

PENGISIAN DAN PELEPASAN KALOR PADA PENYIMPAN KALOR TIPE TUBE-AND-SHELL

Agus Dwi Korawan

Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu
Jl. Kampus Ronggolawe Blok B No.1 Mentul Cepu 58315 Telp. (0296) 422322, Facs. (0296) 425429
Email: ad_korawan@yahoo.co.id

Abstrak

Energi panas matahari sangat menarik perhatian sebagai energi terbarukan, karena keberadaannya sangat melimpah dan ada sepanjang masa, akan tetapi ada keterbatasan, yaitu hanya ada pada siang hari. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu disimpan menggunakan penyimpanan kalor agar bisa digunakan pada malam hari. Proses pada penyimpanan kalor adalah proses pengisian yang dilakukan pada siang hari dan proses pelepasan yang dilakukan pada malam hari. Maka pada penelitian ini menggunakan penyimpanan kalor tipe tube-and-shell, memakai paraffin sebagai material penyimpan kalor, dilakukan secara eksperimen laboratorium. Paraffin yang digunakan adalah paraffin yang dijual bebas (lilin), untuk mengetahui sifat-sifat paraffin maka dilakukan uji Differential Thermal Analysis. Penelitian ini bertujuan untuk melihat perubahan temperatur paraffin pada titik-titik pengukuran, dilakukan pada proses pengisian dan pelepasan kalor. Hasilnya menunjukkan bahwa, Pada proses pengisian kalor terjadi kenaikan temperatur paraffin pada bagian atas lebih cepat dari bagian bawah. Sedangkan pada proses pelepasan kalor terjadi penurunan temperatur paraffin pada bagian bawah lebih cepat dari bagian atas.

Kata kunci: energi panas matahari, penyimpanan kalor, paraffin, temperatur, pengisian, pelepasan

Pendahuluan

Sebagai energi terbarukan, energi panas matahari selalu ada sepanjang masa, tersedia untuk kebutuhan hidup manusia dan makhluk lain di muka bumi. Sayangnya masih mempunyai kelemahan dalam penggunaannya, yaitu hanya tersedia pada siang hari, maka bila ingin menggunakan pada malam hari, energi tersebut harus disimpan kedalam *thermal storage*, Dimana pada siang hari energi disimpan dan pada malam hari energi dilepaskan, sehingga penggunaan energi panas matahari sebagai energi yang gratis bisa dilakukan pada siang maupun malam hari.

Thermal storage merupakan teknologi yang menarik perhatian para peneliti, karena mampu menjawab tantangan ketidakcocokan yang kadang-kadang terjadi antara pasokan dan permintaan energi kalor [1]. Manfaat lain yang bisa diperoleh diantaranya adalah lebih efisien dan efektif dalam penggunaan peralatan, mampu menekan biaya, sebagai konservasi bahan bakar fosil, dan penurunan emisi polusi udara [2].

Penggunaan *Phase Change Material* (PCM) sebagai material penyimpan kalor laten merupakan salah satu metode yang perlu dipertimbangkan, karena dengan menyimpan dalam bentuk kalor laten mampu menyimpan energi panas lebih banyak dibanding menyimpan dalam bentuk kalor sensibel [3]. PCM dari bahan organik dan anorganik sudah banyak tersedia secara komersial [4]. Salah satunya adalah paraffin yang memiliki banyak keunggulan terutama ketersediaan secara komersial sehingga mudah diperoleh dengan biaya murah [5].

Penelitian tentang *thermal storage* tipe *Tube-and-shell* sudah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya dengan tujuan untuk melihat distribusi temperatur selama proses pengisian yang dilakukan dengan penambahan sirip longitudinal dan sirip radian [6], juga pernah dilakukan untuk melihat distribusi temperatur dengan membandingkan dengan model *nozzle-and-shell* dan dengan model *reducer-and-shell* [7], juga pernah dimodifikasi dari model *tube-and-shell* menjadi *combine-and-shell* untuk memperpendek waktu pengisian [8].

