

## Kaji Eksperimental Perpindahan Panas Peleburan Parafin Sebagai Material Penyimpan Panas pada Alat Penukar Kalor Bersirip

Zulkifli<sup>1</sup>, Ahmad Syuhada<sup>2</sup>, Hamdani<sup>2</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe  
Jl. Banda Aceh - Medan, Km.280,3. Buket Rata, Lhokseumawe,24301  
E-mail : pullyzulkifli@yahoo.co.id

<sup>2)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala  
Jl. Syech Abdul Rauf No.7 Darussalam Banda Aceh 23111

### Abstract

In this research, experimental study is conducted related to the latent heat transfer and thermal energy storage using finned tubes. An experimental unit consisted of data acquisition, the heat exchanger shell and tube were used to improve heat transfer. The fluid heat pipe was designed in longitudinal fin and radial fin. Paraffin wax was used as a thermal storage medium. The characteristics of heat transfer from fluid to paraffin wax is investigated in different heat flux conditions. The experimental results show that the heat transfer characteristics show similarities to the heat exchanger tubes. In the preheating process, it is dominated by conduction, but at the melting temperature of the heat transfer, it is dominated by convection. The use of longitudinal finned pipe has been able to increase the heat transfer rate.

**Keywords:** Heat transfer, thermal storage, paraffin, finned pipes.

### 1. Pendahuluan

Sebuah sistem penyimpanan termal memiliki beberapa keunggulan, seperti kemampuan untuk menyimpan energi panas yang besar dengan unit penyimpanan yang relatif kecil. Hal ini dimungkinkan karena panas laten dari bahan penyimpanan panas jauh lebih besar dari pada panas spesifik. Sistem ini tidak hanya mampu beroperasi pada isothermal dengan perubahan yang relatif kecil dalam volume selama proses perubahan fasa tetapi juga mampu memberikan beberapa penyimpanan panas waktu peleburan bahan..

Bahan yang digunakan untuk penyimpanan panas laten disebut bahan perubahan fasa (PCMs). PCMs umumnya dibagi menjadi tiga kategori utama: organik, senyawa anorganik dan eutektik. PCMs suhu rendah (<200) (organik, anorganik atau eutektik) terutama digunakan dalam sistem pemanfaatan kembali limbah panas dan bangunan, sementara PCMs suhu tinggi (> 200) anorganik digunakan dalam pembangkit listrik tenaga surya dan aplikasi temperatur tinggi lainnya [1-2].

Ada beberapa metode untuk meningkatkan kecepatan transfer panas pada sistem penyimpanan panas laten. Lacroix telah melakukan studi eksperimental dan teoritis untuk memprediksi karakteristik transien pipa dan tabung unit testing [3]. Tes menggunakan pipa halus dan annular sirip dengan bahan perubahan fasa diisi ke dalam tabung dan bekerja aliran cairan melalui dalam pipa. Hasil eksperimen untuk berbagai sirip menunjukkan bahwa pipa dengan sirip dapat meningkatkan tingkat

penyerapan untuk bahan perubahan fasa. Velraj et al, mempelajari dampak dari sirip memanjang internal pada tabung silinder vertikal diisi dengan lilin parafin [4]. Mereka menyimpulkan bahwa menambahkan sirip mengurangi waktu pemadatan dengan faktor 1 / n, dimana n adalah jumlah sirip. Sebuah studi eksperimental karakteristik perpindahan panas peleburan dari *shell and tube*, air sebagai fluida panas mengalir dalam pipa. Parafin sebagai bahan penyimpanan panas diisi ke *shell yang* dilakukan dalam penelitian ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui deskripsi penyimpanan energi termal karakteristik parafin. Jadi, hasilnya akan berguna sebagai informasi dasar untuk mengembangkan sistem penyimpanan panas laten bekerja pada aplikasi kisaran suhu rendah.

