

SIMULASI COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC PADA TANGKI SOLAR WATER HEATER BERISI AIR DENGAN VARIASI DEBIT AIR PADA PROSES DISCHARGING SECARA KONTINYU

Muhammad Abid Rizky .M.^a, Tito Hadji Agung S.^b, Teddy Nurcahyadi^c
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
^aabidrizky1899@gmail.com, ^btitoahas@yahoo.com, ^cnurcahyadi@gmail.com

Abstrak

Solar Water Heater (SWH) memiliki kekurangan yaitu ketersediaan sumber energi panas matahari sangat terbatas oleh waktu dan keadaan cuaca. Thermal Energy Storage (TES) adalah metode yang tepat untuk mengatasi kekurangan tersebut. Pergerakan fluida tidak dapat dilihat, oleh karena itu diperlukan studi simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui evolusi temperatur, pelepasan kalor kumulatif, laju penurunan kalor serta laju penurunan temperatur air di dalam tangki.

Konfigurasi geometri terdiri dari tangki sebagai Heat Transfer Fluid (HTF). Simulasi ini dilakukan menggunakan ANSYS Fluent 18.0 yang dilakukan pada proses discharging secara kontinyu. Pada discharging secara kontinyu temperatur inlet 27 °C, temperatur air di dalam tangki 70°C, serta debit air 1,5 LPM dan 2,5 LPM. Objek simulasi meliputi evolusi temperatur pelepasan kalor kumulatif, laju penurunan kalor serata laju penurunan temperatur (HTF).

Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar debit alirannya maka semakin cepat waktu penurunan temperaturnya, selain itu laju pelepasan kalor dan laju penurunan temperatur menunjukkan hasil yang sama. Dibuktikan dengan waktu yang di perlukan pada proses discharging secara kontinyu variasi 1,5 LPM yaitu 1,7 jam, laju pelepasan kalor 1.416,09 J/s, laju penurunan temperatur air 20,46 °C/jam, dan pelepasan kalor kumulatif yaitu 8.666.498,69 J. Sementara variasi debit 2,5 LPM yaitu 1,3 jam, laju pelepasan kalor 1.946,29 J/s, dan laju penurunan temperatur air 14,70°C/jam, dan pelepasan kalor kumulatif yaitu 9.108.660,94 J.

Kata Kunci : Fluent, SWH, HTF, TES, discharging secara kontinyu.

Abstract

Solar Water Heater (SWH) has a shortage of availability of solar thermal energy sources very limited by time and weather conditions. Thermal Energy Storage (TES) is the right method to overcome such deficiencies. The difficulty of experiment research is that it can not be seen visually the movement of the fluid, therefore necessary simulation study of Computational Fluid Dynamics (CFD). Main Purpose in this study is to know the Evolution of temperature, the release of a cumulative heat, the rate of decreased heat and the rate of decrease in water temperature in the tank.

The geometry configuration consists of the tank as a Heat Transfer Fluid (HTF). This simulation is done using ANSYS Fluent 18.0 which is performed in the discharging process continuously. In continuous discharging of inlet temperature of 27 °c, temperature of water in the tank is 70°, as well as water discharge of 1.5 LPM and 2.5 LPM. Simulated objects include the evolution of the cumulative heat release temperature, the rate of decrease in the heat rate (HTF).

Simulated results show that the larger the discharge of the flow then the faster the temperature decreases, in addition to the rate of release of heat and the rate of temperature decrease shows the same results. This is evidenced by the time needed in the continuous discharging process of 1.5 LPM variation of 1.7 hours, the rate of release of the Heat 1,416.09 J/s, the rate of water temperature decreases 20.46 °c/h, and the release of the cumulative heat 8,666,498.69 J. While the variation Discharge 2.5 LPM which is 1.3 hours, the rate of release of the Heat 1,946.29 J/s, and the rate of temperature decrease of water temperature 14,70 °c/h, and the cumulative heat release is 9,108,660.94 J.

Key Words: Fluent, SWH, HTF, TES, discharging continue.

