruang annulus di antara dua pipa alat penukar kalor diukur dengan menggunakan termokopel yang dipasang di beberapa tempat. Demikian juga dengan suhu air saat masuk dan

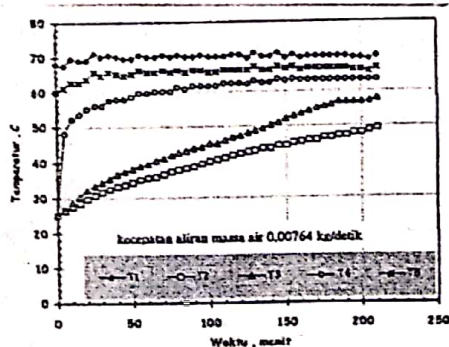
keluar dari alat penukar kalor. Sebelum percobaan dilakukan PCM harus dilakukan PCM harus berada pada suhu awal tertentu. Dalam hal ini, suhu PCM dikondisikan sama dengan suhu lingkungan.

Air panas dengan suhu  $T_{in}$  dan kecepatan aliran massa  $m$  masuk ke alat penukar dan keluar dengan suhu  $T_{out}$ . Disini air melepas energi kalor yang akan diterima oleh PCM. Proses transfer energi dari air ke PCM dimulai dengan konveksi dari air ke permukaan dalam pipa, selanjutnya secara

konduksi melalui dinding pipa, kemudian dari permukaan bagian luar pipa ke PCM pada mulanya berlangsung secara konduksi, namun kemudian muncul pengaruh konveksi ketika sebagian lilin yang menempel pada permukaan mulai meleleh. Transfer energi dari air ke dinding dalam tergantung pada angka konduksi energi dari air ke dinding dalam tergantung pada angka koefisien perpindahan kalor konveksi  $h$ , yang besarnya bervariasi terhadap kecepatan aliran massa air. Sementara besarnya luas permukaan kontak antara dinding luar dengan PCM sangat berpengaruh terhadap kecepatan pemanasan PCM. Energi yang diterima oleh PCM digunakan untuk menaikkan suhu PCM dan selanjutnya melelehkan. Pada awal proses laju perpindahan kalor cukup tinggi, karena adanya perbedaan temperatur antara kedua proses berjalan, temperatur PCM mulai naik, sehingga perbedaan temperatur antara kedua fluida mengecil dan sebagian akibatnya perpindahan kalor menurun. Temperatur air keluar dari alat penukar kalor akan naik. Laju perpindahan kalor sebagai fungsi waktu ( $t$ ) dapat dihitung dari perbedaan suhu air masuk dan keluar alat penukar kalor, yaitu :  $Q(t) = m \cdot cw \{T_{in} - T_{out}(t)\}$   
Dimana  $cw$  adalah kalor jenis air.

### Hasil Penelitian Dan Pembahasan

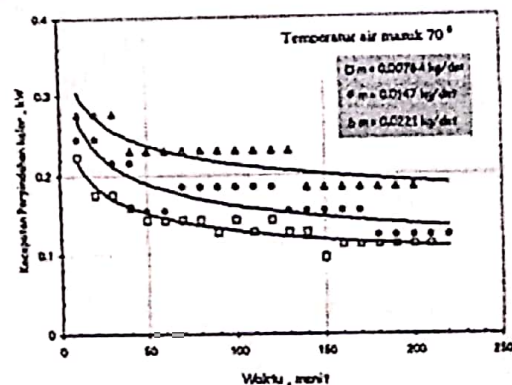
Dari pengukuran data percobaan yang berupa temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor serta kecepatan aliran massa air, dengan persamaan 1 dapat dihitung keamaan 1 dapat dihitung kecepatan perpindahan kalor dari air ke PCM yang selanjutnya dengan cara mengintegrasikan pecepatan perpindahan kalor dari air ke PCM yang selanjutnya dengan cara mengintegrasikan persamaan 1 tersebut dapat pula kecepatan penyimpanan energi pada sistem.