Proses peleburan paraffin dimulai dari paraffin yang bersinggungan dengan permukaan dinding panas, paraffin mulai mencair sedikit demi sedikit sampai semua berubah fase menjadi cair, bila kondisinya bebas maka paraffin tersebut akan bergerak karena adanya perbedaan berat jenis antara cair dengan padat, sehingga paraffin padat selalu berada pada bagian dasar dari *shell* meskipun temperatur dari dinding sel sama [9]. Paraffin padat lebih berat dari paraffin cair, ini mengakibatkan paraffin cair naik dan paraffin padat turun menuju dasar, gerakan ini menciptakan aliran paraffin cair dan berakibat pada perpindahan kalor konveksi semakin besar, [10], dari sisi lain, karena temperatur paraffin cair yang dekat dengan dinding pemanas lebih besar, maka menimbulkan gaya apung dan

perpindahan kalor konveksi menjadi diperkuat, akibatnya peleburan paraffin di bagian atas *shell* menjadi lebih cepat dibanding bagian bawahnya.

Pada penelitian ini menggunakan model penyimpan kalor tipe *tube-and-shell* dan paraffin sebagai PCM, dilakukan secara eksperimen untuk mengetahui distribusi temperatur pada saat pengisian dan pelepasan kalor. Sumber panas yang akan disimpan berasal dari air panas yang dialirkan melewati penyimpan kalor. Selama proses pengisian dan pelepasan kalor, yang diamati adalah perubahan temperatur paraffin.

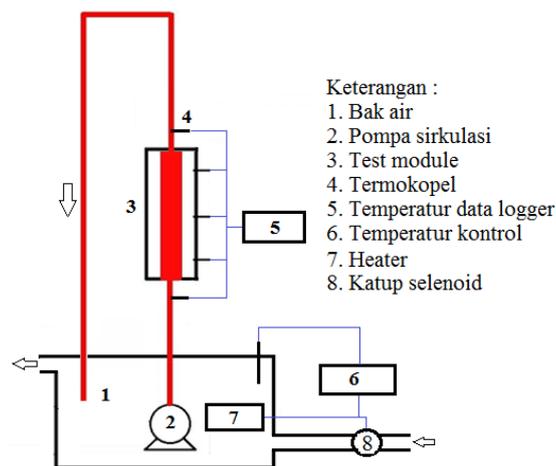
Metode Penelitian

Paraffin yang akan dipakai adalah paraffin yang dijual bebas (lilin), untuk mengetahui sifat-sifat termalnya maka dilakukan uji *Differential Thermal Analysis (DTA)*, menggunakan alat seperti pada gambar 1. Pada proses ini diukur perbedaan temperatur antara sampel dengan material referensi, material referensi yang digunakan adalah alumina. Pemilihan alumina sebagai material uji karena alumina ini tidak mengalami perubahan fase sampai rentang temperatur yang tinggi.



Gambar 1. Defferensial Thermal Analyzer

Susunan peralatan penelitian ditunjukkan pada gambar 2. *Test module* berupa penyimpan kalor tipe *tube-and-shell*, *tube* terbuat dari tembaga dengan diameter 12 mm, sedangkan *shell* terbuat dari *acrilic* dengan panjang 77 mm, diameter dalam 32 mm dan tebal 3 mm, isolator dari stereo foam dengan tebal 15 mm, posisi *test module* vertikal. Instalasi perpipaan menggunakan pipa PVC. Bentuk *tube-and-shell* seperti pada gambar 3, posisi termokopel seperti pada gambar 4, dan foto peralatan setelah dirangkai seperti pada gambar 5.