1. Pendahuluan

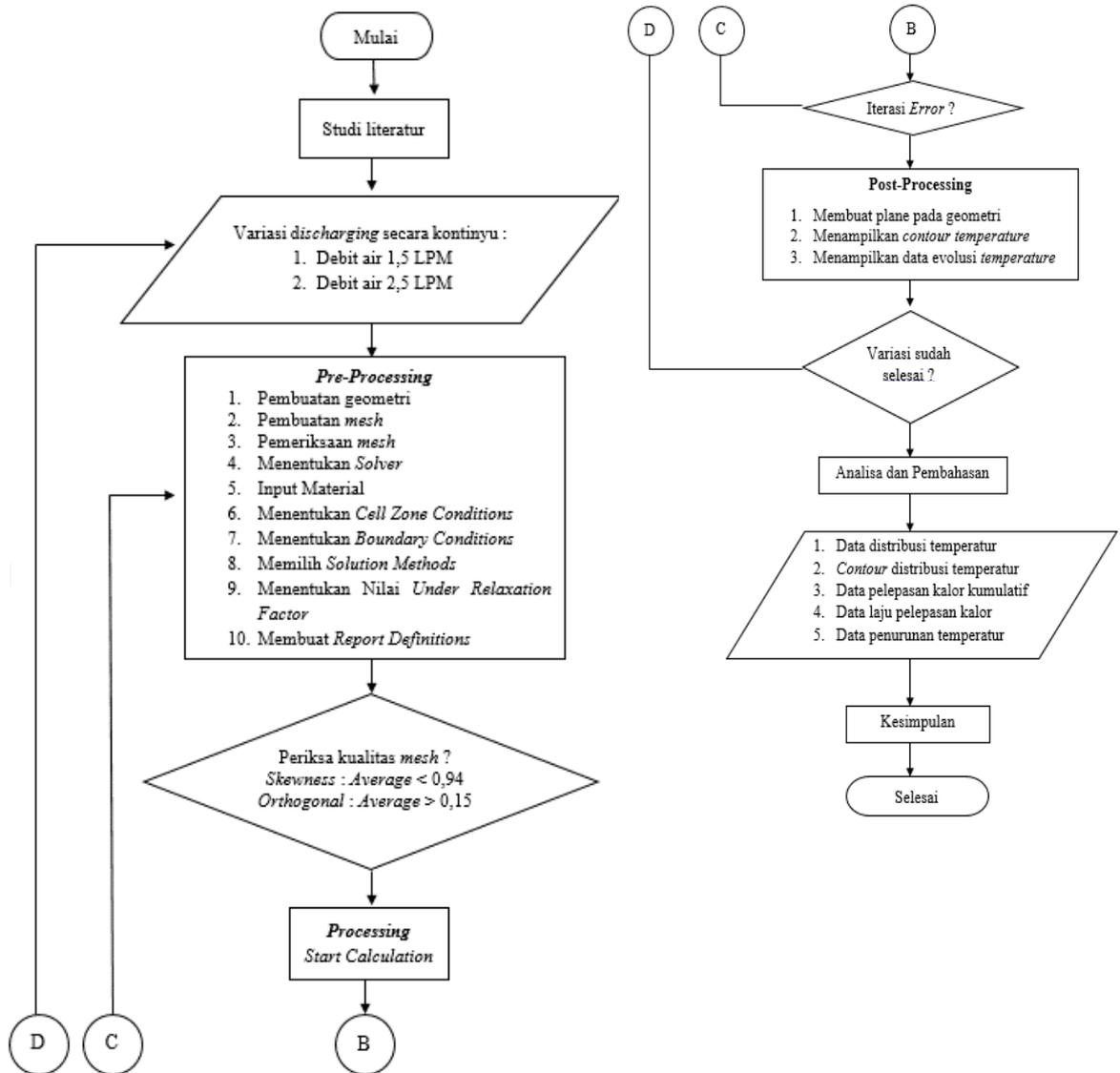
Seiring berjalannya waktu perkembangan peradaban manusia juga semakin meningkat, hal ini mengakibatkan kebutuhan energi semakin tinggi. Masyarakat di Dunia masih mengandalkan bahan bakar fosil khususnya minyak bumi sebagai energi utama yang menopang segala bidang kehidupan selama dua abad dan terus digunakan hingga saat ini dan terus meningkat karena pertumbuhan populasi manusia di Dunia terus meningkat, akan tetapi ketergantungan pada minyak bumi dan bahan bakar fosil lainnya mengakibatkan permasalahan lingkungan seperti polusi udara dan pencemaran tanah [1]. Oleh sebab itu, pemanfaatan serta penggunaan energi alternatif menjadi hal yang wajib untuk menggantikan penggunaan minyak bumi secara terus menerus. Energi terbarukan menjadi pilihan yang tepat untuk memenuhi kebutuhan energi di Dunia karena energi ini akan terus ada dan tidak ada habisnya. Salah satu contoh energi terbarukan adalah radiasi matahari. Matahari adalah salah satu energi terbarukan yang paling baik dan konstan selalu ada [2].

Sejauh ini, pemanfaatan energi matahari yang salah satu banyak digunakan untuk pemanas air dengan menggunakan tenaga surya atau lebih dikenal dengan sebutan *Solar Water Heater* (SWH). Meski begitu, ketersediaan sumber energi radiasi panas matahari dipengaruhi oleh waktu. Energi matahari tidak tersedia pada sore dan malam hari, padahal kebutuhan pemakaian tertinggi energi matahari terjadi pada waktu tersebut. Karena karakter penerapan energi radiasi matahari yaitu tidak ada kesesuaian antara kebutuhan pemakaian dan sumber energi [3]. Untuk mengatasi ketidaksesuaian antara kebutuhan akan energi dan pasokan energi dari radiasi matahari, maka yang harus dilakukan adalah penggunaan *Thermal energy storage* (TES) [4]. Penyimpanan panas yang biasa diaplikasikan pada TES dikategorikan menjadi 3 macam, yaitu *sensible heat storage* (SHS), *laten heat storage* (LHS), dan *thermochemical*. Dari ketiga metode penyimpanan panas tersebut LHS merupakan yang paling efektif penggunaannya.