Gambar 3. Evolusi temperatur air dan lilin sebagai fungsi waktu pada kecepatan aliran masa air 0,000764 kg/detik

Pada percobaan ini perubahan perubahan yang divariasikan meliputi temperatur air masuk alat penukar kalor dan kecepatan aliran massa air. Temperatur terukur untuk air masukan dan keluar ( $T_1$  dan  $T_5$ ) serta temperatur lilin pada 3 titik pengukuran yang tetap ( $T_2$ ,  $T_3$ , dan  $T_4$ ) sebagai fungsi waktu. Pada kondisi operasi tertentu yaitu kecepatan aliran massa air 0,000764 kg/det dan temperatur air masuk  $70^\circ\text{C}$  di tunjukkan dalam gambar 3. Dari gambar 3 terlihat bahwa pada awal proses kecepatan transfer energi air ke PCM cukup besar dan kemudian menurun, ini ditandai dengan semedaan antara temperatur air masuk dan keluar alat penukar kalor.

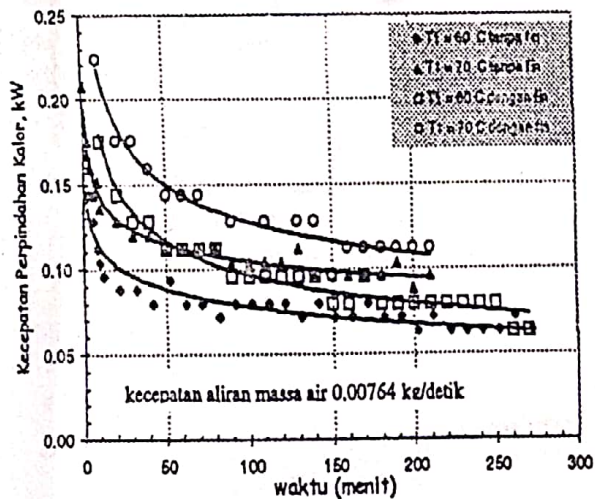
Gambar 4 dan 5 menunjukkan pengaruh perubahan kecepatan aliran massa air dan temperatur air masuk terhadap kecepatan pemindahan kalor.



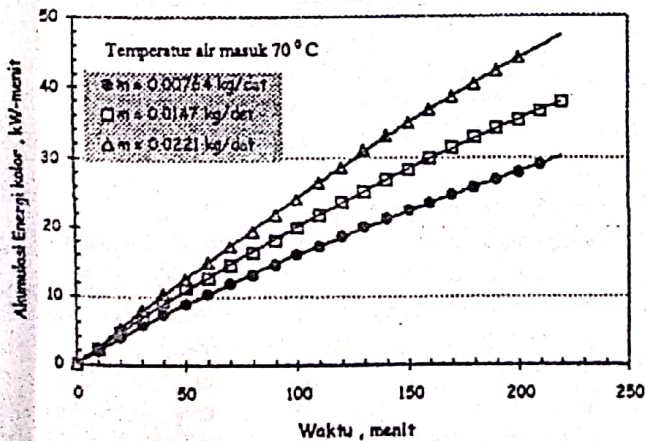
Gambar 4. Pengaruh kecepatan aliran air masuk terhadap kecepatan perpindahan kalor pada temperatur air masuk  $70^\circ\text{C}$ .

Kecepatan akumulasi energi kalor sebagai fungsi waktu yang dihasilkan dari pengintegralan kecepatan perpindahan kalor seperti yang diberikan pada gambar 4 dan 5. Pengargintegralan kecepatan perpindahan kalor seperti yang diberikan pada gambar 4 dan 5. Pengaruh perubahan kecepatan aluh perubahan kecepatan aliran miran massa air terhadap akumulasi energi untuk temperatur air mashadap akumulasi energi untuk temperatur air masuk  $70^\circ\text{C}$  diperlihatkan oleh gambar 6. Terlihat pada gambar bahwa bila

kecepatan aliran massa air dinaikkan maka akumulasi energi akan meningkat, hal ini disebabkan karena energi yang terbawa oleh massa air besar, disamping itu meningkatnya massa aliran pada penampang aliran dan tetap akan menimbulkan turbulensi yang lebih besar dan mengakibatkan naiknya angka koefisien perpindahan kalor konveksi. Akumulasi energi sebagai fungsi waktu untuk kecepatan aliran massa air yang tetap dengan temperatur air masuk berbeda-beda ditunjukkan oleh gambar 6 dan 7. Terlihat dari kedua gambar 6 dan 7 kenaikan akumulasi energi kalor keduanya mempunyai kecenderungan yang sama.

