

Analisa Numerik Proses Peleburan Paraffin Pada Penyimpan Kalor Tipe Tube-and-shell

Agus Dwi Korawan

Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu
Jl. Kampus Ronggolawe Blok B no. 1, Mentul, Cepu 58315
Email: ad_korawan@yahoo.co.id

Abstrak. Analisa numerik ini dilakukan pada penyimpan panas model tube-and-shell posisi vertikal dan menggunakan paraffin sebagai material penyimpan panas, pembuatan geometri menggunakan software ANSYS sedang problem solving menggunakan FLUET. Tujuan penelitian untuk melihat evolusi peleburan paraffin, distribusi temperatur, dan fraksi cair yang terjadi selama proses peleburan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses peleburan diawali pada paraffin dekat dinding tube dan diakhiri pada bagian bawah shell, temperatur paraffin tertinggi ada pada bagian atas shell sedang yang terendah ada pada bagian bawah shell.

Kata kunci : tube-and-shell, paraffin, peleburan, temperatur.

1. Pendahuluan

Salah satu kelemahan energi panas matahari adalah tidak tersedia sepanjang waktu, yaitu hanya ada pada siang hari saja, itu pun juga berfluktuasi karena cuaca dan lokasi. Maka dari itu perlu disimpan agar bisa digunakan saat malam hari atau saat cuaca tidak mendukung. Salah satu metode yang paling efisien untuk menyimpan energi panas ini adalah disimpan dalam bentuk panas laten [1].

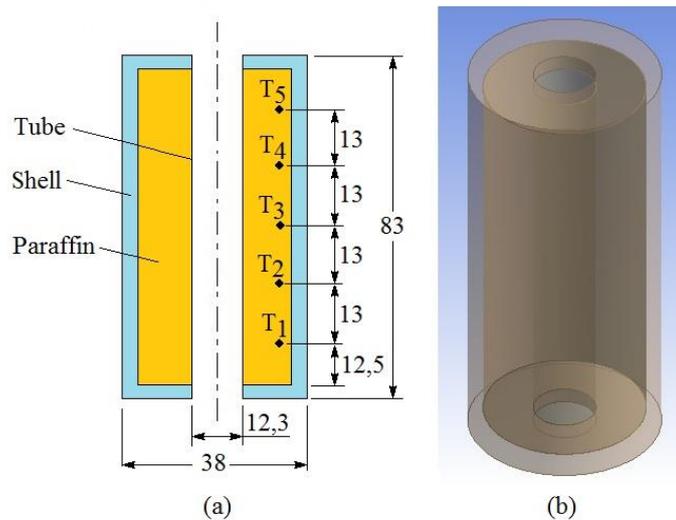
Pada proses menyimpan energi panas laten melibatkan proses peleburan dari material penyimpan, dimana pada proses peleburan ini terjadi perubahan fase dari padat menjadi cair, dan menyerap panas yang jauh lebih besar (panas laten) dibanding dengan panas sensibel. Salah satu material yang banyak direkomendasikan oleh para ahli untuk digunakan sebagai material penyimpan panas adalah paraffin, hal ini disebabkan karena paraffin itu handal, stabil, murah dan non korosif [2], Memiliki kalor laten sebesar 190 kJ/kg dan kalor sensibel sebesar 2.1 kJ/kgK (padat) dan sebesar 2,15 kJ/kgK (cair) [3].

Penyimpan panas model Tube-and-shell banyak diminati karena beberapa alasan, diantaranya kompetitif secara ekonomi [4], desain lebih sederhana sehingga mudah dilakukan secara eksperimen [5] bisa dilakukan modifikasi dengan memasang sirip internal [6], memasang sirip eksternal [7][8][9], memasang sirip radial dan longitudinal [10].