Sensible heat adalah suatu panas yang dilepaskan atau diterima oleh suatu benda yang menyebabkan temperatur benda tersebut berubah. Sistem penyimpanan panas berdasarkan *sensible heat* yang paling banyak dijumpai adalah SHS yang menggunakan air sebagai media penyimpan panas [5]. Air sebagai media penyimpan panas memiliki panas spesifik relatif tinggi, hampir tidak ada penurunan pada siklus termal, cocok dengan berbagai wadah, banyak ditemukan dan murah [6]. Sehingga, air merupakan media yang tepat, dan kini air juga digunakan sebagai bahan penyimpan panas hampir diseluruh wadah penyimpanan panas untuk sistem energi yang memanfaatkan penyimpanan panas yang beroperasi pada rentang suhu 0 °C hingga 100 °C [7].

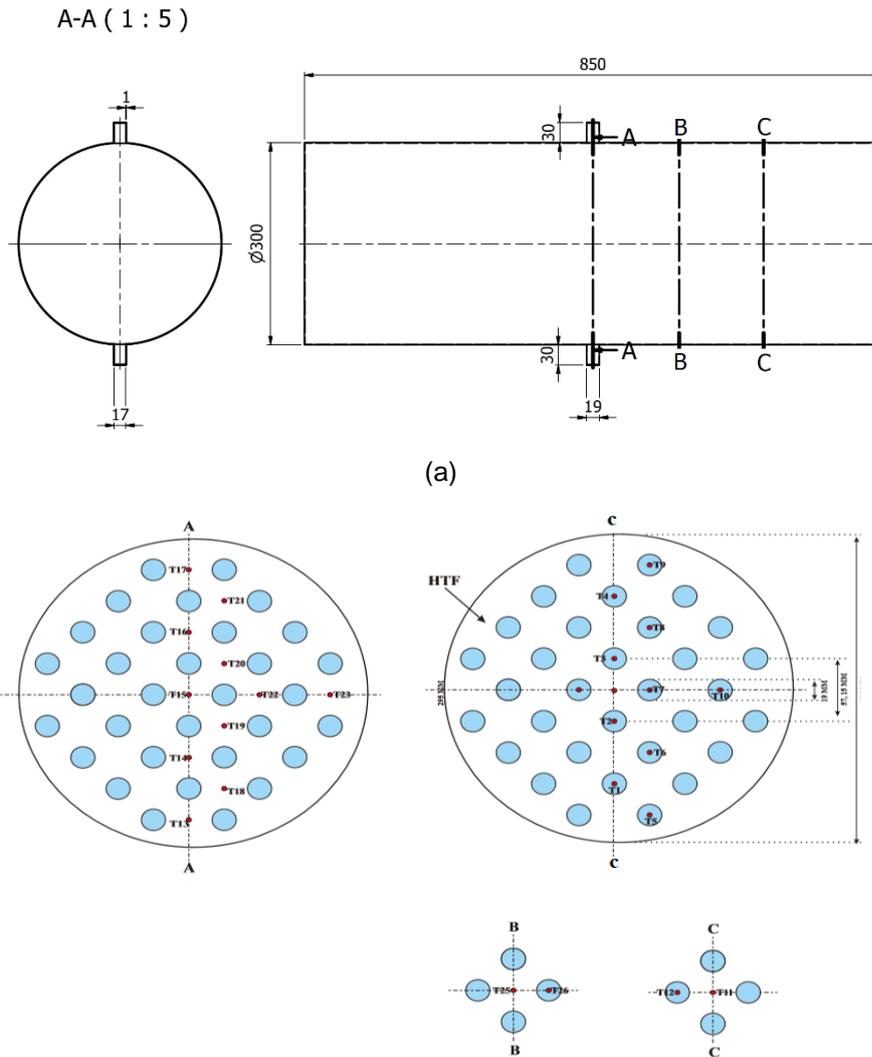
Penelitian tentang penggunaan air sebagai media penyimpan panas telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu. Proses *discharging* pada TES merupakan kejadian penting, karena ketika proses *charging* terjadi kenaikan suhu yang bertujuan untuk menghasilkan energi panas sedangkan penurunan temperatur terjadi pelepasan energi termal yang dapat digunakan untuk tujuan tertentu. Dalam penelitian eksperimental yang menggunakan beberapa variasi biasa terjadi kendala seperti sulitnya melakukan kontrol pada kondisi lingkungan dan kualitas parameternya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan studi simulasi proses pendinginan air menggunakan *software* CFD ANSYS Fluent. Simulasi ini dapat membantu mempelajari karakteristik laju perpindahan kalor pada proses *discharging* air saat di dalam alat penukar kalor.

2. Metode Penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Parameter yang digunakan pada penelitian ini yaitu proses *discharging* secara kontinyu menggunakan variasi debit air 1.5 LPM dan 2.5 LPM. Ukuran geometri dan posisi termokopel dapat dilihat pada Gambar 2.