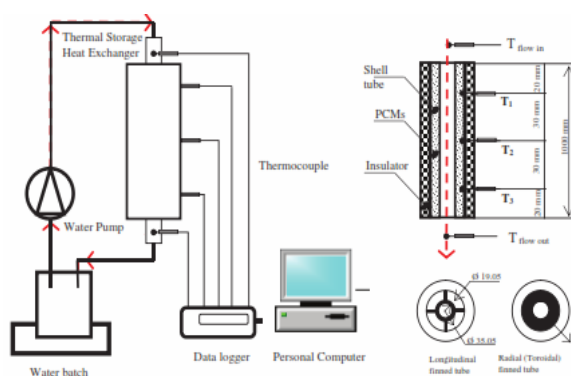
### 2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, teknis pengukuran dilakukan untuk bahan perubahan fasa dan fluida kerja. Kedua hal ini diukur saat suhu leleh perubahan fasa bahan (diukur pada tiga titik yang berbeda). *Inlet* dan *outlet* adalah suhu fluida kerja (air) dan laju aliran massa fluida yang dilakukan selama periode pengujian.

Dalam pengujian ini, parafin murni adalah (n-octadecane/C18H18) digunakan sebagai bahan penyimpan panas yang merupakan senyawa hidrokarbon organik dengan n-alkana sebagai komponen utama dan memiliki perilaku thermophysic seperti yang ditunjukkan dalam tabel 2.1

Tabel 1. Sifat Thermophysical parafin

|                               |                       |         |
|-------------------------------|-----------------------|---------|
| Melting temperature           | 46.7 °C               | Thermal |
| conductivity (solid)          | 0.1383 W/m.°C         |         |
| Thermal conductivity (liquid) | 0.1383 W/m.°C         |         |
| Specific heat (solid)         | 2890 J/kg.K           |         |
| Specific heat (liquid)        | 2890 J/kg.K           |         |
| Density (solid)               | 947 kg/m <sup>3</sup> |         |
| Density (liquid)              | 750 kg/m <sup>3</sup> |         |
| Latent heat                   | 209000 J/kg           |         |



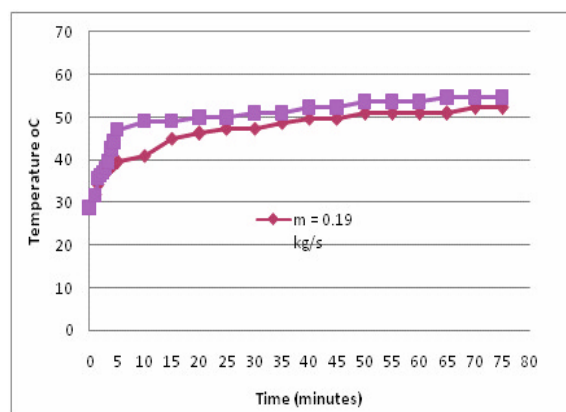
Gambar 1. Unit fasilitas pengujian

*Shell and tube* penukar kalor ini diposisikan secara vertikal dan terhubung ke pemanas sumber, data akuisisi peralatan dan sumber listrik yang digunakan dalam tes sebagai ditunjukkan dalam gambar. 1. Dua jenis pipa, halus dan annular bersirip digunakan dalam tes ini. Panjang pipa masing-masing dari *shell and tube* sekitar 1 m. Diameter penghantar fluida panas adalah 20 mm dan 21,6 mm. sedangkan diameter dalam dan luar *shell* adalah 43 mm dan 46 mm. sirip yang terbuat dari paduan dan disolder ke pipa dengan jarak 60 mm untuk satu sama lain memiliki ketebalan 0,8 mm dan 35 mm diameter luar. Termokopel terletak 5 mm kedalam dari permukaan bahan untuk mengukur tiga poin yang berbeda pada penyimpanan bahan termal yaitu; 50 mm, 500 mm, dan 950 mm poin, masing. Untuk mengukur suhu fluida pada inlet dan pipa outlet, termokopel adalah ditempatkan 50 mm dari *inlet* dan pipa *outlet*. Tabung diisolasi dengan busa dan dilapisi dengan plester isolasi untuk mencegah kehilangan panas. Bentuk dan ukuran pipa bersirip dan tabung seperti ditunjukkan pada gambar. 1. Sumber panas untuk tes air panas oleh pemanas listrik hingga mencapai 130 ° C Suhu leleh di atas termal penyimpanan bahan dan dijaga konstan. Suhu air diukur dengan menempatkan termometer di dalam *reservoir*. Sebuah pompa yang digunakan untuk mensirkulasikan air melalui bagian dalam peralatan pengujian. Pada tahap awal pengujian, penyimpanan bahan termal telah dipanaskan dalam tungku anil pada suhu leleh, 46.70 °C, selama 60 menit. Selama proses pemanasan, suhu tungku *annealing* telah dijaga konstan sehingga proses pencairan bisa