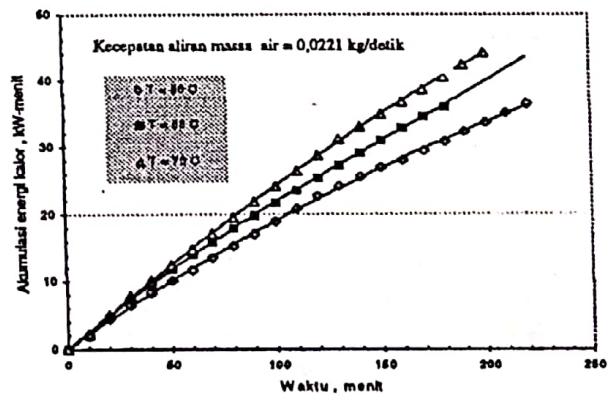


Gambar 5. Pengaruh temperatur air masuk terhadap kecepatan perpindahan kalor pada kecepatan aliran massa air 0,00764kg/detik



Gambar 6. Pengaruh kecepatan aliran massa air terhadap akumulasi energi kalor pada temperatur air masuk 70 ° C.

Untuk mengetahui sejauh mana pengaruh pemasangan fin pada alat penukar kalor terhadap kecepatan perpindahan kalor dan kecepatan penyimpanan energi maka hasil percobaan ini diperbandingkan dengan hasil percobaan terdahulu dimana pada percobaan terdahulu digunakan alat dengan dimensi yang sama hanya tidak menggunakan fin, hasil perbandingan tersebut ditunjukkan pada gambar 5 dan 8.



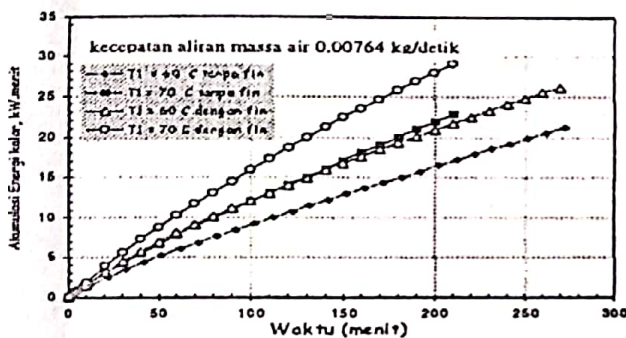
Gambar 7. Pengaruh temperatur air masuk terhadap akumulasi energi kalor pada aliran massa air 0,0221 kg/detik.

Gambar 5. Memperlihatkan perbedaan kecepatan perpindahan kalor pada alat yang diberi fin dengan alat tanpa fin untuk kondisi kecepatan aliran massa air 0,00764 kg/detik serta temperatur air masuk 60 °C dan 70 °C. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa dengan memasang fin pada alat penukar kalor dapat menaikkan kecepatan perpindahan kalor. Hal ini disebabkan adanya kenaikan luas permukaan kontak antara permukaan pipa dengan PCM.