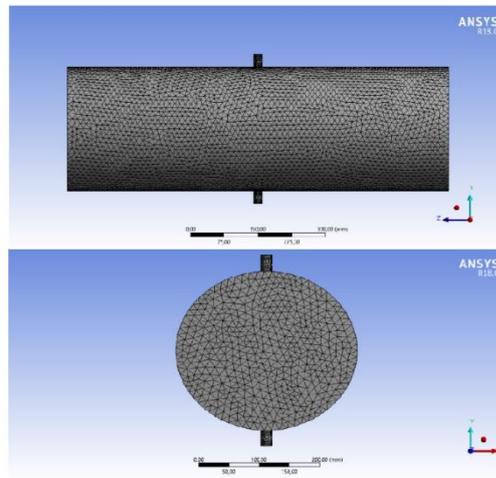


Gambar 2. (a) Geometri Tangki (b) Posisi Termokopel pada Tangki

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Perpindahan kalor radiasi dianggap tidak ada
2. Penelitian yang dilakukan menggunakan laju aliran volume konstan dan bersifat kontinyu.
3. Aliran dianggap laminar.
4. *Heat loss* pada sistem diabaikan.
5. Rugi-rugi termal ke lingkungan diabaikan.
6. Strimin pada tangki dianggap tidak ada.

Meshing dilakukan dengan nilai rata-rata *skewness* 0,20924 dan nilai rata-rata *orthogonal* 0,86720. Hasil *meshing* TES disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pembuatan Mesh

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Evolusi Temperatur HTF

Hasil evolusi temperatur HTF yang didapatkan berasal dari 11 titik temperatur yang tersebar dengan posisi pada Gambar 2(b). Kemudian titik temperatur dibagi menjadi empat segmen sesuai dengan posisinya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Evolusi temperatur air pada penelitian ini melalui *discharging* secara kontinyu. Penyajian data tersebut menggunakan kurva dan *contour*.

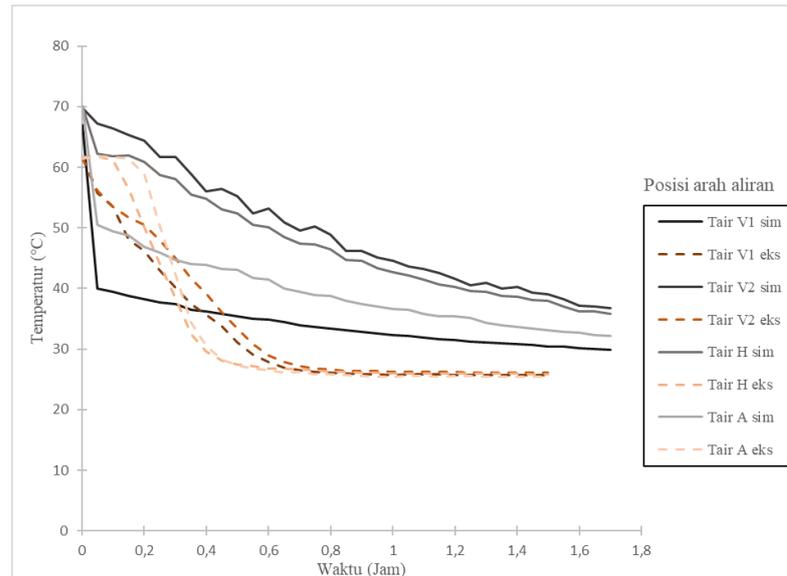
Tabel 1. Pembagian Kelompok pada Termokopel di HTF

Nama	Posisi	Termokopel
T(Air) V1	Baris Vertikal 1	T13, T2, dan T17
T(Air) V2	Baris Vertikal 2	T18, T20, dan T9
T(Air) H	Baris Horizontal	T15, T7, dan T10
T(Air) A	Baris Aksial	T15, T25 dan T11

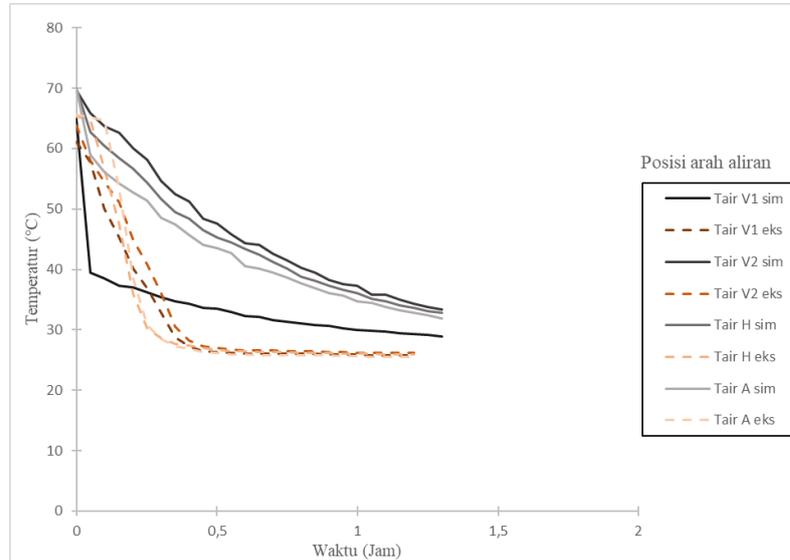
Gambar 4 memperlihatkan perbandingan grafik evolusi temperatur HTF. Temperatur pada arah vertikal yang ditunjukkan pada TAir V1 mengalami penurunan suhu yang lebih cepat daripada arah posisi lain, hal ini dipengaruhi oleh posisi *inlet* yang dekat dengan arah vertikal. Sedangkan penurunan temperatur yang lama terjadi pada TAir A, hal tersebut disebabkan posisinya yang jauh dari sisi *inlet*. Besarnya variasi debit mempengaruhi waktu penurunan temperature, hal ini dibuktikan pada Grafik (b) yang lebih cepat mengalami penurunan temperatur daripada Grafik (a). Selain itu didapatkan bahwa kurva eksperimen lebih cepat mengalami penurunan temperatur daripada simulasi. Hal itu disebabkan oleh kondisi inlet yang tidak konstan. Sementara besarnya nilai deviasi yang ditunjukkan Tabel 2. diduga karena acuan temperatur akhir 35 °C yang berbeda, untuk pengujian eksperimen acuannya pada bak penampung, sedangkan pada pengujian simulasi acuannya di tangki. Hal ini menyebabkan adanya *heatloss* yang terjadi pada pengujian eksperimen. Pada simulasi sifat-sifat air yang berpengaruh pada hasil penurunan temperatur tidak diinput sehingga menyebabkan hasil eksperimen menjadi lebih cepat mengalami penurunan temperature dibandingkan dengan simulasi.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Pengujian *Charging*