menjalani dengan baik dan homogen. Setelah proses itu, parafin cair kemudian diisi ke dalam ruang antara pipa dan shell diatur vertikal kemudian mendapatkan *down* dingin dan membeku. Sebelumnya, tes dimulai, ambien, dan suhu parafin telah diukur. Data diambil setiap menit selama dari proses pemanasan hingga mencapai beberapa derajat di atas suhu leleh.

### 3. Hasil dan Diskusi

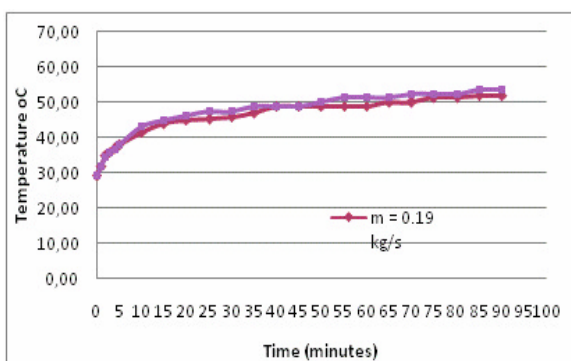
Hasil percobaan dari penelitian ini antara lain, bahan penyimpanan panas mulai dari suhu pemanasan awal (29 °C) sampai temperatur leleh beberapa derajat di atas setiap titik diukur. Karena karakteristik leleh yang sama untuk setiap titik yang diukur, baik dari aliran massa halus dan pipa bersirip. Variasi cenderung sama pada setiap titik pengukuran, dipilih untuk dilakukan kajian ini, titik 2, sebagai sampel ditunjukkan pada gambar. 2, 3, dan 4. Kajian pada titik 2 adalah muncul bahwa tingkat panas penyerapan oleh parafin padat cepat pada tahap awal pemanasan, ditandai dengan peningkatan yang signifikan dalam temperatur, dari 29 °C ke beberapa derajat di bawah titik leleh (sekitar 45 °C). Pada proses pemanasan awal, panas mengalir dari permukaan pesawat pemanasan dan melintasi solid untuk bahan penyimpanan panas konduksi. Bahan berubah dari padat ke cair di sekitar leleh Suhu (46,7 ° C). Dengan meningkatkan tingkat suhu secara bertahap sampai dengan materi melebihi suhu leleh. Suhu-meningkatkan tingkat terus secara bertahap dimulai dari 50 °C. Sedangkan, pada titik ini, konveksi bebas telah mengambil bagian dan menjadi modus panas utama transfer.



Gambar 2. Hasil eksperimen pipa mulus

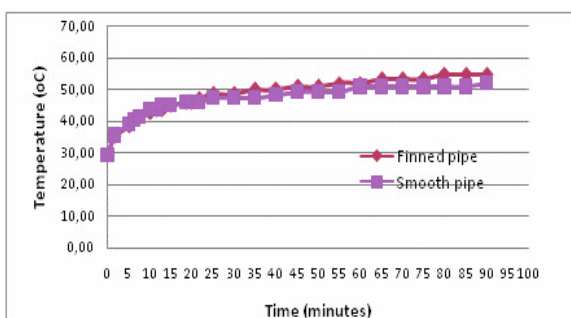
Tes menggunakan pipa bersirip dengan aliran massa 0,23 kg / menyajikan lebur yang sama karakteristik dengan pipa halus menguji seperti yang ditunjukkan pada gambar. 3. Namun, perpindahan panas lebih cepat dan proses penyerapan panas oleh parafin lebih tinggi. Sementara itu, pada pengujian pipa halus menunjukkan bahwa aliran menyimpan panas dengan pipa bersirip tidak jauh berbeda. Tapi konduksi perpindahan panas di lapisan padat dari

material tetap berjalan sampai mencapai suhu leleh ( $46^{\circ}\text{C}$ ). Pada titik leleh, penyerapan panas menurun seiring waktu. Dimulai dari  $49^{\circ}\text{C}$ , temperatur naik secara bertahap sebagai konveksi bebas mengambil bagian. Lebur tingkat karena konveksi adalah dilakukan lebih cepat. Dan dengan waktu yang sama, pipa bersirip bisa mentransfer panas dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan dengan pipa halus.