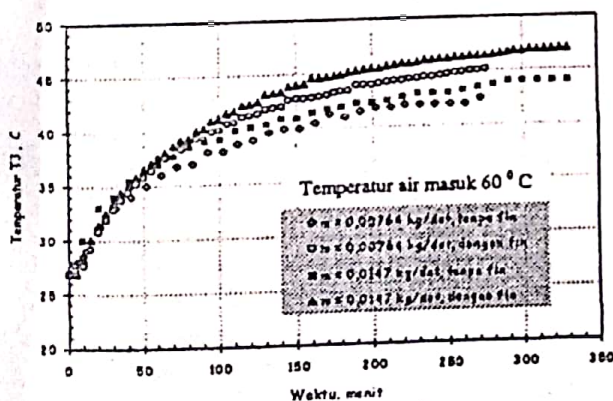
Peningkatan kecepatan perpindahan kalor rata-rata sebesar 25,47 % pada temperatur air masuk 60 °C dan 26,65 % pada temperatur air masuk 70 °C. Sedangkan perbedaan akumulasi energi kalor pada alat yang diberi fin dengan alat tanpa fin untuk kondisi yang sama ditunjukkan pada gambar 8.

Dari gambar 8 tersebut terlihat bahwa terjadi peningkatan akumulasi energi kalor pada alat yang diberi fin dibandingkan dengan

alat tanpa fin. Untuk kondisi kecepatan aliran massa air 0,00764 kg/detik serta temperatur air masuk 60 °C dan 70 °C terjadi kenaikan akumulasi energi rata-rata sebesar masing 29,58 % dan 30,76 %. Berdasarkan angka-angka tersebut bahwa kenaikan temperatur air masuk 10 °C sangat kecil pengaruhnya baik terhadap peningkatan kecepatan perpindahan kalor maupun pada akumulasi energi. Dan juga terlihat bahwa peningkatan akumulasi energi pada kondisi operasi yang sama lebih besar daripada peningkatan kecepatan perpindahan kalor.



Gambar 8. Pengaruh temperatur air masuk terhadap akumulasi energi kalordpada kecepatan aliran massa air 0,00764 kg/detik



Gambar 9. Pengaruh kecepatan aliran massa air terhadap temperatur T3 pada temperatur air masuk 60 °C

Perubahan temperatur PCM, yang dalam hal diwakili oleh T3, pada alat penukar kalor dengan menggunakan fin juga terlihat ada peningkatan dibandingkan dengan alat tanpa fin. Hanya saja seperti terlihat gambar 9, bahwa peningkatan relatif kecil di bandingkan terhadap peningkatan yang terjadi pada kecepatan perpindahan kalor maupun pada

akumulasi energi. Peningkatan rata-rata yang terjadi hanya pada beserta 4,5 %.

### Kesimpulan

Dari uraian hasil dan pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa kecepatan perpindahan kalor antara dua media dalam sistem dan jumlah energi terakumulasi dapat ditingkatkan dengan menambah fin pada salah satu permukaan alat penukar kalor. Pada kondisi operasi seperti uraian dalam pembahasan, terjadi kenaikan kecepatan perpindahan kalor dan akumulasi energi pada sistem yang cukup signifikan. Adanya perbedaan antara temperatur media transfer kalor dengan temperatur leleh media penyimpan energi (PCM) yang semakin tinggi juga akan menaikkan laju perpindahan kalor serta akumulasi energi pada sistem.

### Daftar Pustaka

- Farid, M, Kim Y, Honda, T, and Kanzawa, A, 1989, The Role of Convection During Melting And Solidification of PCM in Vertikal Cylinder Chem, Eng. Comm,8,43-60.
- Farid, M, Kim, Yand Kanzawa, A, 1990, Thermal Performance of a Heat Stroge Module Using PCM, s with Different Melting Temperatures : Experimental, Trans. ASME, J Solar Energi Eng, 112, 125-131.
- Panut Mulyono, Suhanan, 1997, Studi Perpindahan Panas pada alat penukar panas untuk Menyimpan Panas Laten, PIPD, 1997-1998.
- Watanabe, T, Kikuchi, H, and Kanzawa, A 1993, Rates in a Laten Heat PCM with Different Melting Temperatures, Heat Recovery System & CHP, 13 (1), 57-66.
- Yanadori, M, and Matsuda, T., 1986, Heat Transfer Study on a Heat Stroge Container With Phase Change Material, Solar Energi, 36 (2), 169-177.