Proses peleburan paraffin di dalam penyimpan kalor diawali pada daerah dekat dinding tube, kemudian berkembang pada daerah lain, perkembangan peleburan paraffin menjadi penting karena dipakai dasar untuk melakukan modifikasi geometri dalam upaya meningkatkan performa. Maka dari itu pada analisa numerik ini bertujuan untuk melihat evolusi peleburan paraffin, distribusi temperatur, dan fraksi cair yang terjadi selama proses peleburan.

2. Model Analisa Numerik

Model pada analisa numerik ini berupa penyimpan kalor tipe tube-and-shell, Tube terbuat dari tembaga dengan diameter 12,3 mm dan tebal 0,5 mm, sedangkan shell terbuat dari Pipa PVC dengan panjang 83 mm, diameter luar 38 mm dan tebal 3 mm, posisi test module vertikal. Titik-titik pengukuran temperatur (T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , dan T_5) ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. (a) sket model, (b) model analisa numerik

3. Metode

Analisa numerik menggunakan software *Ansys-fluent*. Pembuatan model dilakukan dengan menggunakan komponen system *Geometry*, selanjutnya dilakukan meshing menggunakan komponen system *Mesh*, model yang dihasilkan di ekspor ke sub program *Fluent* untuk dilakukan problem solving. Menggunakan model *Solidification & Melting*. Paraffin yang digunakan mempunyai sifat seperti pada tabel 1, khusus untuk berat jenis, viskositas, dan konduktivitas termal, karena tergantung pada temperaturnya, maka menggunakan bantuan *User Defined Functions* sebagai inputan.

Pada *Solution Methods*, *Scheme* yang digunakan *Simple*, *Gradient* yang digunakan adalah *Least Squares Cell Based*, *Pressure* yang digunakan adalah *Presto*, *Momentum* yang digunakan adalah *First Order Upwind*, *Energy* yang digunakan adalah *First Order Upwind*. Untuk mendapatkan data temperatur dilakukan dengan cara *surface monitor* pada titik-titik T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , dan T_5 , dengan posisi seperti pada gambar 1. Untuk mendapatkan data fraksi cair dilakukan dengan cara *volume monitor* pada semua volume paraffin.

Asumsi yang digunakan pada analisa numerik adalah :

- Temperatur pada seluruh permukaan tube dianggap sama
- Paraffin padat selalu berada pada tempat semula
- Berat jenis dan viskositas paraffin tergantung pada temperaturnya
- Perubahan volume paraffin saat melebur diabaikan
- Perpindahan kalor konveksi dari permukaan luar shell ke udara sekitar dianggap konstan

Boundary condition pada analisa numerik ini adalah temperatur pada tube sebesar 343K, temperatur paraffin awal adalah 300K, temperatur udara sekitar adalah 300K. konduktivitas thermal pipa PVC adalah 1 w/mK, koefisien konveksi permukaan luar pipa PVC ke udara sekitar adalah 5 w/m²K. Sifat fisik paraffin yang digunakan seperti ditunjukkan pada tabel 1.

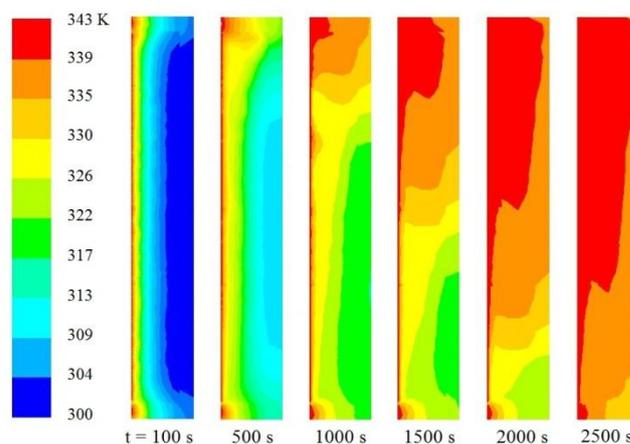
Tabel 1. Sifat fisik paraffin

| Besaran | Nilai |
|---|--------------------------------------|
| ^a Berat jenis (kg/m ³) | $\frac{750}{0.001(T-319.15)+1}$ |
| ^b Panas spesifik (J/kgK) | 3100 |
| ^a Konduktivitas termal fase padat (W/mK) | 0.21 |
| ^a Konduktivitas termal fase cair (W/mK) | 0.12 |
| ^a Viscositas (Ns/m ²) | $0.001 \exp(-4.25 + \frac{1790}{T})$ |
| ^b Panas laten (J/kg) | 166000 |
| ^b <i>Solidus temperature</i> (K) | 321.7 |
| ^b <i>Liquidus temperature</i> (K) | 328.6 |