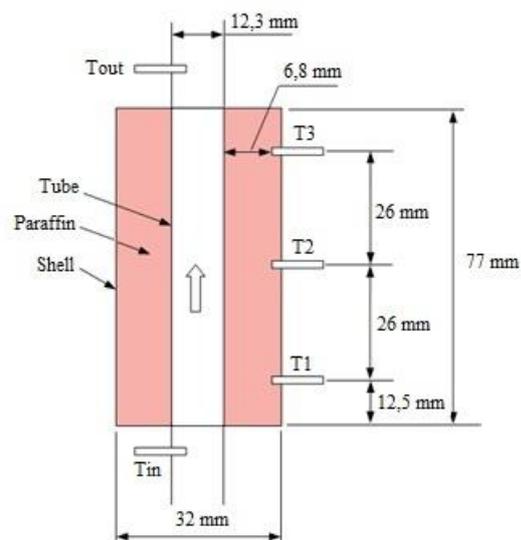


Gambar 2. Susunan peralatan penelitian

Peralatan penelitian dilengkapi dengan data logger yang berfungsi untuk menyimpan data temperatur selama penelitian, sedangkan temperatur kontrol digunakan untuk menjaga agar temperatur air pada bak air konstan sesuai dengan yang dikehendaki.



Gambar 3. Tube-and-shell



Gambar 4. Posisi termokopel



Gambar 5. Peralatan penelitian

Ada 5 buah termokopel yang dipasang untuk melihat perubahan temperatur paraffin selama penelitian, satu dipasang pada saluran masuk (Tin), satu dipasang pada saluran keluar (Tout), dan 3 buah dipasang pada *test module* dengan cara dibenamkan sedalam 3 mm kedalam paraffin (T1, T2, T3). Semua termokopel dihubungkan dengan temperatur data logger.

Penelitian dilakukan sebanyak 2 kali, yang pertama adalah penelitian tentang proses pengisian kalor dan yang kedua adalah penelitian tentang pelepasan kalor. Pada penelitian pengisian kalor dilakukan dengan cara memanaskan air pada bak air menggunakan heater yang dikontrol oleh temperatur kontrol agar temperatur air konstan, setelah temperatur air mencapai nilai yang diinginkan maka temperatur kontrol akan menghentikan suplai listrik menuju heater, bila temperatur air turun selama proses penelitian maka temperatur kontrol akan mengalirkan kembali listrik ke heater. Setelah temperatur air sesuai dengan yang diinginkan maka air dialirkan menuju *test module* dan kembali lagi ke bak air. Pada penelitian tentang pelepasan kalor dilakukan dengan cara yang sama, tetapi temperatur air dijaga dengan mengalirkan air dari suplai air menuju bak air, bila temperatur air di dalam bak air meningkat maka temperatur kontrol akan membuka katup solenoid sehingga air dingin masuk ke dalam bak air, bila temperatur air sudah sesuai dengan yang diinginkan maka katup solenoid ditutup lagi.

Pada penelitian tentang proses pengisian kalor, kondisi awal paraffin berbentuk padat dengan temperatur 29°C, temperatur air adalah 70°C. Sedangkan pada penelitian proses pelepasan kalor, kondisi awal paraffin adalah cair dengan temperatur 70°C, temperatur air adalah 29°C. pada kedua penelitian dilakukan selama 5000 detik, penyimpanan data temperatur oleh data logger dilakukan setiap 20 detik.

Hasil dan pembahasan

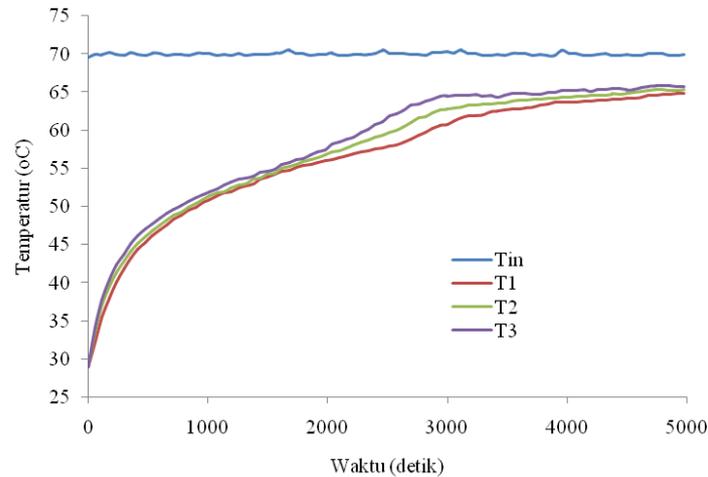
Resume hasil pengujian paraffin menggunakan *Differential Thermal Analysis* seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat thermophysical paraffin