Variasi	Waktu		Deviasi
	Simulasi	Eksperimen	
1,5 LPM	1,7 jam	1,5 jam	11,76 %
2,5 LPM	1,3 jam	1,2 jam	7,69 %



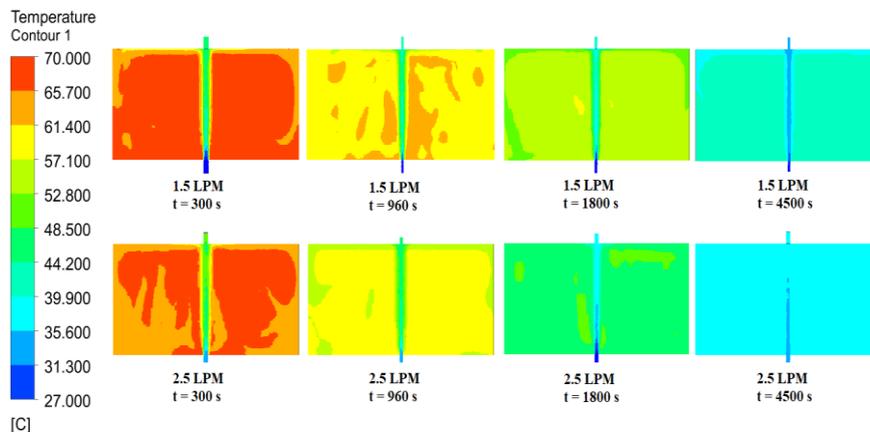
(a)



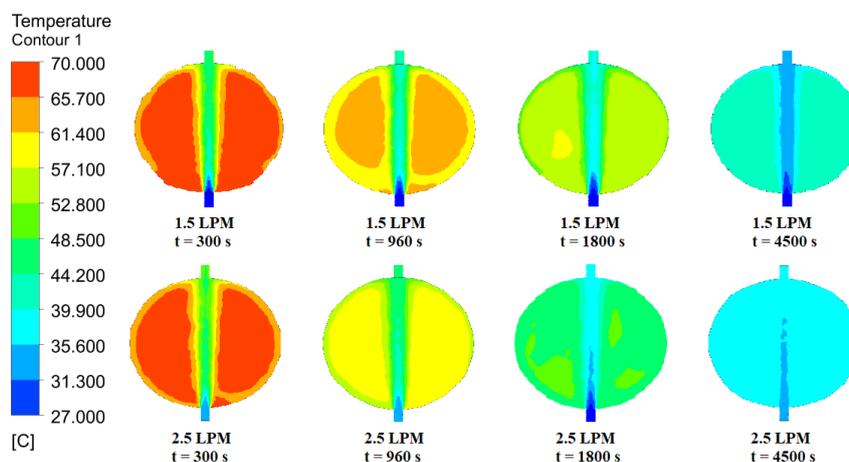
(b)

Gambar 4. Grafik Evolusi Temperatur HTF pada Proses *Discharging* secara Kontinyu (a) Variasi 1,5 LPM (b) Variasi 2,5 LPM

gambar 5. pada variasi 2,5 LPM mengalami penurunan suhu lebih cepat daripada 1,5 LPM hal ini dibuktikan pada detik ke 4500 *contour* pada variasi 2,5 LPM di dominasikan pada warna biru cerah, sedangkan pada variasi 1,5 LPM di dominasikan berwarna biru yang masih bercampur dengan warna hijau. arah aksial. Hal ini dipengaruhi oleh posisi inlet dan *outlet* yang sejajar.