^a (Arasu & Mujumdar, 2012)^b Hasil pengujian laboratorium

4. Hasil dan Pembahasan

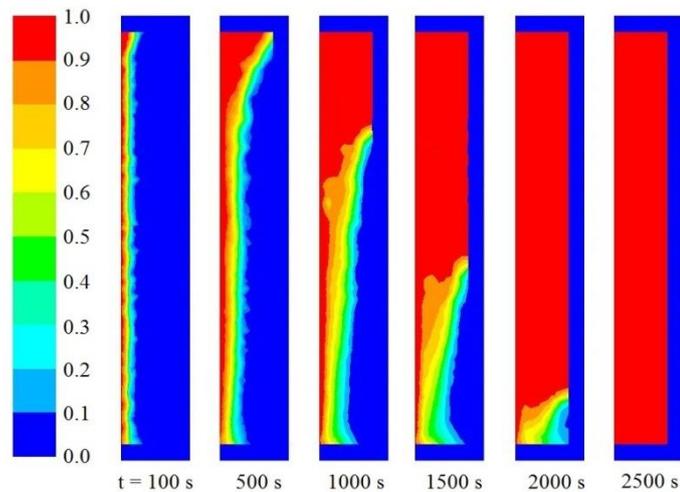
Kontur temperatur hasil analisa numerik ditunjukkan pada gambar 2. Pada $t = 100$ s terlihat distribusi temperatur yang hampir sama antara daerah bagian atas dengan daerah bagian bawah, hal ini disebabkan karena pada awal proses terjadi perpindahan kalor secara konduksi. Selanjutnya mulai terjadi perubahan distribusi temperatur pada paraffin, dimana pada bagian atas temperaturnya lebih cepat meningkat dibanding bagian bawahnya ($t=500$ s), hal ini disebabkan karena paraffin sudah mulai mencair, dan cairan yang terbentuk mulai bergerak ke atas akibat perbedaan berat jenis, perpindahan kalor yang terjadi adalah konveksi. Karena terjadi perbedaan berat jenis antara paraffin bertemperatur tinggi dengan yang bertemperatur lebih rendah, maka paraffin cair bertemperatur lebih tinggi akan berkumpul pada bagian atas, sementara yang bertemperatur lebih rendah berada pada bagian lebih rendah ($t=1000$ s s/d $t=2500$ s).