Gambar.3. hasil eksperimen untuk pipa bersirip

Berdasarkan pada hasil uji titik. 4 dengan  $m = 0,19 \text{ kg / s}$ , tingkat panas menyimpan untuk kedua pipa yang relatif sama dengan  $m = 0,23 \text{ kg / s}$ . Angka ini menunjukkan bahwa tingkat penyerapan panas parafin meningkat ketika material pada kisaran suhu fusi. Tapi sebagai konsekuensi dari perbedaan dalam jumlah pasokan panas dan tingkat panas fluida kerja, waktu yang dibutuhkan untuk mendekati titik leleh dan titik di mana konveksi bebas dimulai adalah sedikit lebih lama. Cairan yang lebih tinggi aliran massa, sehingga energi panas lebih cepat menyimpan. Ini terjadi karena perbedaan jumlah panas penyerapan materi melewati fase-perubahan, selain perbedaan aliran massa yang membuat perbedaan dalam mekanisme aliran fluida.



Gambar 4. Perbandingan tingkat menyimpan panas untuk pipa bersirip

#### 4. Kesimpulan

Pada proses peleburan tahap awal parafin. Dengan suhu bahan meningkat beberapa derajat di bawah suhu leleh, tingkat penyerapan panas berkurang. Itu terjadi karena resistansi termal peningkatan hasil lapisan cair dibuat dalam antar muka perpindahan panas. Setelah suhu mencapai

material menyimpan panas ke titik leleh, temperatur meningkat secara bertahap dan relatif konstan. Ini berarti bahwa awal konveksi bebas modus terjadi. Selain itu, ia menemukan bahwa menggunakan pipa bersirip suhu tingkat penyerapan lebih cepat daripada menggunakan pipa halus. Jadi, menerapkan sirip di dalam tabung adalah cara yang efektif untuk meningkatkan tingkat peleburan (penyerapan panas) dari materi, cairan yang lebih tinggi aliran massa dan lebih cepat proses penyerapan panas dari parafin, sementara Waktu kekurangan yang dibutuhkan untuk mencapai suhu leleh ( $46,7^{\circ}\text{C}$ ). Sebagai perbandingan untuk pipa mulus diambil 26 dan 27 menit, untuk  $m = 0,23$  dan  $0,19 \text{ kg / s}$ , sedangkan untuk bersirip pipa diambil 21 dan 23 menit, untuk  $m = 0,23$  dan  $0,19 \text{ kg / s}$

#### Daftar Pustaka

- [1] M. H. Zalba, B. Marin J, Cabeza L, "Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications", Applied Thermal Engineering, vol. 23, no. 3, pp. 251-283, Feb. 2003.
- [2] S. Farid, M. Khudhair, K. Razack, S. Hallaj, "A review on phase change energy storage: materials and applications", Energy Conversion and Management, vol. 45, no. 9-10, pp. 1597-1615, Jun. 2004.
- [3] M. Lacroix, "Study of the heat transfer behavior of a latent heat thermal energy storage unit with a finned tube", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 36, no. 8, pp. 2083-2092, 1993
- [4] M. Lacroix, "Study of the heat transfer behavior of a latent heat thermal energy storage unit with a finned tube", International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 36, no. 8, pp. 2083-2092, 1993
- [5] R. Velraj, R. Seeniraj, B. Hafner, C. Faber, and K. Schwarzer, Experimental analysis and numerical modelling of inward solidification on a finned vertical tube for a latent heat storage unit, Solar Energy, vol. 60, no. 5, pp. 281 290, 1997.
- [6] Zhongliang Liu, Xuan Sun and Chongfang Ma, Experimental Investigations on The Characteristics of Melting Process of Stearic Acid in An Annulus and Its Thermal Conductivity Enhancement by Fins. Energy Conversion and Management, no. 15, pp. 959-969, 2005..