(a)



(b)

Gambar 5. Contour Evolusi Temperatur HTF pada Proses Discharging secara Kontinyu variasi 1,5 LPM dan 2,5 LPM (a) Arah Aksial (b) Arah Radial

3.2. Perbandingan Pelepasan Kalor Kumulatif

Pelepasan kalor kumulatif adalah gabungan energi termal yang dilepas dari awal sampai akhir. Pelepasan kalor yang terjadi pada variasi debit 1,5 LPM dapat dihitung dengan persamaan 1.

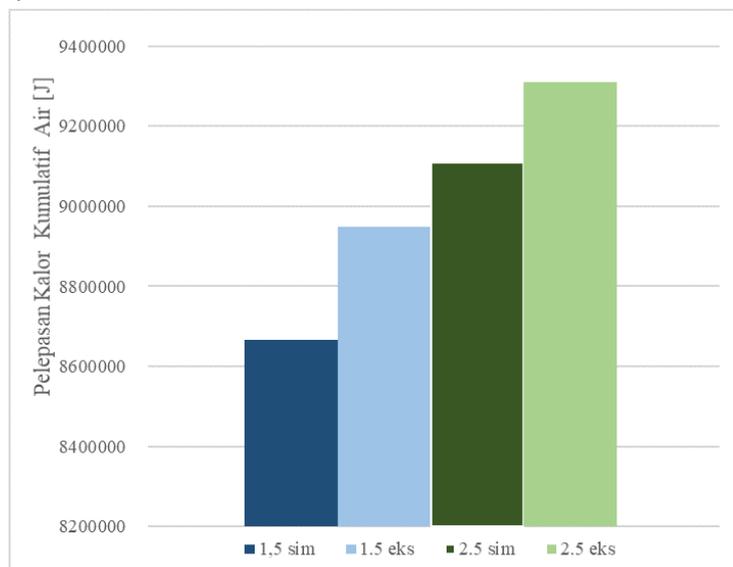
$$\begin{aligned}
 Q \text{ Kumulatif} &= m \times (H_i - H_f) \dots\dots\dots(1) \\
 &= \rho \times V_{\text{tangki}} \times (H_{\text{awal}} - H_{\text{akhir}}) \\
 &= 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]} \times 0,060083 \text{ [m}^3\text{]} \times (182.580,03 - 38.337,82) \\
 Q \text{ Kumulatif} &= 8.666.498,69 \text{ [J]}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. menunjukkan perbandingan nilai perpindahan kalor kumulatif antara simulasi dan eksperimen dengan variasi debit 1,5 LPM dan 2,5 LPM. Hasilnya nilai pelepasan kalor kumulatif variasi debit 2,5 LPM lebih besar dibandingkan variasi 1,5 LPM. Pada simulasi nilai pelepasan kalor kumulatif lebih kecil dibandingkan dengan hasil pada eksperimen hal ini disebabkan pada simulasi sifat-sifat termal pada air tidak diinput sehingga pelepasan kalor kumulatif pada simulasi tidak terpengaruh oleh perubahan sifat-sifat termal air yang terjadi.

Tabel 3. Data Pelepasan Kalor Kumulatif

Debit (LPM)	Q _{kumulatif} [J]		Deviasi
	Simulasi	Eksperimen	
1,5	8.666.498,69	8.948.498,83	3,25 %
2,5	9.108.660,94	9.310.876,1	2,22 %

Pada Gambar 6. Grafik tentang nilai pelepasan kalor kumulatif dari setiap variasi debit menunjukkan bahwa semakin besar variasi debit air yang di alirkan maka nilai pelepasan kalor kumulatifnya akan semakin kecil. Hasil grafik didapat perbandingan data hasil uji simulasi dan eksperimen.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Nilai Pelepasan Kalor Kumulatif

3.3. Perbandingan Laju Pelepasan Kalor

Laju pelepasan kalor yang terjadi pada setiap variasi debit air dapat dihitung dengan membandingkan nilai pelepasan kalor kumulatif dengan total waktu setiap variasi debit. Laju pelepasan kalor pada air dapat menggunakan persamaan 2.

$$\text{Laju pelepasan kalor air} = \frac{9.033.496,79 \text{ [J]}}{6120 \text{ [s]}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Laju pelepasan kalor air} = 1320,69 \text{ [J/s]}$$

Tabel 4 menunjukkan perbandingan nilai laju pelepasan kalor antara simulasi dan eksperimen. Variasi yang digunakan yaitu debit 1,5 LPM dan 2,5 LPM. Nilai laju pelepasan kalor pada variasi 2,5 LPM lebih besar dibandingkan pada variasi 1,5 LPM. Hasil yang didapat dari perbandingan ini adalah laju pelepasan kalor pada eksperimen memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan simulasi, hal ini dikarenakan temperatur *inlet* pada simulasi konstan sedangkan pada eksperimen suhu *inlet* tidak konstan serta sifat-sifat termal air tidak diinput dan mengikuti *default* pada *software* sehingga simulasi memiliki nilai