Gambar 2. Kontur temperatur

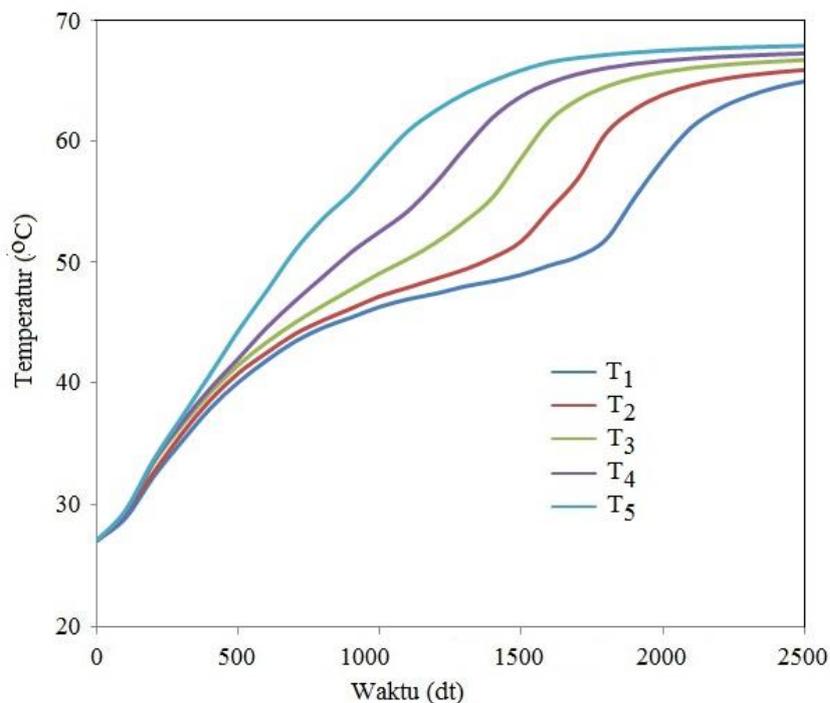
Kontur peleburan ditunjukkan pada gambar 3. Pada $t=100$ s terlihat adanya peleburan paraffin yang merata pada daerah dekat dinding panas, hal ini terjadi pada awal proses peleburan, dimana paraffin cair yang terbentuk masih belum bergerak, sehingga perpindahan kalor yang terjadi adalah konduksi. Pada waktu berikutnya terlihat bahwa paraffin cair mulai berkumpul pada bagian atas, ini menunjukkan bahwa paraffin cair bergerak ke atas sepanjang dinding tube akibat perbedaan berat jenis, sehingga perpindahan kalor yang terjadi adalah konveksi. Pada daerah batas cair-padat terjadi perpindahan kalor dari paraffin cair menuju paraffin padat, akibatnya paraffin cair temperaturnya berkurang, dan bergerak ke bawah. Adanya gerakan paraffin ke atas pada daerah dekat tube dan gerakan paraffin cair ke bawah pada daerah batas cair-padat menimbulkan gerakan aliran paraffin secara alami. Secara umum terjadi peleburan pada bagian atas shell dan berangsur-angsur ke bagian di

bawahnya, peleburan terakhir terjadi pada bagian bawah. Pada $t=2500s$ semua paraffin sudah melebur meskipun temperaturnya belum mencapai temperatur tertinggi.