No	Parameter	Nilai
1	Melting Point	52,5 °C
2	Melting range	6,9 °C
3	Solid-Solid phase change temperature	48,5
4	Solid-Solid phase change range	4,7 °C
5	Specific heat of solid (<44 °C)	3,8 J/g.K
6	Specific heat of liquid (<55,6 °C)	2,4 J/g.K
7	Latent heat of melting	166 J/g
8	Latent heat of solid-solid change	53,3 J/g

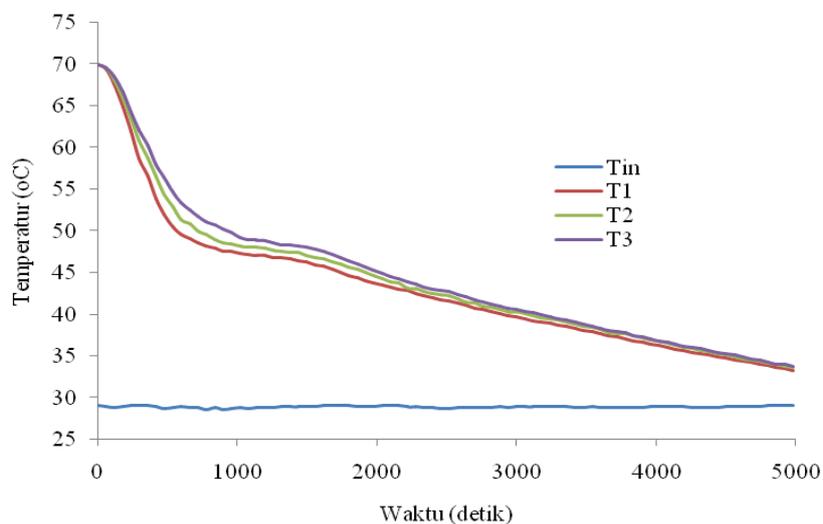
Berdasarkan data tersebut maka dapat dilihat bahwa temperatur peleburan paraffin adalah 52,5°C dengan range sebesar 6,9°C, artinya bahwa peleburan sudah diawali pada temperatur lebih rendah dari temperatur peleburannya. Sedangkan kalor laten peleburan diperoleh nilai sebesar 166 J/g, nilai ini jauh lebih tinggi dari kalor sensibelnya, sehingga penyimpanan kalor dalam bentuk kalor laten menggunakan paraffin sebagai material penyimpan kalor adalah lebih baik dari pada penyimpanan dalam bentuk kalor sensibel.

Hasil penelitian proses pengisian kalor disajikan pada gambar 6 dan proses pelepasan kalor pada gambar 7.



Gambar 6. Perubahan temperatur paraffin selama proses pengisian kalor.

Berdasarkan gambar 6, terlihat bahwa temperatur paraffin di titik-titik pengukuran (T1, T2, dan T3) meningkat secara signifikan, temperatur awal paraffin adalah 29°C, selanjutnya naik drastis sampai pada temperatur sekitar 47°C, sampai waktu 500 s, pada kondisi ini terjadi penyimpanan kalor sensibel, kalor yang diterima oleh paraffin digunakan untuk menaikkan temperatur, dan temperaturnya naik secara drastis, hal ini disebabkan karena kalor spesifik dalam keadaan solid nilainya kecil. Selanjutnya terjadi perubahan fase dari padat menuju cair, ditandai dengan perubahan temperatur yang rendah (landai) mulai dari $t = 500$ s sampai sekitar $t = 2000$ s. Dimana pada tahap ini kalor yang diterima oleh paraffin digunakan untuk mengubah fase dari padat menjadi cair. Tahap berikutnya adalah penyimpanan kalor sensibel, dimana kalor yang diterima oleh paraffin digunakan untuk menaikkan temperatur paraffin cair. Berlangsung terus sampai temperatur mendekati temperatur air. Perubahan temperatur pada bagian atas lebih cepat disebabkan karena adanya gaya apung paraffin cair, dimana pada paraffin cair dengan temperatur lebih tinggi memiliki berat jenis yang lebih rendah, sehingga terjadi akumulasi paraffin cair pada bagian atas. Yang akhirnya mempengaruhi proses peleburan pada bagian atas pula yang menjadi lebih cepat.