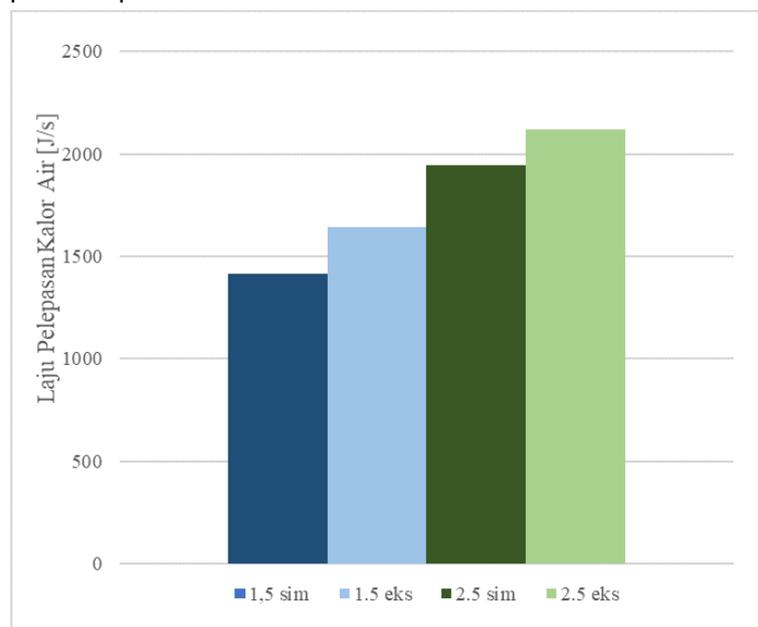
laju pelepasan kalor lebih kecil dibandingkan eksperimen. Besarnya debit juga

Debit (LPM)	Laju Pelepasan Kalor Air (J/s)		Deviasi
	Simulasi	Eksperimen	
1,5	1416,09	1643,43	16,04 %
2,5	1946,29	2118,52	8,84 %

mempengaruhi hasil yang didapat.

Tabel 4. Data Laju Pelepasan Kalor Air

Gambar 7. memperlihatkan grafik perbandingan antara simulasi dan eksperimen menggunakan variasi debit 1,5 LPM dan 2,5 LPM. Hasil perhitungan laju pelepasan kalor air pada setiap variasi debitnya menunjukkan bahwa besarnya debit yang dialirkan akan mempengaruhi nilai laju pelepasan kalor. Semakin besar variasi debit air maka akan semakin besar juga laju pelepasan kalornya. Hal ini dibuktikan pada debit 2,5 LPM memiliki laju pelepasan kalor lebih besar daripada debit 1,5 LPM. Laju pelepasan kalor pada eksperimen juga menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan simulasi, hal ini disebabkan temperature pada *inlet* yang berbeda. Pada simulasi temperatur *inlet* konstan sedangkan pada eksperimen tidak konstan.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Laju Pelepasan Kalor

3.4. Perbandingan Laju Penurunan Temperatur Air

Laju penurunan temperatur air pada setiap variasi debitnya dapat dihitung menggunakan gradien suhu. Pada variasi debit 1,5 LPM nilai laju penurunan suhu air dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$\text{Laju penurunan temperatur air} = \frac{\Delta \text{Temperatur Air } [^{\circ}\text{C}]}{\Delta \text{Waktu air [Jam]}} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Laju penurunan temperatur air} = \frac{68,85 - 34,06 [^{\circ}\text{C}]}{1,7 [\text{Jam}]}$$

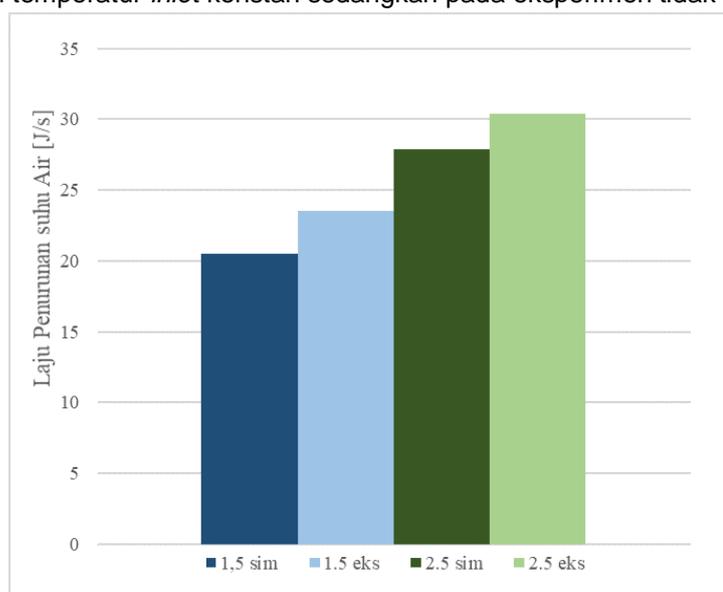
$$\text{Laju penurunan temperatur air} = 20,47 [^{\circ}\text{C}/\text{Jam}]$$

Pada tabel 5 menjelaskan laju penurunan temperatur air pada proses *discharging* dengan variasi 1,5 LPM dan 2,5 LPM. Nilai laju penurunan temperatur pada variasi 2,5 LPM lebih besar dibandingkan pada variasi 1,5 LPM. Nilai penurunan temperatur pada pengujian eksperimen lebih besar dibandingkan pada pengujian secara simulasi hal ini disebabkan temperatur *inlet* pada eksperimen yang tidak konstan, adanya strimin dan kabel termokopel yang berada didalam tangki, sehingga dapat menghambat arah aliran keseluruhan bagian tangki. Pada simulasi sifat-sifat air tidak diinput dan menggunakan *default* yang tersedia pada *software*.