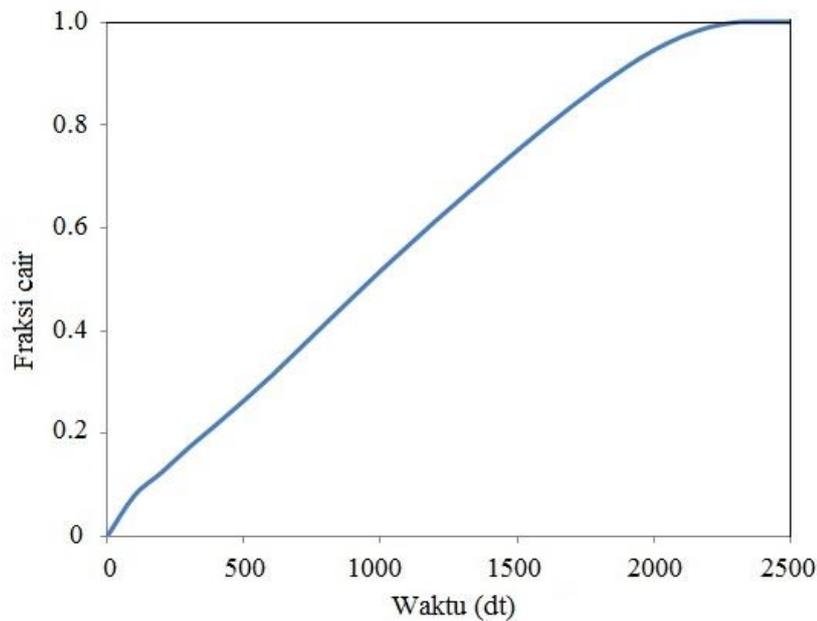
Gambar 3. Kontur peleburan

Perubahan temperatur pada titik-titik pengukuran ditunjukkan pada gambar 4. Pada awalnya T_1 sampai T_5 naik secara bersamaan, selanjutnya T_5 naik lebih cepat dibanding yang lainnya, diikuti berturut-turut oleh T_4 , T_3 , T_2 , dan T_1 . Demikian juga dengan proses peleburan yang terjadi diawali pada T_5 dan diikuti berturut-turut oleh T_4 , T_3 , T_2 , dan T_1 . Pada akhir proses masih terjadi perbedaan temperatur meskipun semua paraffin sudah mencair.



Gambar 4. Perubahan temperatur

Fraksi cair di tunjukkan pada gambar 5. Yaitu perbandingan antara paraffin cair terhadap keseluruhan, bila nilainya 0 (nol) maka semua paraffin berfase padat, bila nilainya 1 (satu) maka semua paraffin sudah mencair. Dari grafik tersebut terlihat bahwa proses peleburan paraffin sudah selesai sebelum $t = 2500 s$.



Gambar 5. Fraksi cair

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa numerik, perpindahan kalor pada awal proses adalah konduksi, setelah terbentuk cairan, dan cairan tersebut mulai bergerak ke atas, maka perpindahan kalor mulai berubah menjadi konveksi. Proses peleburan pada titik-titik pengukuran temperatur terjadi pada waktu yang berbeda, diawali pada titik pengukuran paling atas diikuti berturut-turut oleh titik-titik yang berada di bawahnya. Proses peleburan terjadi lebih dulu pada shell bagian atas, selanjutnya diikuti pada bagian di bawahnya.

Daftar Pustaka

- [1]. Farid, M.M., Khudhair, A.M., Razack, S.A.K. & Al-Hallaj, S. 2004. A review on phase change energy storage: materials and applications. *Energy Conversion and Management*. 45 :1597–1615.
- [2]. Sharma A, V.V. Tyagi , C.R. Chen a, D. Buddhi, 2009, Review on thermal energy storage with phase change materials and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 , 318–345
- [3]. A. Felix Regin_, S.C. Solanki, J.S. Saini, 2006, Latent heat thermal energy storage using cylindrical capsule: Numerical and experimental investigations, *Renewable Energy* 31 2025–2041.
- [4]. F. Bai , Y. Wang, Z. Wang, Y. Sun , A. Beath, Economic evaluation of shell-and-tube latent heat thermal energy storage for concentrating solar power applications, *Energy Procedia* 69 (2015) 737 – 747
- [5]. Akgun M,AydinO,KaygusuzK.Thermalenergystorageperformanceof paraffin inanoveltube-in-shellssystem.*ApplThermEng*2008;28:405–13.
- [6]. Zhang, Y. & Faghri, A. 1996. Heat Transfer Enhancement in Latent Heat Thermal Energy Storage System by Using The Internally Finned Tube . *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 39 (15): 3165-3173
- [7]. Choi, J.C., Kim, S.D. & Han, G.Y. 1995. Heat Transfer Characteristics in Low-Temperature Latent Heat Storage Systems Using Salt Hydrates. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 12 (2): 258-263

- [8]. Velraj, R. Seeniraj, Hafner, B. Faber, C. & Schwarzer, K. 1997. Experimental analysis and numerical modelling of inward solidification on a finned vertical tube for a latent heat storage unit. *Solar Energy*. 60 (5): 281 290.
- [9]. Ere. A, Ilken. Z, Acar. M. A, 2005, Experimental and numerical investigation of thermal energy storage with a finned tube, *International Journal Of Energy Research*, 29:283–301
- [10]. Hamdani, Irwansyah & Mahlia T.M.I. 2012. Investigation of melting heat transfer characteristics of latent heat thermal storage unit with finned tube. *Procedia Engineering*. 50: 122 – 128