Gambar 7. Perubahan temperatur paraffin selama proses pengosongan kalor

Berdasarkan gambar 7, terlihat bahwa T1, T2, dan T3 mengalami penurunan meskipun nilainya berbeda beda, penurunan temperatur ini terjadi pada paraffin cair, kalor yang dikeluarkan berupa kalor sensibel sehingga tidak terjadi perubahan fase. Pada tahap berikutnya terlihat perubahan temperatur yang lambat, bahkan hampir konstan, pada tahap ini terjadi perubahan fase paraffin dari cair menuju padat, dan kalor yang diserap oleh air adalah kalor laten. selanjutnya terjadi perubahan temperatur paraffin secara cepat lagi, dimana pada tahap ini paraffin sudah berbentuk padat, dan kalor yang dikeluarkan berupa kalor sensibel, yang berasal dari penurunan temperatur paraffin.

Kesimpulan

Perubahan temperatur pada titik-titik pengukuran mempunyai pola yang sama, tetapi nilainya berbeda beda,

- Pada proses pengisian kalor pada penyimpan kalor tipe tube-and-shell terjadi kenaikan temperatur paraffin pada bagian atas lebih cepat dari bagian bawah.
- Pada proses pelepasan kalor pada penyimpan kalor tipe tube-and-shell terjadi penurunan temperatur paraffin pada bagian bawah lebih cepat dari bagian atas.

Daftar pustaka

- I. Dincer and M. A. Rosen, (2012), *Thermal energy storage systems and applications*, vol. 66. A John Wiley and Sons, Ltd., Publication.
- M. Rosen, I. Dincer, and N. Pedinelli, (2000) "Thermodynamic Performance of Ice Thermal Energy Storage Systems," *J. Energy Resour. Technol.*, vol. 122, p. 205, Dec..
- A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, and D. Buddhi, (2009), "Review on thermal energy storage with phase change materials and applications," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, pp. 318–345.
- H. M. Belen Zalba, Jose M. Marin, Luisa F. Cabeza, (2003), *Review on thermal energy storage with phase change : materials , heat transfer analysis and applications*, vol. 23.
- M. M. Farid, A. M. Khudhair, S. A. K. Razack, and S. Al-Hallaj, (2004), "A review on phase change energy storage: Materials and applications," *Energy Convers. Manag.*, vol. 45, no. 9–10, pp. 1597–1615.
- T. M. . Hamdani, Irwansyah, Mahlia, (2012) "Investigation of melting heat transfer characteristics of latent heat thermal storage unit with finned tube," *Procedia Eng.*, vol. 50, pp. 122–128.
- A. D. Korawan, S. Soeparman, W. Wijayanti, and D. Widhiyanuriyawan, (2017), "3D Numerical and Experimental Study on Paraffin Wax Melting in Thermal Storage for the Nozzle-and-Shell , Tube-and-Shell , and Reducer-and-Shell Models," *Model. Simul. Eng.*, vol. 2017.
- A. D. Korawan, S. Soeparman, W. Wijayanti, and D. Widhiyanuriyawan, (2017), "Increased Melting Heat Transfer in the Latent Heat Energy Storage from the Tube-and-Shell Model to the Combine-and-Shell Model," *Model. Simul. Eng.*, vol. 2017.
- E. Assis, L. Katsman, G. Ziskind, and R. Letan, (2007), "Numerical and experimental study of melting in a spherical shell," vol. 50, pp. 1790–1804.
- F. L. Tan, S. F. Hosseinizadeh, J. M. Khodadadi, and L. Fan, (2009), "International Journal of Heat and Mass Transfer Experimental and computational study of constrained melting of phase change materials (PCM) inside a spherical capsule," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 52, no. 15–16, pp. 3464–3472.