Tabel 5. Data Laju Penurunan Temperatur Air

Debit	Laju Penurunan Temperatur Air (°C/jam)		Deviasi
	Simulasi	Eksperimen	
1,5 LPM	20,46	23,56	15,08 %
2,5 LPM	27,88	30,37	8,9 %

Gambar 8 memperlihatkan grafik perbandingan antara simulasi dan eksperimen menggunakan variasi debit 1,5 LPM dan 2,5 LPM. Hasil perhitungan laju pelepasan kalor air pada variasi debit 1,5 LPM dan 2,5 LPM menunjukkan bahwa besarnya debit yang dialirkan akan mempengaruhi nilai laju pelepasan kalor. Semakin besar variasi debit air maka akan semakin besar juga laju pelepasan kalornya. Hal ini dibuktikan pada debit 2,5 LPM memiliki laju penurunan temperatur lebih besar daripada debit 1,5 LPM. Laju penurunan temperatur pada eksperimen juga menunjukkan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan simulasi, hal ini disebabkan temperatur pada *inlet* yang berbeda. Pada simulasi temperatur *inlet* konstan sedangkan pada eksperimen tidak konstan.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Laju Penurunan Suhu Air

4. Kesimpulan

Simulasi *Computational Fluid Dynamics* perpindahan laju pelepasan kalor HTF pada tangki *Thermal Energy Storage* dengan variasi debit air pada *discharging* secara kontinyu telah dilakukan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah :

- a. Pelepasan kalor kumulatif pada simulasi memiliki hasil yang lebih kecil daripada eksperimen. Hasil laju pelepasan kalor kumulatif variasi debit 1,5 LPM pada simulasi yaitu 8.666.498,69 J, sedangkan pada eksperimen yaitu 8.948.498,83 J. Hasil laju pelepasan kalor kumulatif variasi debit 2,5 LPM pada simulasi yaitu 9.108.660,94 J, sedangkan pada eksperimen 9.310.876,1 J.
- b. Laju pelepasan kalor yang terjadi pada setiap variasi debit pada simulasi memiliki hasil yang lebih kecil dibandingkan pada eksperimen. Hasil laju pelepasan kalor variasi debit 1,5 LPM pada simulasi yaitu 1.416,09 J/s, dan pada eksperimen 1.643,43 J/s. Sedangkan untuk variasi 2,5 LPM didapat hasil simulasi yaitu 1.946,29 J/s, dan eksperimen 2118,52 J/s.
- c. Laju penurunan suhu air pada simulasi memiliki hasil yang lebih kecil daripada eksperimen. Hasil laju penurunan suhu air variasi 1,5 LPM yaitu 20,46 °C/jam, dan eksperimen yaitu 23,56 °C/jam. Sedangkan untuk variasi 2,5 LPM didapat hasil simulasi yaitu 27,88 °C/jam, dan eksperimen 30,37 °C/jam.
- d. Total durasi pengujian simulasi lebih lama dari durasi pengujian eksperimen dalam mencapai hasil yang ditentukan. Nilai deviasi dari pengujian *discharging* secara kontinyu variasi 1,5 LPM yaitu 11,76% dan pada variasi 2,5 LPM yaitu 7,69 %.

Daftar Pustaka

Journal:

- [1] Mahdi, A. M. J., Abass, K. I., & Jawad, R. S. (2018). *The Performance of an Effective Solar Water Heater Enhancement Based on Experimental Study*. 4(7), 50–54.
- [2] Vinubhai, T. S., Vishal R, J., & Thakkar, K. (2015). Solar Water Heating Systems : A Review. *National Conference on Emerging Vista of Technology in 21st Century*, 3(4), 13–17.
- [3] Nadjib, M., Suhanan, Ansyah, P. R., & Anggara, F. (2017). Simulasi Numerik Proses Pelelehan *Paraffin Wax* pada Unit Penyimpanan Energi Termal Tipe Pipa Ganda Konsentrik. 19(1), 36–44.
- [4] Trp, A. (2005). *An Experimental and Numerical Investigation of Heat Transfer During Technical Grade Paraffin Melting and Solidification in a Shell-and-Tube Latent Thermal Energy Storage Unit*. *Solar Energy*, 79(6), 648–660.
- [5] EASE. (2016). *Thermal Hot Water Storage*. *Thermal Energy Storage*. European Association for Storage of Energy, 1–2.
- [6] Gabriela, L. (2011). *Seasonal Sensible Thermal Energy Storage Solutions*. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, (July 2011), 49–68.

- [7] Furbo, S. (2014). *Using Water for Heat Storage in Thermal Energy Storage (TES) Systems*. In *Advances in Thermal Energy Storage Systems: Methods and Applications*.